

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

Ana Emília Barboza de Alencar
CARACTERIZAÇÃO BATIMÉTRICA, SEDIMENTOLÓGICA E
GEOQUÍMICA DO ESTUÁRIO DO RIO MAMANGUAPE – PB

Dissertação de Mestrado
2010

ANA EMÍLIA BARBOZA DE ALENCAR

Bacharel em Biologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2005

**CARACTERIZAÇÃO BATIMÉTRICA, SEDIMENTOLÓGICA E
GEOQUÍMICA DO ESTUÁRIO DO RIO MAMANGUAPE – PB**

Dissertação que apresentou ao Programa de Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, orientada pelo Prof. Dr. João Aداuto de Souza Neto e co-orientada pelo Prof. Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso, em preenchimento parcial para obter o grau de Mestre em Geociências, área de concentração Geologia Sedimentar e Ambiental, defendida e aprovada em 26/02/2010.

Recife, PE

2010

C331c **Alencar, Ana Emília Barboza de**
Caracterização batimétrica, sedimentológica e geoquímica do
estuário do Rio Mamanguape – PB / Ana Emília Barboza de Alencar.
– Recife: O Autor, 2010.
xvii, 155 f.; il., gráfs., tabs., mapas.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco.
CTG. Programa de Pós-Graduação em Geociências, 2010.

Inclui Referências Bibliográficas e Apêndices.

1. Geociências. 2. Estuário. 3. Batimetria. 4.
Sedimentologia. 5. Geoquímica. 6. Peixe-Boi. I. Título.

UFPE

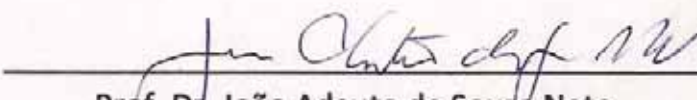
551 CDD (22. ed.)

BCTG/2010-080

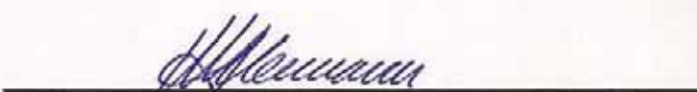
"CARACTERIZAÇÃO BATIMÉTRICA, SEDIMENTOLOGICA E GEOQUÍMICA DO ESTUÁRIO
DO RIO MAMANGUAPE-PB".

ANA EMÍLIA BARBOZA DE ALENCAR

Aprovada:



Prof. Dr. João Adauto de Souza Neto
26/02/2010



Prof. Dr. Virgínio Henrique de Miranda Lopes
Neumann
26/02/2010

Prof. Dr. George Satander Sá Freire
26/02/2010

Dedico este trabalho à:

Minha mãe, Bernardeth;

Fernanda Löffler Niemeyer Attademo;

Todos os peixes-bois viventes e àqueles que foram vítimas da insanidade humana, ajudando a despertar nos virtuosos o instinto e livrá-los da extinção.

A busca pelo conhecimento nos leva a descobrir novos caminhos, nos revigora, e enche nossa alma de sabedoria. Não importa para onde a maré nos leve, ele jamais nos será tirado.

Ana Alencar

AGRADECIMENTOS

À Deus, que iluminou os meus passos, o caminho que decidi trilhar e minha ideologia;

À Fernanda Löffler Niemeyer Attademo, pela compreensão, carinho e apoio constante despendidos durante esta etapa da minha vida;

Aos meus pais, Bernardeth Santos e José Maria Alencar, pelo incentivo e pelas palavras sábias usadas nas horas certas;

Ao meu irmão, Rodrigo Alencar, pelo exemplo e apoio constantes, especialmente na reta final;

Ao orientador João Adaauto de Souza Neto, pela confiança depositada na realização deste trabalho e por todo o empenho e auxílio empregados para a sua execução e enriquecimento;

Ao co-orientador Valdir do Amaral Vaz Manso, pelo incentivo primordial que desencadeou a realização deste Mestrado, pelo apoio constante durante o seu andamento, e pela humanidade e generosidade que o acompanham sempre;

Aos Professores Lúcia Maria Mafra Valença e Virgínio Henrique Neumann, pelos valiosos ensinamentos que subsidiaram a elaboração desta dissertação;

Ao Professor e Geólogo Luiz Lira, por ter plantado a semente do conhecimento e ensinado o caminho mais nobre para obtê-lo;

À Marcelo Rollnic, pelo auxílio na última etapa de campo e pela sua fonte inesgotável de conhecimento, da qual tive a oportunidade de compartilhar;

Aos colegas Natan Pereira, Thiago Lopes e Felipe, pelo auxílio despendido nos trabalhos de campo, que tornaram possível a realização desta dissertação;

A Gilberto Nascimento de Arruda e Alesxandro Nascimento, do Centro Regional de Ciências Nucleares (CRCN-CNEN), pelo auxílio em parte das análises geoquímicas;

Aos colegas e funcionários do LGGM, pelas agradáveis horas de convivência, em especial a Miguel Arrais, André e Daniel, pelo auxílio no processamento das amostras;

À Adriana Garlipp pelas sugestões e informações relevantes;

Ao Professor Boisbaudran Imperiano, pelo apoio imprescindível no levantamento bibliográfico;

Aos colegas de turma do mestrado, pelos momentos de descontração e pela amizade que nasceu desta convivência, em especial a Rizelda Regadas, Cleyton Trajano, Bruno Ferreira, Jullianna Lira, Natan Silva, Thiago Lopes e Geraldo Varela;

À coordenação do Mestrado, representada pela pessoa do Professor Gorki Mariano;

À Elizabeth Galdino, secretária do Programa de Pós-Graduação em Geociências, pela prestatividade e atenção no auxílio às necessidades dos pós-graduandos;

À Kátia Pereira da Silva e Juliana Oliveira pelo auxílio na captação de parte das imagens da área de estudo;

Ao funcionário da Base Avançada do Projeto Peixe-Boi na Paraíba, Antônio da Silva de Brito, o “Toinho”, pelo apoio indispensável nos trabalhos de campo e pelo seu conhecimento empírico admirável;

À Elinaide José de Oliveira Alencar, pela parceria e auxílio na última etapa do trabalho de campo;

À Paula Hirakawa, pela amizade e momentos de apoio;

Ao Laboratório de Geologia Sedimentar e Ambiental (LAGESE) da UFPE pela concessão de veículo para as atividades de campo;

À Unidade Executora do Centro Mamíferos Aquáticos/IBAMA, em Barra de Mamanguape/PB, pela disponibilização da embarcação motorizada utilizada nos trabalhos de campo;

À APA da Barra do Rio Mamanguape, pela autorização para realização desta pesquisa e disponibilização de infra-estrutura, e aos funcionários do alojamento pela atenção e serviços prestados;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de mestrado;

Por fim, à todos aqueles que de alguma forma se fizeram presentes, contribuindo para a realização deste trabalho, e durante minha jornada acadêmica.

RESUMO

O trecho estudado possui 7,5 km de extensão e está inserido na Área de Proteção Ambiental da Barra do Rio Mamanguape, na porção setentrional do estado da Paraíba. A principal influência antrópica provém do cultivo da cana-de-açúcar e da carcinicultura no entorno da região. Com o objetivo de realizar a caracterização batimétrica, sedimentológica e geoquímica dos sedimentos de fundo do estuário, foi realizado um levantamento batimétrico com auxílio de eco-sonda, perfazendo uma malha composta por 41 perfis transversais, análises granulométricas em 51 amostras coletadas com draga *van Veen*, e análise geoquímica da fração fina ($<63\ \mu\text{m}$) de 21 amostras, para obtenção das concentrações de matéria orgânica (M.O.), carbonatos totais (CT) (por perda de massa por calcinação) e elementos químicos diversos (Na, Mg, K, Ca, Mn, Fe, Li, Be, Al, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Mo, Cd, Ba, Tl, Pb, Th e U), por digestão com HCl 0,5 M (fração potencialmente biodisponível) e determinação por ICP-MS. Os resultados demonstraram que o estuário possui três canais profundos nas partes externas dos meandros, com forte hidrodinâmica e granulometria média. Ocorrem áreas deposicionais nas partes internas desses meandros, e um banco areno-lamoso longitudinal na desembocadura, favorecendo o acúmulo de sedimentos finos. A maior profundidade atingiu 9,8 m e o banco mais alto 1,1 m. Há predominância de areia média na desembocadura e areia fina e lama nas áreas à montante. A concentração de matéria orgânica variou de 0,13% a 4,86%, enquanto os carbonatos totais variaram de 32,41% a 84,33%. As maiores concentrações da fração potencialmente biodisponível dos elementos químicos (Pb: 16,2 ppm; Cu: 8,8 ppm; Ni: 5,3 ppm; Co: 4,7 ppm; Li: 5,1 ppm; Be: 1,1 ppm; Al: 2.930 ppm; V: 33,3 ppm; Se: 0,9 ppm; Rb: 3,6 ppm; Th: 0,89 ppm) foram encontradas na Estação 1 (mais à montante), a jusante do lançamento de efluentes de carcinicultura e da cidade de Rio Tinto. As concentrações dos elementos químicos ficaram abaixo dos valores de referência para sedimentos estuarinos estabelecidos por agências internacionais, não oferecendo riscos imediatos à biota. Conclui-se que a contaminação observada no estuário ainda é incipiente e o mesmo encontra-se em bom estado de conservação do ponto de vista ambiental.

Palavras-chave: estuário, batimetria, sedimentologia, geoquímica, peixe-boi.

ABSTRACT

The studied area is 7.5 km long and is located in the Environmental Protection Area of the Mamanguape River Bar, in the northern portion of Paraíba state. The main anthropic influence comes from sugarcane cultivation and shrimp farming in the region surroundings. In order to perform the bathymetric, sedimentological and geochemical characterization of the estuary bottom sediments, a bathymetric survey was carried out with the use of echosounding, providing a mesh composed of 41 cross-profiles, granulometrical analysis in 51 samples collected with a van Veen dredge, and the fine mode geochemical analysis (<63 μm) of 21 samples, to obtain the concentrations of organic matter (OM), total carbonates (TC) (by mass loss on ignition) and several chemical elements (Na, Mg, K, Ca, Mn, Fe, Li, Be, Al, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Mo, Cd, Ba, Tl, Pb, Th and U) by digestion with HCl 0,5 M (potentially bioavailable mode) and ICP-MS determination. The results showed that the estuary has three deep channels in the outer parts of the meanders, with high hydrodynamic energy and medium particles size. There are deposition areas in the inner parts of the meanders, and a longitudinal sandy-muddy bank at the estuary mouth favoring the accumulation of fine sediments. The greatest depth measured 9.8 m and the highest bank had 1.1 m. There is a predominance of medium sand at the estuary mouth and fine sand and mud in the areas located upstream. The concentration of organic matter ranged from 0.13% to 4.86%, whereas total carbonates ranged from 32.41% to 84.33%. The highest concentrations of potentially bioavailable mode of chemical elements (Pb: 16.2 ppm; Cu: 8.8 ppm; Ni: 5.3 ppm; Co: 4.7 ppm; Li: 5.1 ppm; Be: 1.1 ppm; Al: 2,930 ppm; V: 33.3 ppm; Se: 0.9 ppm; Rb: 3.6 ppm; Th: 0.89 ppm) were found at Station 1 (most upstream), downstream of shrimp farming and Rio Tinto town sewers. The concentration of chemical elements was below the reference values for estuarine sediments set by international agencies, offering no immediate risk to biota. Therefore, the contamination found is incipient and the estuary is in a good condition of the environmental point of view.

Keywords: estuary, bathymetry, sedimentology, geochemistry, manatee.

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE TABELASxii

LISTA DE FIGURASxiii

1 INTRODUÇÃO.....	18
1.1 OBJETIVOS	20
1.1.1 Objetivo Geral.....	20
1.1.2 Objetivos Específicos	20
2 ÁREA DE ESTUDO	22
2.1 LOCALIZAÇÃO	22
2.2 ASPECTOS FISIOGRAFICOS E GEOLÓGICOS DA ÁREA EM ESTUDO	24
2.2.1 Clima	24
2.2.2 Parâmetros meteoceanográficos.....	25
2.2.3 Hidrografia	26
2.2.4 Vegetação	27
2.2.5 Principais Aspectos Geológicos e Geomorfológicos da área de estudo.....	28
2.2.6 Solos	34
2.3 FONTES ANTROPOGÊNICAS POTENCIALMENTE CONTAMINANTES DA ÁREA ESTUDADA E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS CORRELACIONADOS	34
3. MATERIAIS E MÉTODOS	39

3.1 ELABORAÇÃO DE BASE CARTOGRÁFICA.....	39
3.2 PROCEDIMENTOS DE CAMPO.....	39
3.2.1 Amostragem de sedimentos de fundo	39
3.2.2 Levantamento batimétrico	43
3.3 ANÁLISE DE DADOS DO LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO	45
3.4 ANÁLISES SEDIMENTOLÓGICAS DO SEDIMENTO DE FUNDO	46
3.4.1 Tratamento das amostras	46
3.4.2 Análise e interpretação dos dados sedimentológicos	47
3.5 ANÁLISES GEOQUÍMICAS DO SEDIMENTO DE FUNDO	48
3.5.1 Tratamento das amostras	48
3.5.2 Quantificação das concentrações de matéria orgânica e carbonatos totais nos sedimentos de fundo.....	48
3.5.3 Digestão das amostras de sedimento e análise da concentração dos elementos químicos	49
3.5.4 Análise e interpretação dos dados geoquímicos	50
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
4.1 ANÁLISE BATIMÉTRICA DO ESTUÁRIO DO RIO MAMANGUAPE	51
4.1.1 Canais	52
4.1.2 Depósitos Sedimentares.....	53
4.2 ANÁLISES SEDIMENTOLÓGICAS DO SEDIMENTO DE FUNDO DO ESTUÁRIO DO RIO MAMANGUAPE	59
4.2.1 Distribuição Granulométrica.....	59
4.2.1.1 Fração Cascalho	59

4.2.1.2 Fração Areia..... 62

4.2.1.3 Fração Lama (Silte+Argila) 65

4.2.2 Classificação e distribuição das fácies texturais 68

4.2.3 Parâmetros estatísticos obtidos com os resultados das análises granulométricas das amostras de sedimento de fundo do estuário do rio mamanguape 72

4.2.3.1 Diâmetro Médio 72

4.2.3.2 Curtose..... 75

4.2.3.3 Assimetria 78

4.2.3.4 Desvio Padrão e avaliação do grau de seleção das amostras de sedimentos 81

4.3 CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DO BAIXO CURSO DO RIO MAMANGUAPE, PARAÍBA 84

4.3.1 Distribuição espacial das concentrações de matéria orgânica e carbonatos totais..... 84

4.3.2 Análises geoquímicas do sedimento de fundo do estuário do rio mamanguape 90

4.3.2.1 Matriz de correlação completa (resultados de todas as estações de amostragem)..... 92

4.3.2.2 Matriz de correlação dos resultados das estações de amostragem do canal principal . 93

4.3.2.3 Matriz de correlação dos resultados das estações de amostragem dos afluentes..... 95

4.3.2.4 Comparação das concentrações dos elementos químicos do sedimento de fundo no estuário do rio Mamanguape com outros estuários do Nordeste brasileiro 95

4.3.2.5 Comparação das concentrações dos elementos químicos do sedimento de fundo no estuário do rio Mamanguape com a composição média do Folhelho Mundial..... 99

4.3.2.6 Comparação das concentrações de metais do sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape com os valores de referência internacionais TEL/PEL e ERL/ERM..... 102

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS 106

Alencar, A. E. B. 2010 xi

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 109

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
Tabela 1 Classificação das fácies texturais de acordo com o percentual de lama na amostra.	68
Tabela 2 Concentrações de matéria orgânica (M.O.), carbonatos totais (CT) e fração fina (FF) em sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.	86
Tabela 3 Concentrações dos elementos químicos do sedimento de fundo no estuário do rio Mamanguape e de outros estuários do Nordeste brasileiro (Valores em mg kg ⁻¹).	98
Tabela 4 Concentrações dos elementos químicos do sedimento de fundo no estuário do rio Mamanguape e Composição média do folhelho (Valores em mg kg ⁻¹).	101
Tabela 5 Concentrações dos elementos químicos nos sedimentos de fundo do estuário do rio Mamanguape, e os valores de referência TEL/PEL ¹ e ERL/ERM ² (Valores em mg kg ⁻¹).	105

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1 Imagem de satélite da área de estudo (Fonte: Google Earth, 2010).	22
Figura 2 Mapa de localização da área de estudo.	23
Figura 3 Precipitação mensal baseada da série histórica (2002-2009) para o município de Rio Tinto (Fonte: CPTEC/INPE, 2009).	25
Figura 4 Balanço hídrico baseado na série histórica (2000-2009) dos dados de evaporação e precipitação para o município de Rio Tinto (Fonte: CPTEC/INPE, 2009).	25
Figura 5 Cativeiro em ambiente natural do peixe-boi marinho (Fonte: Acervo CMA/ICMBio).	27
Figura 6 Localização e compartimentação da Bacia Paraíba, e modelo proposto para a estratigrafia da sub-bacia Miriri/Alhandra (Fonte: modificado de Barbosa <i>et al.</i> , 2003).	29
Figura 7 Mapa Geológico do município de Rio Tinto (Fonte: modificado de CPRM, 2005).	30
Figura 8 Terraços marinhos Holocênicos nas proximidades da foz do rio Mamanguape. No detalhe: conchas de molusco gastrópode com cerca de 10 cm de comprimento.	33
Figura 9 Recifes do tipo misto com a presença de formações coralíneas (coloração rósea), algálicas (coloração verde) e equinodermatas (ouriço-do-mar; coloração preta, com espinhos).	33
Figura 10 Dunas eólicas parcialmente fixas na margem direita da foz do rio Mamanguape.	34
Figura 11 Principais fontes potenciais de contaminação no entorno da área de estudo.	37
Figura 12 Tanques de decantação para tratamento de efluentes da antiga Fábrica de Tec. R. Tinto.	38
Figura 13 Localização e identificação das estações de amostragem sedimentológica.	41
Figura 14 Amostrador pontual <i>van Veen</i> e amostra de sedimento de fundo.	42
Figura 15 Localização e identificação das estações de amostragem geoquímicas.	42
Figura 16 Localização e identificação dos perfis batimétricos, do 1-1' ao 41-41'.	44
Figura 17 Coleta de dados de profundidade através do transdutor acoplado à embarcação e armazenamento na ecossonda.	44
Figura 18 Desenho do cálculo de diferença de nível para correção das cotas batimétricas.	46
Figura 19 Mapa batimétrico do estuário do rio Mamanguape.	56
Figura 20 Perfis batimétricos do estuário do rio Mamanguape com a respectiva localização em mapa. A foto representa o canal principal do rio na altura do perfil 14-14'.	57

- Figura 21 Perfis batimétricos do estuário do rio Mamanguape. No detalhe do mapa: canal de comunicação entre o “Canal do Sul” e o “Canal do Norte”. No detalhe da foto: “Banco do Meio” na altura do perfil 38-38’.
- Figura 22 Diagrama mostrando os teores de ocorrência das classes percentuais da fração cascalho nas amostras de sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.
- Figura 23 Mapa de distribuição da fração cascalho nos sedimentos de fundo do estuário do rio Mamanguape.
- Figura 24 Diagrama mostrando os teores de ocorrência das classes percentuais da fração areia nas amostras de sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.
- Figura 25 Mapa de distribuição da fração areia nos sedimentos de fundo do estuário do rio Mamanguape.
- Figura 26 Diagrama mostrando os teores de ocorrência das classes percentuais da fração lama nas amostras de sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.
- Figura 27 Mapa de distribuição da fração lama nos sedimentos de fundo do estuário do rio Mamanguape.
- Figura 28 Distribuição das amostras de sedimentos clásticos do estuário do rio Mamanguape, no diagrama de Shepard (1954).
- Figura 29 Distribuição das amostras de sedimentos clásticos do estuário do rio Mamanguape, no diagrama de Folk (1954).
- Figura 30 Diagrama mostrando os teores de ocorrência das fácies texturais nas amostras de sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.
- Figura 31 Mapa de distribuição das fácies texturais nos sedimentos de fundo do estuário do rio Mamanguape.
- Figura 32 Diagrama mostrando os teores de ocorrência do diâmetro médio da fração arenosa nas amostras de sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.
- Figura 33 Mapa de distribuição do diâmetro médio da fração arenosa nos sedimentos de fundo do estuário do rio Mamanguape.
- Figura 34 Comparação entre a curva normal (mesocúrtica) e curvas leptocúrtica, com angulosidade superior à da curva gaussiana, e platicúrtica, em que a angulosidade é inferior à da curva normal.
- Figura 35 Diagrama mostrando o teor de ocorrência da curtose da fração arenosa nas amostras de sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.
- Figura 36 Mapa de distribuição da curtose da fração arenosa nos sedimentos de fundo do estuário do rio Mamanguape.

Figura 37 Mapa de distribuição da curtose da fração arenosa nos sedimentos de fundo do estuário do rio Mamanguape.	79
Figura 38 Diagrama mostrando o teor de ocorrência da assimetria da fração arenosa nas amostras de sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.	79
Figura 39 Mapa de distribuição da assimetria da fração arenosa nos sedimentos de fundo do estuário do rio Mamanguape.	80
Figura 40 Comparação entre a curva normal (moderadamente selecionado) e curvas com desvios padrões maiores (pobremente selecionado) e menores que a normal (bem selecionado).	82
Figura 41 Diagrama mostrando os teores de ocorrência do grau de seleção da fração arenosa nas amostras de sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.	82
Figura 42 Mapa de distribuição do grau de seleção da fração arenosa nos sedimentos de fundo do estuário do rio Mamanguape.	83
Figura 43 Mapa de distribuição da concentração de matéria orgânica (M.O.) nos sedimentos de fundo do estuário do rio Mamanguape.	87
Figura 44 Mapa de distribuição da concentração de carbonatos totais (CT) nos sedimentos de fundo do estuário do rio Mamanguape.	88
Figura 45 Mapa de distribuição da concentração da fração fina (< 0,063 mm) nos sedimentos de fundo do estuário do rio Mamanguape.	89

APÊNDICE 1

Figura 46 Perfis batimétricos do estuário do rio Mamanguape.	120
--	-----

APÊNDICE 2

Tabela 6 Concentrações dos elementos químicos investigados no sedimento de fundo superficial do estuário do rio Mamanguape.	124
Tabela 7 Matriz de correlação das concentrações dos elementos químicos investigados, matéria orgânica (M.O.), carbonatos totais (CT) e Fração Fina (FF) (<63 µm) nas amostras de sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.	126

Tabela 8 Matriz de correlação das concentrações dos elementos químicos investigados, matéria orgânica (M.O.), carbonatos totais (CT) e Fração Fina (FF) (< 0,063 mm) nas amostras de sedimento de fundo das Estações do canal principal do estuário do rio Mamanguape.	127
Tabela 9 Matriz de correlação das concentrações dos elementos químicos, matéria orgânica (M.O.), carbonatos totais (CT) e Fração Fina (FF) (< 0,063 mm) nas amostras de sedimento de fundo dos Afluentes do estuário do rio Mamanguape.	128

APÊNDICE 3

Figura 47 Mapa de distribuição espacial e gráfico das concentrações do Al (mg kg ⁻¹) no sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.	130
Figura 48 Mapa de distribuição espacial e gráfico das concentrações do As (mg kg ⁻¹) no sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.	131
Figura 49 Mapa de distribuição espacial e gráfico das concentrações do Ba (mg kg ⁻¹) no sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.	132
Figura 50 Mapa de distribuição espacial e gráfico das concentrações do Be (mg kg ⁻¹) no sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.	133
Figura 51 Mapa de distribuição espacial e gráfico das concentrações do Cd (mg kg ⁻¹) no sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.	134
Figura 52 Mapa de distribuição espacial e gráfico das concentrações do Co (mg kg ⁻¹) no sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.	135
Figura 53 Mapa de distribuição espacial e gráfico das concentrações do Cr (mg kg ⁻¹) no sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.	136
Figura 54 Mapa de distribuição espacial e gráfico das concentrações do Cu (mg kg ⁻¹) no sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.	137
Figura 55 Mapa de distribuição espacial e gráfico das concentrações do Mn (mg kg ⁻¹) no sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.	138
Figura 56 Mapa de distribuição espacial e gráfico das concentrações do Mo (mg kg ⁻¹) no sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.	139
Figura 57 Mapa de distribuição espacial e gráfico das concentrações do Ni (mg kg ⁻¹) no sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.	140
Figura 58 Mapa de distribuição espacial e gráfico das concentrações do Pb (mg kg ⁻¹) no sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.	141

Figura 59 Mapa de distribuição espacial e gráfico das concentrações do Se (mg kg ⁻¹) no sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.	142
Figura 60 Mapa de distribuição espacial e gráfico das concentrações do Sr (mg kg ⁻¹) no sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.	143
Figura 61 Mapa de distribuição espacial e gráfico das concentrações do Th (mg kg ⁻¹) no sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.	144
Figura 62 Mapa de distribuição espacial e gráfico das concentrações do U (mg kg ⁻¹) no sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.	145
Figura 63 Mapa de distribuição espacial e gráfico das concentrações do V (mg kg ⁻¹) no sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.	146
Figura 64 Mapa de distribuição espacial e gráfico das concentrações do Zn (mg kg ⁻¹) no sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.	147

APÊNDICE 4

Tabela 10 Concentrações certificadas e medidas para os elementos químicos no material de referência certificado SRM 1640	149
Tabela 11 Concentrações certificadas e medidas para os elementos químicos no material de referência certificado SRM 1643e	150
Tabela 12 Concentrações certificadas e medidas para os elementos químicos no material de referência certificado SLRS-4	151
Tabela 13 Concentrações certificadas e medidas para os elementos químicos no material de referência certificado BCR-2	152
Tabela 14 Concentrações medidas e repetição da leitura em uma amostra de sedimento de fundo (AFLU 1) do estuário do rio Mamanguape	153
Tabela 15 Concentrações medidas e repetição da preparação em uma amostra de sedimento de fundo (AFLU 1) do estuário do rio Mamanguape	154
Tabela 16 Concentrações medidas e repetição da preparação em uma amostra de sedimento de fundo (AFLU 2) do estuário do rio Mamanguape	155

1 INTRODUÇÃO

O estuário do rio Mamanguape possui características peculiares que o qualificam como uma das áreas estuarinas mais preservadas do Nordeste. É um dos principais pontos de concentração no litoral Nordeste do peixe-boi marinho *Trichechus manatus manatus*, mamífero aquático criticamente ameaçado de extinção (MMA, 2008), possuindo ainda um cativeiro em ambiente natural destinado à readaptação da espécie ao ecossistema. Além disso, fornece suporte para grupos de animais como peixes, crustáceos e moluscos, alguns deles de grande importância econômica para as populações ribeirinhas que vivem no local.

O manguezal da foz do rio Mamanguape é o mais extenso da microrregião do litoral norte, e seus atributos peculiares promoveram a transformação de 5.721,07 hectares em Área de Relevante Interesse Ecológico – ARIE, através do Decreto nº 91.890, de 05 de novembro de 1985 (Marinho, 2002).

O espaço geográfico no qual a ARIE se encerra está totalmente inserido nos limites estabelecidos para a “Área de Proteção Ambiental da Barra do Rio Mamanguape”, criada em 1993, com 14.640 hectares, pelo Decreto Federal nº 924, de 10 de setembro de 1993. Esta APA tem como objetivo precípuo “Garantir a conservação de expressivos remanescentes de manguezal, mata atlântica e recursos hídricos ali existentes, a conservação do habitat do peixe-boi marinho, protegendo-o, e a outras espécies, da ameaça de extinção, bem como melhorar a qualidade de vida das populações residentes na área, mediante orientação e disciplinamento das atividades econômicas locais”. Ambas pertencem ao grupo das Unidades de Conservação de Uso Sustentável, cujo propósito é “compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela de seus recursos naturais” (Marinho, 2002).

A despeito dos esforços conservacionistas supracitados, o estuário constantemente sofre ações antrópicas decorrentes de atividades realizadas à montante da área estudada, prejudicando o ciclo de vida das espécies que nele habitam e desencadeando processos de assoreamento (Harkot & Kohler, 1990).

Os principais efluentes carreados para a planície costeira são provenientes das atividades canavieira e carcinicultora existentes no entorno. A aplicação de biocidas e fertilizantes nos solos, além do lançamento de efluentes domésticos *in natura*, pode afetar

severamente a qualidade da água. Tais insumos antrópicos trazem consigo consideráveis concentrações de espécies químicas patogênicas, sobretudo metais pesados (MP).

Por ser o maior reservatório de concentração de MP nos sistemas aquáticos, os sedimentos de fundo tem sido largamente utilizados para averiguar o grau de contaminação em ambientes estuarinos devido à sua capacidade de adsorção de poluentes (Long *et al.*, 1995).

Uma das metodologias de crescente utilização para avaliar os potenciais riscos à biota, diz respeito à análise da fração suscetível à biodisponibilidade na fração granulométrica mais fina dos sedimentos, uma vez que esta representa a forma mais facilmente liberada para o meio aquoso, e que as maiores concentrações de contaminantes químicos estão preferencialmente adsorvidos aos argilominerais abundantes nesta fração (Manahan, 2005). Algumas pesquisas no Brasil tem utilizado HCl 0,5 M para a extração dos elementos químicos, técnica esta que, apesar de recente no Nordeste, foi aplicada por alguns autores demonstrando resultados satisfatórios (Garlipp, 2006; Silva, 2008 (a); Silva, 2009).

No tocante ao estuário do rio Mamanguape, inexistem trabalhos anteriores com este enfoque, assim como em relação à distribuição faciológica dos sedimentos que atapetam o canal. Quanto à morfologia de fundo do estuário, Paludo & Klonovsky (1999) e Alencar (2004) enfocaram a problemática oriunda do desmatamento da mata atlântica para o plantio da cana-de-açúcar e instalação de fazendas de carcinicultura, agravando o processo de assoreamento no baixo-curso do rio Mamanguape, sendo este último receptor da drenagem proveniente dos seus tributários.

No entanto, o litoral norte da Paraíba ainda carece de estudos mais detalhados de caráter físico e geológico que gerem dados de base para a correlação com o conhecimento biológico já existente. Considerando a aplicabilidade do estudo do meio abiótico como ferramenta para a conservação ambiental, este trabalho buscou preencher uma lacuna do conhecimento referente ao ambiente físico da porção final do estuário do rio Mamanguape, com base no levantamento e correlação de dados batimétricos, sedimentológicos e geoquímicos.

A realização do esforço de aquisição e sistematização dos dados geológicos supracitados visou gerar subsídios para um diagnóstico ambiental da área, com o intuito de auxiliar o poder público no que se refere ao processo de gestão integrada da APA da Barra do Rio Mamanguape, implementando políticas racionais e sustentáveis de uso e ocupação do solo. Visou igualmente ampliar os conhecimentos existentes sobre o meio abiótico em uma

área de ocorrência natural de peixes-bois marinhos, e conseqüentemente, na elaboração de estratégias conservacionistas para esta espécie.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Realizar caracterização batimétrica, sedimentológica e geoquímica do estuário do rio Mamanguape, a fim de traçar um diagnóstico ambiental da área, subsidiando ações inerentes ao processo de gerenciamento costeiro integrado da APA da Barra do Rio Mamanguape.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Elaborar mapa batimétrico do estuário do rio Mamanguape;
- Analisar a interferência da morfologia de fundo nos processos de sedimentação e de distribuição e acúmulo de elementos químicos;
- Elaborar mapas granulométricos, faciológicos e dos parâmetros estatísticos;
- Analisar a tendência da distribuição das frações granulométricas, das fácies sedimentares e dos parâmetros estatísticos correlatos (diâmetro médio, curtose, assimetria e desvio padrão);
- Obter as concentrações de matéria orgânica, carbonatos totais e fração biodisponível de elementos químicos (Na, Mg, K, Ca, Mn, Fe, Li, Be, Al, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Mo, Ag, Cd, Sb, Ba, Tl, Pb, Th, U) em sedimentos de fundo do estuário do rio Mamanguape;
- Disponibilizar dados do meio físico e geoquímico para a elaboração do plano de manejo da APA da Barra do Rio Mamanguape e, conseqüentemente, para o desenvolvimento sustentável da mesma;

- Ampliar os conhecimentos existentes sobre o meio abiótico em uma área de ocorrência natural de peixes-bois marinhos, contribuindo para a elaboração de estratégias conservacionistas para a espécie.

2 ÁREA DE ESTUDO

2.1 LOCALIZAÇÃO

O estuário do rio Mamanguape (ERM) possui cerca de 24 km de extensão e está localizado na porção setentrional do estado da Paraíba (Harkot & Kohler, 1990), no município de Rio Tinto, a 80 km da cidade de João Pessoa. Apresenta uma extensa área de manguezais, estimada em 54 km², sendo considerada a maior do estado (Cunha *et al.*, 1992).

A área de pesquisa abrange a porção estuarina do rio Mamanguape em sua região de contato com o oceano atlântico. Possui 7,5 km de extensão na direção leste-oeste, estando compreendida entre as comunidades de Tavares e Barra de Mamanguape (Figuras 1 e 2), e delimitada pelas coordenadas planas do Sistema Universal Transverso de Mercator - UTM: 281000 m E a 289000 m E e 9247000 m N a 9253000 m N.



Figura 1 Imagem de satélite da área de estudo (Fonte: Google Earth, 2010).

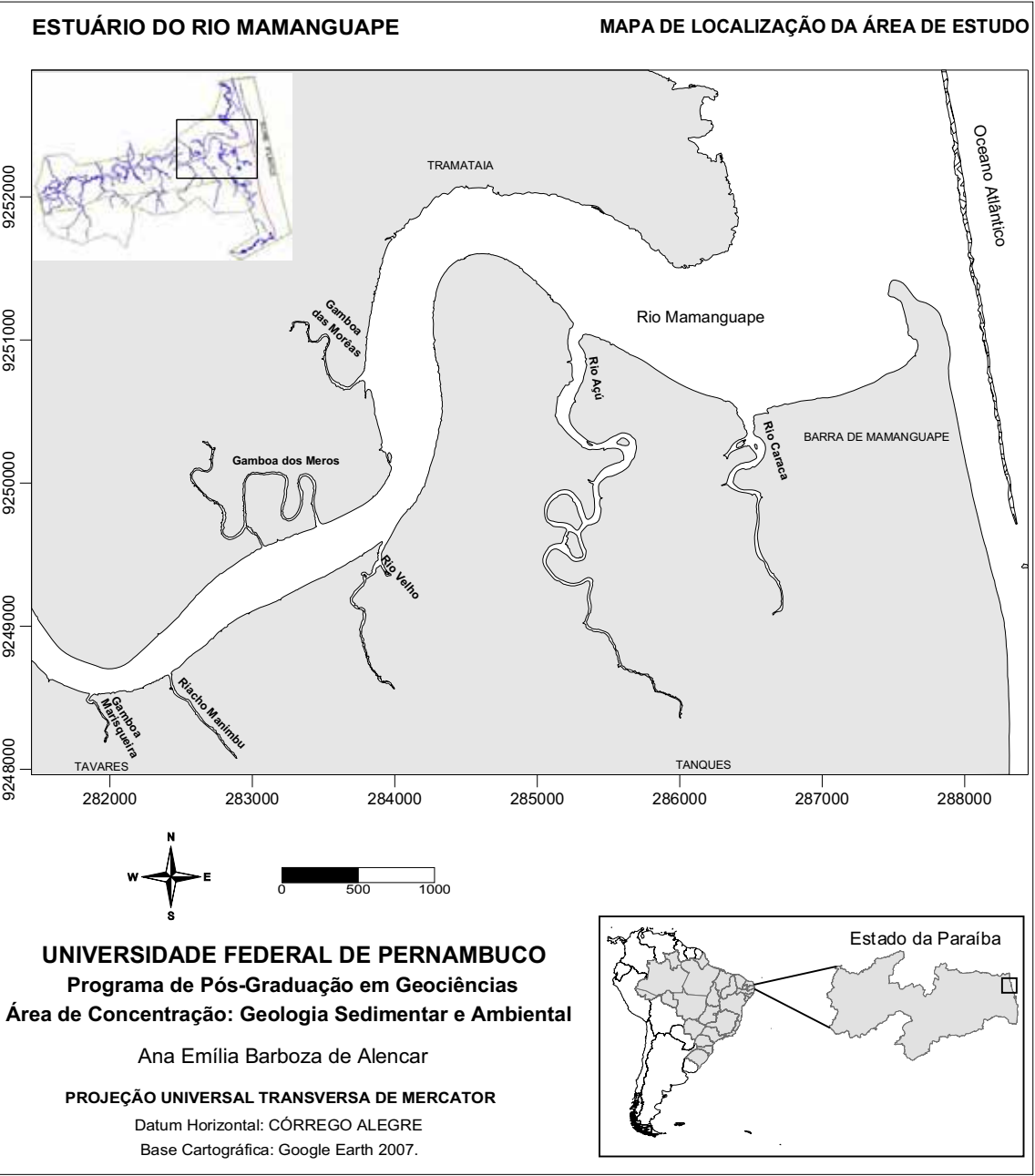


Figura 2 Mapa de localização da área de estudo.

2.2 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS E GEOLÓGICOS DA ÁREA EM ESTUDO

2.2.1 Clima

Baseado na classificação de Köppen, a região se caracteriza por apresentar um clima do tipo As' (Köppen), quente e úmido. Na faixa costeira a temperatura do ar é elevada, com média térmica anual em torno de 26 °C (Lima & Heckendorff, 1985).

A intensa evaporação é controlada pelas altas temperaturas e taxa de insolação, com totais anuais de horas de brilho de sol de 2200 a 3200. Como consequência, a umidade relativa do ar é de aproximadamente 80%, podendo oscilar entre 50% e 90% (Lima & Heckendorff, 1985).

O regime pluviométrico médio anual é de 1440 mm, com 78% das chuvas concentradas de março a agosto, favorecidas pelos ventos alísios de leste e, sobretudo de sudeste (Cunha *et al.*, 1992), com menor precipitação entre os meses de setembro e fevereiro (Figuras 3 e 4).

As precipitações no litoral da Paraíba crescem de oeste para leste, aumentando conforme proximidade do mar (Nimer, 1979). Dados pluviométricos para os últimos dez anos (2000 a 2009) foram obtidos junto ao *Programa de Monitoramento Climático em Tempo Real da Região Nordeste* (PROCLIMA) do CPTEC/INPE. A partir deste levantamento foi verificado que os postos pluviométricos de Rio Tinto, Marcação e Baía da Traição, situados em longitudes decrescentes, apresentaram precipitações médias de 1.483,2 mm, 1.484,3 mm e 1.597,7 mm, respectivamente, corroborando a informação supracitada.

Abaixo são apresentados os gráficos da precipitação mensal (Figura 3) e balanço hídrico (Figura 4) da série histórica para o município de Rio Tinto.

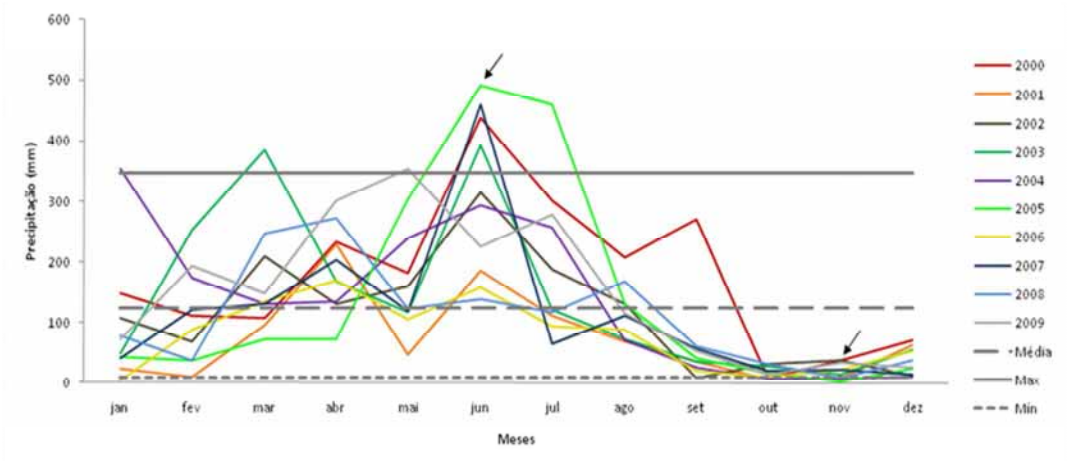


Figura 3 Precipitação mensal baseada da série histórica (2002-2009) para o município de Rio Tinto. As setas indicam os meses do pico dos períodos úmido e seco da área de estudo (Fonte: CPTEC/INPE, 2009).

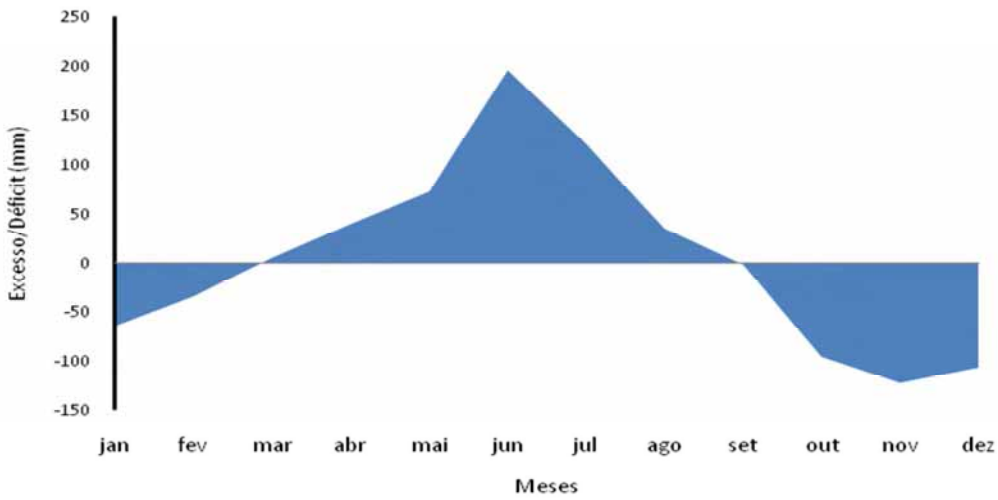


Figura 4 Balanço hídrico baseado na série histórica (2000-2009) dos dados de evaporação e precipitação para o município de Rio Tinto (Fonte: CPTEC/INPE, 2009).

2.2.2 Parâmetros meteocceanográficos

O regime de marés do litoral da Paraíba é do tipo semidiurno (período de 12,42 horas), com duas preamares e duas baixa-mares por dia. Quanto à amplitude tidal estão incluídas na classe de mesomarés (Davies, 1964), apresentando altura média de sizígia de 2,18 m e altura

média de quadratura de 1,04 m, com máximo de 2,7 m nas marés de sizígia (Paludo & Klonowski, 1999).

A pluma salina penetra no interior do estuário até a altura da cidade de Rio Tinto, localizada a 24 km da desembocadura (Harkot & Kohler, 1990), sendo uma profunda causadora de processos de ressuspensão, deposição e transporte de sedimentos no interior do estuário.

O clima de ondas responde principalmente ao forçante astronômico, sendo pequena a contribuição das componentes não-periódicas de origem meteorológica. A área da foz do rio Mamanguape experimenta clima de ondas diferenciado, devido à presença de uma linha de recifes de arenito que se estende ao longo da costa, amenizando a ação direta das ondas ao largo (Marinho, 2002). Até o momento, inexistem medições sistemáticas sobre a direção das correntes e transportes de sedimentos ao longo do rio Mamanguape.

2.2.3 Hidrografia

O rio Mamanguape nasce em terrenos cristalinos do Planalto da Borborema (Marinho, 2002), sendo formado pela convergência de riachos para a Lagoa Salgada, uma lagoa temporária, situada a mais de 600 metros de altitude, no município de Pocinhos (PB). Possui uma área de aproximadamente 38 km² e vazão de 13,9 m³/seg (Paraíba, 1986).

Mantendo em todo o curso uma direção predominante oeste-leste, percorre uma distância de 140 km, podendo ser subdividido em três setores: a) Alto curso: trecho entre os municípios de Pocinhos e Alagoa Grande. É temporário e durante o período de estiagem seu leito se transforma num areal; b) Médio curso: de Alagoa Grande até a Fazenda Telha, no Município de Itapororoca. Possui calha mais larga e rasa devido à erosão lateral e assoreamento provocado pela remoção da vegetação ao longo do rio. É igualmente temporário (Tavares 2004); c) Baixo curso: compreendendo uma região de tabuleiros costeiros e uma região estuarina, sob influência das marés. Nesta região a morfologia do canal é meandrante e prevalece o transporte sedimentar de material em suspensão (Marinho, 2002).

O estuário do Mamanguape foi formado pelo entalhe linear, através de falhas, com a posterior inundação da planície costeira pela relativa estabilização do nível médio do mar ao final da transgressão Flandriana (Millimann & Emery, 1968).

As condições peculiares dos estuários, com altos teores de sal e matéria orgânica, e com solos quase sempre saturados d'água e sujeitos às oscilações das marés, oferecem condições propícias para proliferação dos manguezais (Marinho, 2002). Estes se estendem por uma faixa variável de 900 a 4.700 metros de largura, formando uma ampla várzea.

Os afluentes e gamboas são freqüentes, consistindo em pequenos rios que enchem durante as marés enchentes e secam parcialmente nas vazantes (Lexikon, 1999). Esta característica peculiar torna as águas em seu interior mais calmas, quentes e salinas, favorecendo a deposição de sedimentos finos. Na direção oeste-leste tem-se, na margem direita: gamboa Marisqueira, riacho Manimbu, rio Velho, gamboa de Tanques, rio Açu e rio Caraca. Na margem esquerda: gamboa dos Meros (duas saídas) e gamboa das Morêas. A direção predominantemente paralela à linha de costa dos afluentes sugere sua origem pelo afogamento resultante da transgressão.

No interior do rio Caraca, afluente da margem direita do rio Mamanguape, mais precisamente na gamboa Caracabú existente na margem oeste do mesmo, está localizado o primeiro cativeiro de readaptação de peixe-boi marinho em ambiente natural (Figura 5), construído em 1996.



Figura 5 Cativeiro em ambiente natural do peixe-boi marinho (Fonte: Acervo CMA/ICMBio).

2.2.4 Vegetação

A cobertura vegetal na área estudada é composta por remanescentes de mata atlântica, mangues, restingas e coqueiros. Os mangues são predominantes, e juntamente com os apicuns

dominam a planície de marés, sendo os primeiros representados pelas espécies arbóreas *Rhizophora mangle* (mangue vermelho), *Avicennia germinans* (mangue canoé), *Avicennia schaweriana* (mangue siriúba), *Laguncularia racemosa* (mangue branco) e *Conocarpus erectus* (mangue de botão). As maiores árvores de *Rhizophora* encontradas atingem 25 m de altura e até 60 cm de diâmetro, enquanto as de *Avicennia* alcançam alturas superiores a 30 m e 65 cm de diâmetro (Paludo & Klonowsky, 1999).

Além do mangue propriamente dito, existem espécies vegetais cujos habitats são os espaços circunvizinhos aos alagados, como *Hibiscus tiliaceus* L. (algodão de praia) e *Acrostichum aureum* (samambaia do mangue). Nas maiores cotas altimétricas prevalecem *Eleocharis obtusa* e *Spartina alterniflora* (capins e juncais) (Paludo & Klonowsky, 1999).

As restingas próximas à preamar são formadas predominantemente por espécies herbáceas e semi-arbustivas, com predomínio de *Ipomoea pé-caprae*, *Ipomoea stolonifera*, *Iresine portulacoides*, *Polygala corisiodes*, *Chrysobalanus icaco*, e *Turnera ulmifolia*. Os campos de restingas constituem-se de vegetação herbáceo-arbustiva, com destaque para *Anacardium occidentale*, *Abrus precatorius*, *Moquilea tomentosa*, e *Shinus teribinthifolius* (EIA/RIMA, 2004).

As florestas de restinga, de porte arbustivo-arbóreo são menos freqüentes na área, possuindo espécies típicas da Caatinga (cactáceas) e do Cerrado, como *Hancornia speciosa* (mangabeira) (EIA/RIMA, 2004).

2.2.5 Principais aspectos geológicos e geomorfológicos da área de estudo

A área em estudo está inserida na Bacia Sedimentar Paraíba, limitada a sul pelo Lineamento Pernambuco e a norte pela Falha de Mamanguape (Figura 6), cujo entalhe se dá sob o rio homônimo e trata-se de uma ramificação do Lineamento Patos (Barbosa & Lima Filho, 2005). Encontra-se depositada sobre o Embasamento Cristalino do Complexo Gnaissico-Migmatítico de idade arqueana a paleoproterozóica, constituído principalmente por gnaisses, migmatitos, micaxistos e granitóides diversos (Ferreira Junior, 2005).

Grandes falhamentos orientados ao longo da direção NE-SW, compartimentam a Bacia da Paraíba em sub-bacias, estando o rio Mamanguape inserido na sub-bacia Miriri (Barbosa e Lima Filho, 2005).

As unidades litoestratigráficas pertencentes à sub-bacia Miriri são, de idade Cretácea: os arenitos da Formação Beberibe, os arenitos calcíferos da Formação Itamaracá e os carbonatos da Formação Gramame; e de idade Terciária: os carbonatos da Formação Maria Farinha Superior e os arenitos conglomeráticos da Formação Barreiras (Figura 6).

A oeste da área delimitada no presente estudo ocorre um alto topográfico de bordas suaves e contorno ligeiramente oblongo, com extensão longitudinal de aproximadamente sete quilômetros, correspondente a uma rocha vulcânica félsica, denominada Itapororoca (Santos *et al.*, 2002).

A área em estudo, além dos arenitos com níveis conglomeráticos, argilosos, ou ricos em óxidos de ferro da formação Barreiras, está totalmente inserida sobre terrenos planos, de baixa declividade e de larguras variáveis, que se acham preenchidos pelos depósitos flúvio-marinhos e colúvio-eluviais de idade quaternária (Barbosa *et al.*, 2003) (Figura 7).

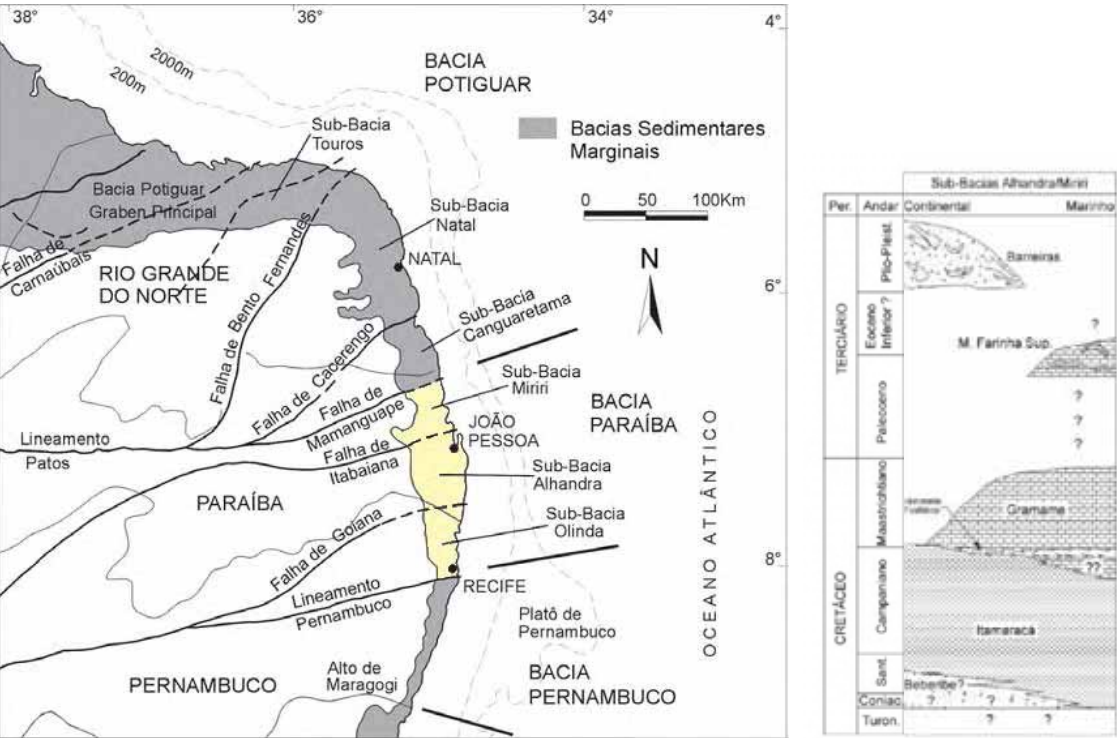


Figura 6 Localização e compartimentação da Bacia Paraíba, e modelo proposto para a estratigrafia da sub-bacia Miriri/Alhandra (Fonte: modificado de Barbosa *et al.*, 2003).

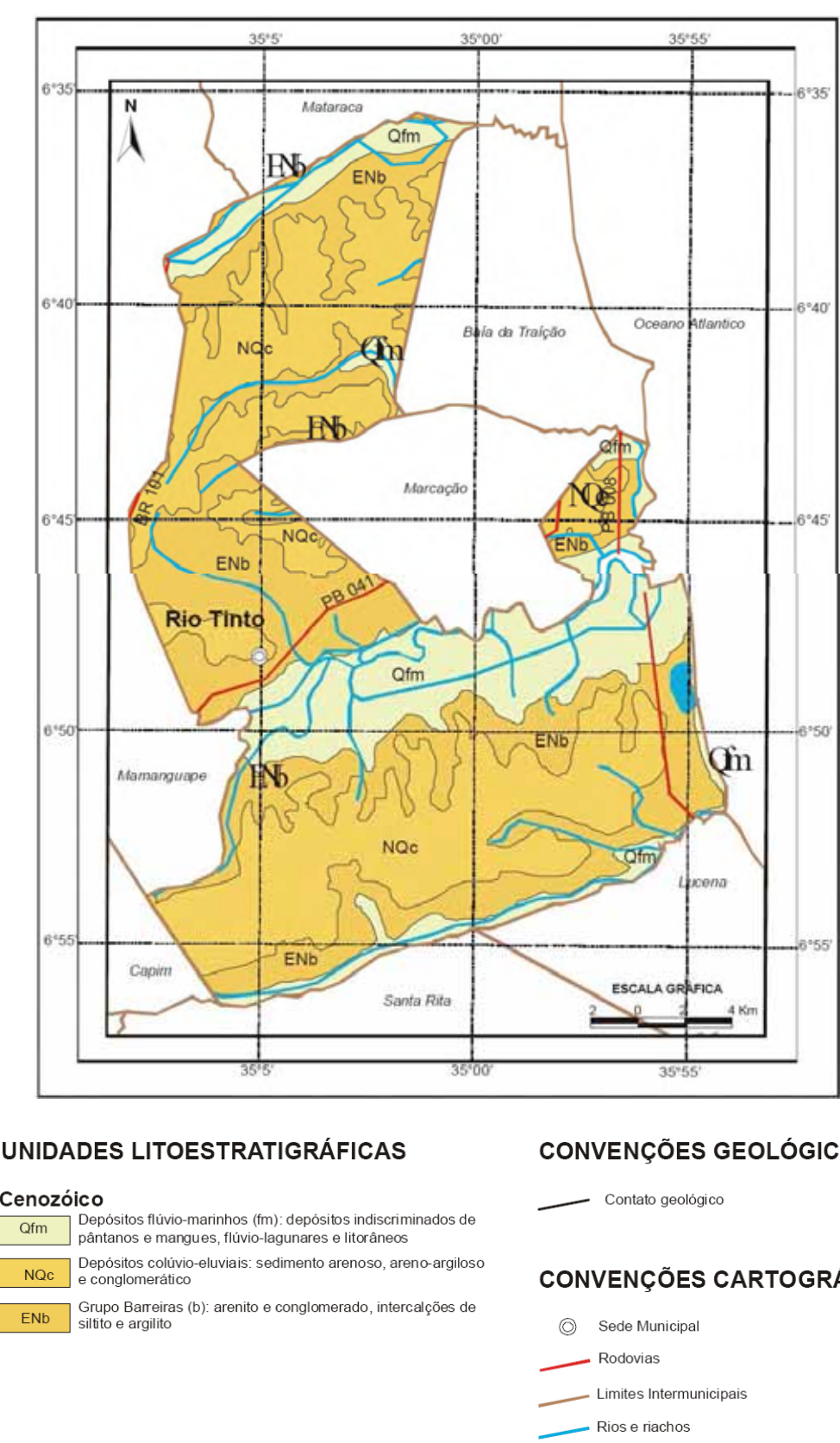


Figura 7 Mapa Geológico do município de Rio Tinto (Fonte: modificado de CPRM, 2005).

Os sedimentos quaternários são representados na área pelos terraços marinhos pleistocênicos e holocênicos, praias arenosas, recifes de arenito, dunas costeiras e planícies de marés. Estes depósitos estão relacionados às variações do nível relativo do mar, associados a três eventos transgressivos: a transgressão mais antiga, a penúltima transgressão e a última transgressão (Bittencourt *et al.*, 1979). A seguir, estes depósitos serão descritos com mais detalhe.

Terraços marinhos Pleistocênicos

Elaborados durante a regressão que sucedeu o máximo da penúltima transgressão marinha. São essencialmente arenosos, desprovidos de conchas de moluscos, com cotas altimétricas entre 3 e 9 metros (Marinho, 2002).

Terraços marinhos Holocênicos

Esses terraços desenvolveram-se na última regressão marinha, erodindo parcialmente os terraços marinhos Pleistocênicos (Marinho, 2002). São constituídos por areias quartzosas inconsolidadas, com presença de conchas ou fragmentos, e cotas altimétricas de 3 metros (Figura 8).

Praias arenosas

As praias constituem depósitos sedimentares inconsolidados. Na praia da Barra de Mamanguape, as areias quartzosas chegam a representar 95% dos sedimentos praias. Também são encontrados fragmentos de conchas, siltes, argilas e minerais pesados em baixa concentração (Marinho, 2002).

Na foz do rio Mamanguape ocorre uma saliência deposicional que adentra, em direção norte, na fronteira entre o rio e o oceano, sendo denominada de pontal (Guerra & Guerra, 2006) ou esporão barreira (Suguio, 1998), constituindo um relevo de agradação (Marinho, 2002). O mesmo demonstra-se tipicamente arenoso na porção leste (praia) e com relativo percentual de silte e argilas na porção oeste (rio).

De acordo com os graus de vulnerabilidade à erosão propostos por Neves *et al.* (2006), a praia da barra do rio Mamanguape pode ser classificada como de “baixo grau”, sendo caracterizada, portanto, como uma praia retilínea com tendência à progradação, com pós-praia e estirâncio bem desenvolvidos. A ausência de interferência antrópica ou obras de contenção, juntamente com a presença dos recifes e dunas fixadas pela vegetação, contribuem para a inclusão na referida categoria.

Recifes de arenito

A leste, a baía formada na foz é quase fechada por uma linha oblíqua de recifes de arenito costeiros, interpretada como o resultado da cimentação das areias quartzosas de antigas linhas de praias por carbonato de cálcio, com matriz areno-argilosa (Carvalho, 1982). Sua morfogênese atrela-se aos mais recentes períodos de regressão e transgressão marinhas, assim como, aos soerguimentos e rebaixamentos do continente. Esta estrutura é classificada como do tipo “misto” (areníticos com desenvolvimento de corais e algas), embora o aporte de sedimentos pelo rio Mamanguape, assim como de ácidos húmicos oriundos do manguezal dificultem a colonização dos corais, devido à turbidez da água e dissolução do carbonato de cálcio, respectivamente (Marinho, 2002).

Os recifes funcionam como anteparo natural às ondas, formando uma baía protegida com águas calmas permanentes, conferindo ao estuário atributos lagunares (Marinho, 2002). Possui aproximadamente 13 km de comprimento e larguras que chegam a ultrapassar os 30 m. Existem duas saídas principais (denominadas de “barretas”), por onde passam as embarcações e os animais que freqüentam o estuário (Paludo & Klonowski, 1999). No topo são observadas estruturas estratificadas e feições erosivas resultantes da ação marinha, dos ácidos húmicos e/ou da atividade de organismos, como moluscos e equinodermatas (Figura 9).

Dunas costeiras

As dunas costeiras são depósitos arenosos, de natureza eólica. As paleodunas datam do Pleistoceno, ao passo que as dunas surgiram no Holoceno. As maiores dunas localizam-se nas proximidades do povoado de Barra de Mamanguape, com altitudes superiores a 14 metros (Marinho, 2002). A vegetação herbáceo-arbustiva funciona como barreira natural ao transporte eólico, promovendo a fixação dos depósitos (Figura 10).

Planícies de marés

As planícies de marés, também conhecidas como terrenos do mangue, constituem a subunidade mais representativa da área em estudo, em função da maior abrangência territorial. Correspondem a terrenos lodosos, e apresentam intenso processo de sedimentação favorecido pela dinâmica fluvio-marinha (Cunha *et al.*, 1992).



Figura 8 Terraços marinhos Holocênicos nas proximidades da foz do rio Mamanguape. No detalhe: conchas de molusco gastrópode com cerca de 10 cm de comprimento.

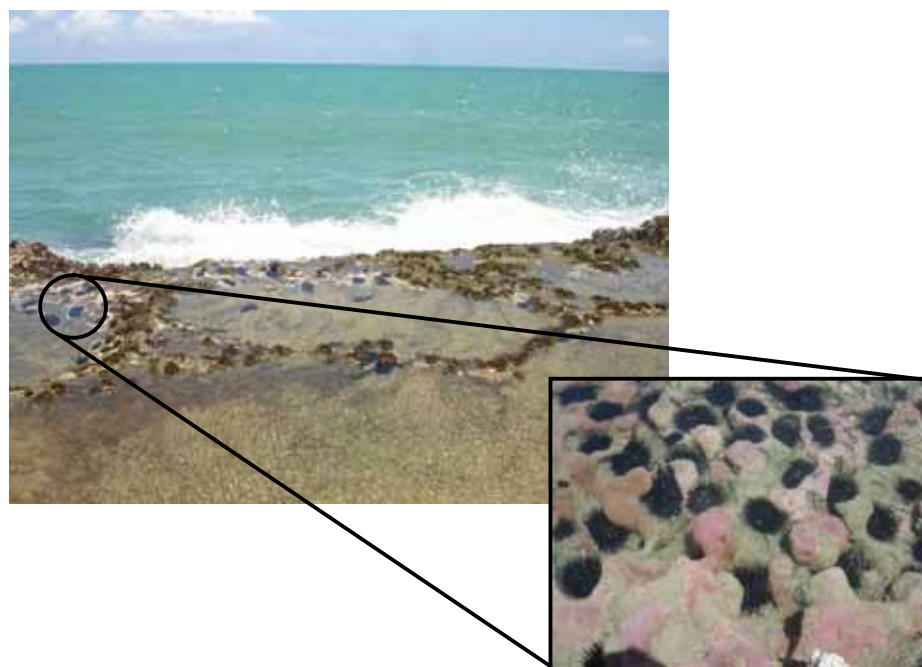


Figura 9 Recifes do tipo misto com a presença de formações coralíneas (coloração rósea), algálicas (coloração verde) e equinodermatas (ouriço-do-mar; coloração preta, com espinhos).



Figura 10 Dunas eólicas parcialmente fixas na margem direita da foz do rio Mamanguape.

2.2.6 Solos

Nos baixos planaltos costeiros, o intemperismo químico proporcionou a evolução de solos relativamente profundos, com mais de 2 m de profundidade, conhecidos como Argissolos do intemperismo da Formação Barreiras (Embrapa, 1999), os quais apresentam maior concentração residual de ferro, alumínio e silício nos horizontes mais profundos (Cunha *et al.*, 1992).

Nas planícies costeiras, os terraços e dunas fixas são constituídos pelos Neossolos quartzarênicos (Embrapa, 1999), enquanto as planícies aluviais acham-se constituídas por solos de várzeas (aluviais e hidromórficos), e as planícies de marés por solos indiscriminados de mangues (Marinho, 2002).

2.3 FONTES ANTROPOGÊNICAS POTENCIALMENTE CONTAMINANTES DA ÁREA ESTUDADA E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS CORRELACIONADOS

O levantamento das fontes potencialmente contaminantes do estuário do rio Mamanguape foi realizado com base em imagens de satélite na escala 1:10.000, e mapas da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 1974) e do Instituto Brasileiro

do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA / SUPES – PB, 1994), na escala de 1:25.000, complementadas através de observações em campo.

A despeito da ocupação das margens do estuário ser um fenômeno lento e de baixas proporções, especialmente no tocante à Área de Proteção Ambiental da Barra do Rio Mamanguape, segundo Cunha *et al* (1992), o mesmo passou a sofrer alterações perceptíveis no final do século XX. Tal fato se deveu especialmente ao avanço da indústria sucroalcooleira a partir de incentivos advindos do Programa Nacional do Alcool (Pro-Alcool), em meados da década de 1970, que promoveu a expansão da cultura da cana-de-açúcar para as encostas dos tabuleiros e brejos, anteriormente considerados inadequados.

Atualmente, a monocultura da cana-de-açúcar e a atividade de carcinicultura na planície costeira, compõem o quadro das atividades econômicas predominantes na bacia hidrográfica do rio Mamanguape. Ambas são responsáveis pelo maior potencial de contaminação da região, não apenas pela representatividade areal, mas também pelo seu forte impacto no ecossistema costeiro. As atividades agrícolas são complementadas pela presença de pequenas produções de arroz, batata doce, mandioca e abacaxi, além do estabelecimento de pastos para a criação extensiva de gado em grandes propriedades rurais (Marinho, 2002).

O cultivo da cana-de-açúcar, praticado predominantemente pela Usina Monte Alegre, ocasionou, ao longo das últimas décadas, o desmatamento expressivo das áreas de mata atlântica de topos e encostas de tabuleiros costeiros (Figura 11, A), favorecendo a erosão e o conseqüente assoreamento dos aquíferos, além dos efeitos indiretos das queimadas, e do lançamento do vinhoto, subproduto da produção do álcool (Marinho, 2002).

A carga de poluentes antrópicos provém principalmente de pesticidas (Cu, Pb, Mn, Zn), fungicidas (Cu, Zn e Cr) e fertilizantes químicos (Cd, Cr, Mo, Pb, U, V, Zn) administrados nos canaviais (Alloway, 1995), os quais infiltram ou escoam em direção aos corpos hídricos provocando danos ambientais, sendo uma das principais causas da redução de crustáceos e moluscos, anteriormente abundantes no mangue. Os estuários são os corpos hídricos mais afetados, pois constituem os locais de confluência dos rejeitos lançados nos tabuleiros e nas áreas à montante.

Quanto à carcinicultura, até a década de 1970 existiam apenas três fazendas na margem direita da foz do rio Mamanguape, uma sendo servida pelo rio Açú e duas pelo rio Caraca (SUDENE, 1974). De acordo com levantamento realizado pelo IBAMA (2003), mais de noventa viveiros encontravam-se em operação na planície de maré, totalizando 183 hectares, dentre os quais poucos devidamente licenciados (Figura 11, B). Os principais impactos relacionados a esta atividade são: ocupação e supressão de Áreas de Preservação

Permanente (APP); assoreamento do estuário, fato este comprovado por Alencar (2004); e lançamento de resíduos de fertilizantes, desinfetantes, detergentes e antibióticos nas águas estuarinas. As rações administradas também possuem em sua composição constituintes químicos em pequenas quantidades, como vitaminas, sais minerais, aglutinantes, atrativos, estabilizantes, antioxidantes e pigmentos, sendo fontes potenciais de Mn (Garlipp, 2006) e Cu (Oliveira, 2006).

No entorno da área de estudo localizam-se alguns aglomerados urbanos de pequeno porte, sendo os mais expressivos pela proximidade ao estuário: Tavares, Tanques e Barra de Mamanguape, na margem direita, e Tramataia, na margem esquerda.

A inexistência do serviço de coleta de lixo nessas comunidades (Figura 11, C) resulta em práticas inadequadas como o lançamento de efluentes domésticos *in natura* (Figura 11, D) que, além da carga orgânica que contribui para a redução do oxigênio dissolvido da água, transporta também contaminantes químicos, sendo fonte de metais pesados como Cu, Pb, Zn e Cd (Förstner & Wittmann, 1981) e de diversos produtos sintéticos, incluindo os farmacêuticos e produtos da degradação de detergentes (Sumpter & Jobling, 1995). Adicionalmente, cabe ainda salientar a predominância do uso de fossas sépticas rudimentares em toda a Microrregião do litoral norte, onde situa-se a área estudada, o que agrava ainda mais o cenário de carga orgânica contaminante.

A cerca de 24 km a montante da área investigada, mais precisamente no limite da influência estuarina, encontram-se as instalações, atualmente desativadas, da Companhia de Tecidos de Rio Tinto (Figura 12), situada na sede do município de mesmo nome. A unidade fabril funcionou de 1924 a 1991 e, apesar de possuir um sistema de tratamento de efluentes avançado para a época (Figura 12), pode ter contribuído para o acúmulo de contaminantes no sedimento de fundo do rio, como o Cr e Zn (Förstner & Wittmann, 1981).

Uma influência ainda mais remota diz respeito à existência, no século XIX, do Porto de Salema no baixo curso do rio Mamanguape, que se tornou o centro exportador do litoral norte da Paraíba, e foi desativado no início do século XX em virtude do assoreamento do leito do rio (Marinho, 2002). Nos anos 20, em função da fábrica de tecidos Rio Tinto, foi construído na cidade de mesmo nome, a 12 km da foz do rio Mamanguape, o Porto Novo, atualmente também inativo (E.M. Gonçalves, comunicação verbal, 2010). Ambos foram fontes potenciais de Ni (Förstner & Wittmann, 1981), proveniente do combustível das embarcações (Moore & Ramamoorthy, 1984).



Figura 11 Principais fontes potenciais de contaminação no entorno da área de estudo. A) Cana-de-açúcar margeando a estrada de acesso à Barra de Mamanguape, a partir da BR-101. B) Carcinicultura a sudoeste da área de estudo. C) Lixão a céu aberto na comunidade de Barra de Mamanguape. D) Tubulação lançando efluentes domésticos *in natura* em gamboa, na altura da comunidade de Tanques.



Figura 12 Tanques de decantação para tratamento de efluentes da antiga Fábrica de Tecidos Rio Tinto.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ELABORAÇÃO DE BASE CARTOGRÁFICA

Visando uma representação fidedigna da área de estudo, duas bases cartográficas foram elaboradas para a representação dos resultados obtidos na forma de mapas temáticos, utilizando como referências uma imagem de satélite recente do Google Earth (Image © 2009 DigitalGlobe - Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO) com Datum WGS 84, datada de 27 de janeiro de 2007. A imagem foi digitalizada levando em consideração os limites da área em estudo, e após correções do Datum para Córrego Alegre, os mapas base foram elaborados. O primeiro mapa, com o contorno do estuário, foi utilizado para a representação dos resultados batimétricos e sedimentológicos, ao passo que o segundo, contendo o uso e ocupação do solo do entorno, foi utilizado para representação dos dados geoquímicos.

Esta etapa considerou as possíveis modificações que um estuário pode sofrer em cerca de 40 anos, caso fosse utilizada a base cartográfica da Sudene, datada de 1973.

A carta topográfica de Barra de Mamanguape, Folha SB.25-Y-A-VI-3-NO (SUDENE, 1974) e o *Mapa de Localização da APA – Barra do Rio Mamanguape* do então Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA / SUPES – PB, 1994), ambos na escala 1:25.000 (Datum: Córrego Alegre), também foram utilizados para reconhecimento das feições e das fontes de contaminação em campo.

3.2 PROCEDIMENTOS DE CAMPO

3.2.1 Amostragem de sedimentos de fundo

A coleta dos sedimentos superficiais de fundo foi realizada nos dias 29 e 30 de novembro (período seco na área estudada) de 2008, ao longo do trecho de 7,5 km do estuário

do rio Mamanguape, a partir da sua desembocadura, em direção à montante. Esta etapa metodológica subsidiou tanto as análises granulométricas, quanto as de carbonatos totais, matéria orgânica e da fração potencialmente biodisponível dos elementos químicos (incluindo os principais metais pesados).

Para a coleta das amostras destinadas à análise granulométrica, foram pré-definidas 51 estações de amostragem situadas em perfis transversais ao canal principal do estuário, obedecendo a um espaçamento de 600 metros entre si (Figura 13). Ao longo de cada perfil, com o auxílio de um amostrador pontual do tipo *van Veen*, de aço *inox* (Figura 14), foram coletadas três amostras de sedimento de fundo superficiais, sendo uma no centro do canal e duas próximas às suas margens. Estas amostras foram coletadas a uma profundidade de aproximadamente 12 cm no sedimento de fundo do estuário. Nas entradas dos oito afluentes foram coletadas amostras pontuais de sedimentos.

Nas 13 estações localizadas no centro do canal, correspondendo àquelas com distribuição obedecendo a um espaçamento de cerca de 600 m, e nos oito afluentes da área em estudo, uma alíquota de cada amostra foi separada para a determinação dos teores de carbonatos totais e matéria orgânica, além da fração potencialmente biodisponível dos elementos químicos. Esta última análise foi realizada em amostras de sedimentos de fundo do interior dos afluentes e em sete estações do canal principal, distribuídas sistematicamente à montante e à jusante destes últimos (Figura 15).

As coordenadas geográficas dos pontos foram obtidas com Garmin® GPS 12 *Personal Navigator*®, e as amostras foram devidamente acondicionadas em sacos plásticos e etiquetadas com o respectivo número da estação.

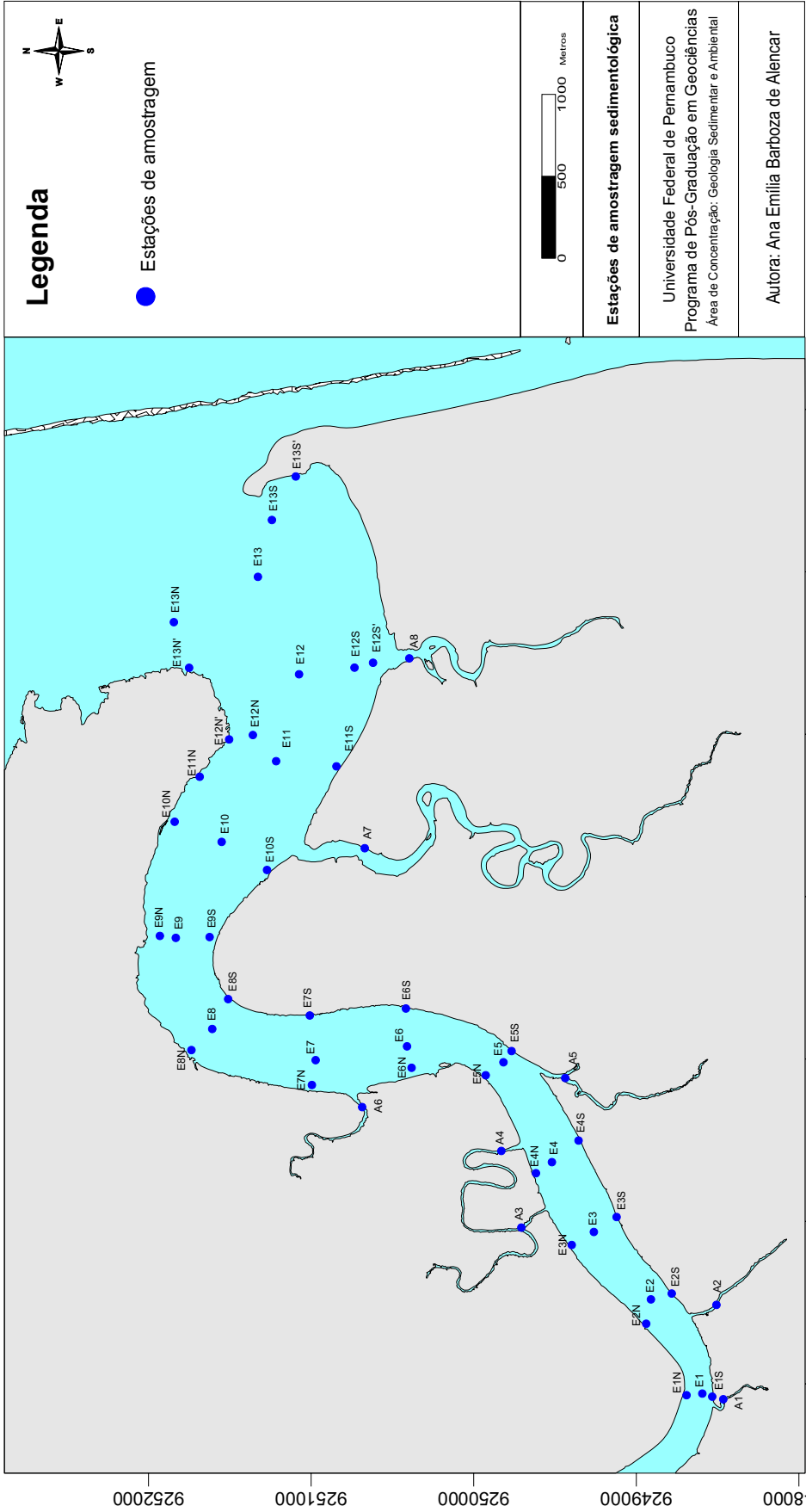


Figura 13 Localização e identificação das estações de amostragem sedimentológica.



Figura 14 Amostrador pontual *van Veen* e amostra de sedimento de fundo.

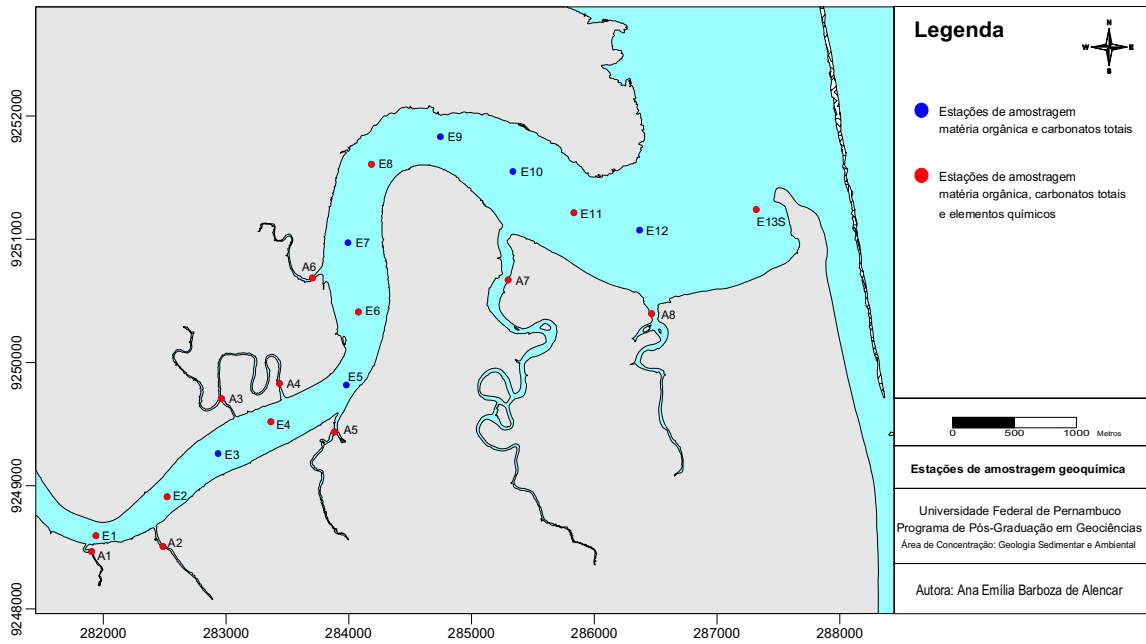


Figura 15 Localização e identificação das estações de amostragem geoquímicas.

3.2.2 Levantamento batimétrico

Com o objetivo de representar a configuração do relevo de fundo da área em estudo, foi definida uma malha batimétrica composta por 41 perfis de sondagem, transversais à calha principal do rio Mamanguape, com equidistância de 200 metros entre si. Os perfis foram enumerados de “1” a “41” na margem esquerda, acrescentando-se um apóstrofo para demarcá-los na margem direita correspondente (1-1’; 41-41’) (Figura 16). A referida malha foi posicionada de forma a sobrepor a área de amostragem sedimentológica.

O levantamento batimétrico foi realizado entre os dias 21 e 22 de novembro de 2009. Foi utilizada uma embarcação de fibra a motor (25 hp), deslocando-se a uma velocidade média de 4 nós (7,41 km/h). Os dados de profundidade e posição foram obtidos com o auxílio de uma ecosonda Garmin, com transdutor fixo ao casco da embarcação, e emissão de pulsos a cada três segundos (Figura 17). Para o armazenamento dos dados utilizou-se coordenadas UTM, com profundidade em metros.

No tocante ao comprimento dos perfis, estes se prolongaram em ambas as margens até o limite máximo da vegetação do mangue, ou da possibilidade de navegação, levando em conta a altura do calado da embarcação. Os perfis 37 a 41, no entanto, tiveram seu limite esquerdo plotados até o limite de fechamento da baía, perfazendo assim a totalidade da área de estudo.

Durante a execução da batimetria, as alturas das marés foram tomadas a cada 15 minutos a partir de uma régua hidrográfica inserida na margem da baía formada na foz do rio Mamanguape. Os dados coletados serviram de base para o cálculo da diferença de nível, juntamente com a altura mínima da maré do dia, a fim de registrar em mapa as profundidades para o nível médio do mar, conforme apresentado nas cartas náuticas. A tábua de marés utilizada foi a do Porto de Cabedelo, fornecida pela DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação – Marinha do Brasil).

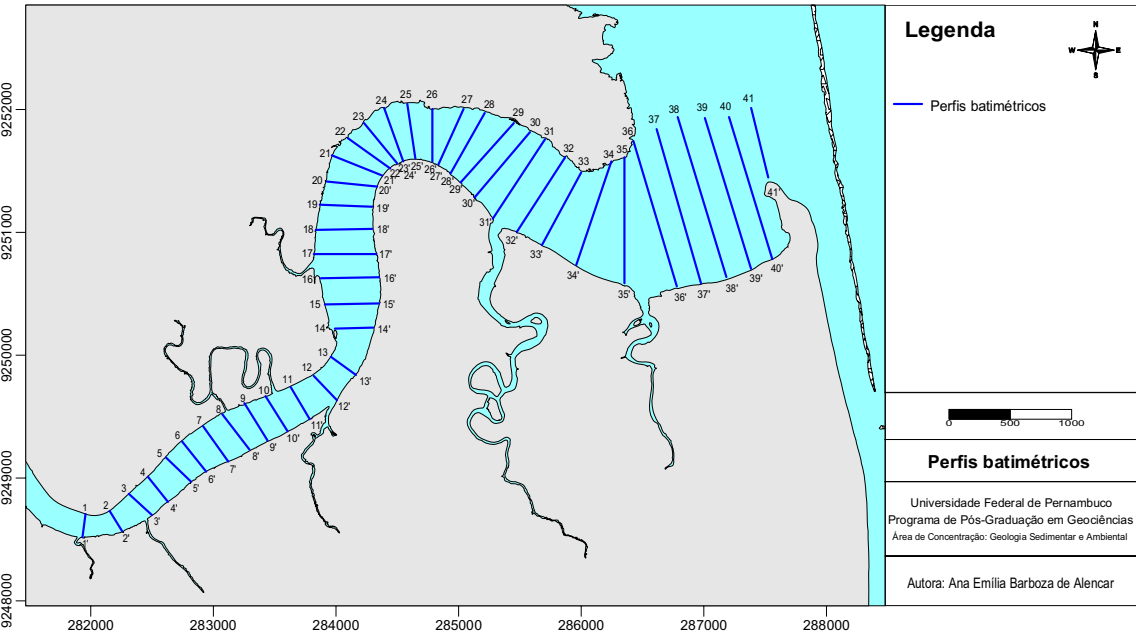


Figura 16 Localização e identificação dos perfis batimétricos, do 1-1’ ao 41-41’.



Figura 17 Coleta de dados de profundidade através do transdutor acoplado à embarcação e armazenamento na ecossonda.

3.3 ANÁLISE DE DADOS DO LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO

Para a análise dos dados, as cotas batimétricas foram expressas conforme o modelo das cartas náuticas da Marinha do Brasil, em relação ao nível médio do mar (baixa-mar de sizígia), e serão denominadas aqui de “Profundidade ao Nível do Mar”, ou simplesmente “PNMar”.

Para o cálculo da PNMAR, as profundidades medidas foram corrigidas a partir do nível zero das marés, sendo deduzidos do primeiro valor (P_{medida}): a altura mínima da maré no dia da medição (Maré mín. dia), obtida a partir da tábua de marés; e a variação da maré, obtida a partir da diferença de nível registrada pela régua de maré (Dif. da régua). A equação utilizada para o cálculo está ilustrada na Fig. 18, juntamente com o desenho esquemático do método.

As PNMAR com as respectivas coordenadas foram tabeladas e exportadas para um software de interpolação, onde através do método da krigagem (*kriging*) foi gerado um mapa hipsométrico com isóbatas de 0,5 m. Dois outros mapas foram derivados deste primeiro, aparecendo em escala de cinza e com isóbatas de 1,0 m, visando a representação dos perfis batimétricos transversais mais significativos.

A análise e interpretação dos resultados foram realizadas através do referido mapa batimétrico (Figura 19) e de gráficos seccionais elaborados a partir dos perfis batimétricos mais significativos (Figura 20 e 21).

Nos referidos gráficos, a linha em “0 m” no eixo das ordenadas corresponde ao nível da água na baixa-mar de sizígia, de forma que os valores representados acima desta são consideradas áreas com relevo vertical positivo, constituindo os “bancos” ou “croas”, que ficam submersos periodicamente durante a maré alta. Aquelas situados abaixo desta linha (relevo negativo) correspondem a áreas permanentemente submersas.

Este levantamento permitiu a correlação com os dados granulométricos obtidos, possibilitando a inferência da hidrodinâmica da área.

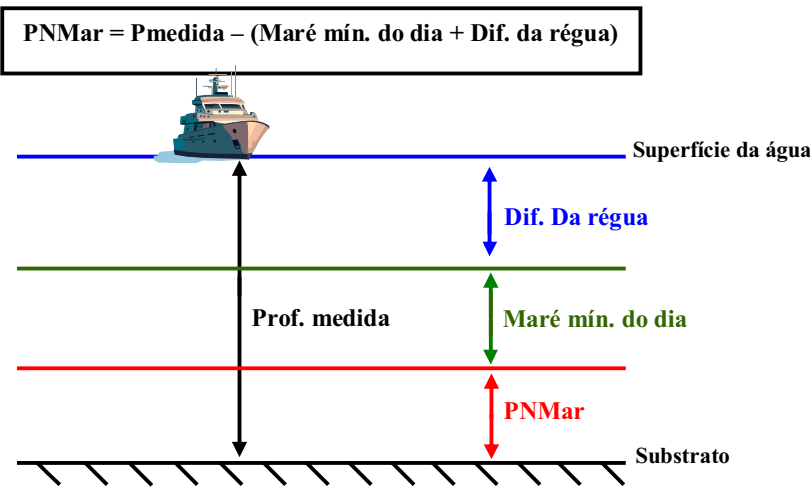


Figura 18 Desenho esquemático do cálculo de diferença de nível para correção das cotas batimétricas.

3.4 ANÁLISES SEDIMENTOLÓGICAS DO SEDIMENTO DE FUNDO

3.4.1 Tratamento das amostras

No Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha (LGGM), do Departamento de Geologia da UFPE, as amostras foram submetidas à análise granulométrica, de acordo com metodologia proposta por Suguio (1973). Inicialmente o material foi seco à temperatura ambiente, sendo posteriormente levado à estufa a uma temperatura de 60°C. Em seguida foi realizada a desagregação e o quarteamento com o auxílio de martelo de borracha e espátula, respectivamente. O peso inicial de 100 gramas foi retirado de cada amostra, para posterior peneiramento úmido utilizando-se duas peneiras de bronze de malhas 2 mm e 0,062 mm, a fim de separar o material nas frações cascalho (> 2 mm), areia (< 2 mm, > 0,062 mm) e lama (< 0,062 mm).

Após esta etapa, as frações cascalho e areia foram novamente secas em estufa à 60°C e pesadas separadamente para definição dos respectivos percentuais. O percentual da fração lama foi obtido por diferença entre os pesos final e inicial.

Posteriormente, apenas a fração areia foi submetida ao peneiramento mecânico em agitador de peneiras *rot up*, durante 10 minutos, para separação das sub-frações granulométricas. Utilizou-se um jogo de cinco peneiras de bronze com intervalo de malha de

01 *phi*, sendo elas de 1,000; 0,500; 0,250; 0,125 e 0,062 mm, correspondendo às frações areia muito grossa, areia grossa, areia média, areia fina e areia muito fina, respectivamente.

3.4.2 Análise e interpretação dos dados sedimentológicos

Após o peneiramento, o peso retido em cada fração granulométrica, convertido em porcentagem, foi utilizado para calcular os parâmetros estatísticos de distribuição (diâmetro médio, curtose, assimetria e desvio padrão) e classificação textural, utilizando o método sugerido por Folk & Ward (1957).

O diâmetro médio, ou média aritmética de um sedimento, corresponde à distribuição média do tamanho das partículas. Em sedimentologia, é o parâmetro estatístico mais significativo, por refletir a média geral do tamanho de uma população de grãos, que é influenciada pela fonte de suprimento do material, pelo processo de sedimentação e pela energia do agente deposicional (Suguio, 1973).

A curtose mede o grau de agudez dos picos nas curvas de distribuição de frequência, indicando a dispersão (espalhamento) das curvas de distribuição granulométrica (Suguio, 1973). Segundo este autor, a análise da curtose permite distinguir diferentes graus de energia, bem como determinar o grau de mistura de diferentes populações dentro de um mesmo ambiente sedimentar.

A assimetria expressa o grau de afastamento do diâmetro médio da mediana, podendo assumir valores positivos ou negativos ao se dispersar de um ou do outro lado da média. A interpretação de valores de assimetria de distribuições granulométricas de um corpo sedimentar tem sido aplicada com o objetivo de caracterizar seu ambiente deposicional (Suguio, 1973).

O desvio padrão é usado como medida de dispersão dos grãos, e sua análise tem por objetivo avaliar o grau de seleção de um sedimento. Representa um parâmetro relevante das análises granulométricas, visto que está relacionado à competência dos distintos agentes geológicos em selecionar com maior ou menor aptidão um determinado tamanho de grão (Suguio, 1973).

Apenas as frações arenosas (valores entre 0 a 4 Φ) foram consideradas na elaboração dos mapas temáticos dos parâmetros estatísticos. As amostras com percentual de areia inferior

a 25% foram consideradas como lama nesta análise, aparecendo nos referidos mapas em branco, com a legenda de “Área bloqueada”.

Visando a identificação das fácies texturais que atapetam o canal, e inferências hidrodinâmicas, foram elaborados os diagramas triangulares propostos por Shepard (1954) e Folk (1954), respectivamente. Ambos utilizam a distribuição dos pesos das frações cascalho, areia e lama ao longo da escala definida por Wentworth (Wentworth, 1922). Convertidos em informações numéricas, estes dados servem tanto para descrever texturalmente os sedimentos, como para elucidar o comportamento dos mesmos durante o transporte e deposição.

Foram elaborados mapas de distribuição espacial das frações cascalho, areia e lama, das fácies texturais e dos parâmetros estatísticos, utilizando a técnica de interpolação da Krigagem (*kriging*).

3.5 ANÁLISES GEOQUÍMICAS DO SEDIMENTO DE FUNDO

3.5.1 Tratamento das amostras

Em laboratório, as amostras destinadas à análise das concentrações de matéria orgânica (M.O.), carbonatos totais (CT) e elementos químicos (incluindo os principais metais pesados: Na, Mg, K, Ca, Mn, Fe, Li, Be, Al, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Mo, Cd, Ba, Tl, Pb, Th e U) foram secas à temperatura ambiente, desagregadas com auxílio de martelo de borracha em bacia plástica, homogeneizadas com espátula de plástico e, posteriormente, a fração fina <63 µm (silte e argila) foi obtida por peneiramento, utilizando-se peneiras plásticas (*nylon*) para evitar contaminação.

3.5.2 Quantificação das concentrações de matéria orgânica e carbonatos totais nos sedimentos de fundo

Os teores de matéria orgânica (M.O.) e carbonatos totais (CT) foram determinados pela submissão de 1,0 g de cada amostra ao processo de perda de massa por calcinação, segundo metodologia proposta por Kralik (1999). Para tais análises, pesou-se 1,0 g de cada amostra, sendo estas posteriormente inseridas em cadinhos de porcelana, e levadas à estufa a

uma temperatura de 105 °C (por 16h) para obtenção do peso seco. Em seguida, os cadinhos foram colocados em mufla a 360 °C (por 2h). O peso final foi obtido após resfriamento das amostras em dessecador de vidro, correspondendo ao teor de M.O.

As análises de carbonatos totais foram realizadas de acordo com o método proposto por Dean (1974), onde após obtenção do teor de M.O., os cadinhos retornaram à mufla a uma temperatura de 1.050 °C (por 1h). Para a obtenção do percentual de carbonato perdido na amostra, foi utilizado o fator 0,44 correspondente à fração da massa de CO₂ em CaCO₃.

3.5.3 Digestão das amostras de sedimento e análise da concentração dos elementos químicos

As análises químicas multi-elementares (Na, Mg, K, Ca, Mn, Fe, Li, Be, Al, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Sr, Mo, Ag, Cd, Sb, Ba, Tl, Pb, Th e U) foram realizadas no Laboratório do Instituto de Geociências da UNICAMP (Campinas, SP). Uma alíquota de 0,5 g da fração <63 µm de cada amostra foi submetida à digestão por 10 ml de HCl 0,5 M em tubo de centrífuga agitado por 1 hora à temperatura ambiente. Este procedimento visou à extração dos elementos químicos ligados mais fracamente ao sedimento, representando a fração potencialmente susceptível à biodisponibilidade (Sutherland, 2002). Em seguida, os tubos foram centrifugados (4.000 rpm, por 15 minutos) e uma alíquota de cada amostra (50 µL) foi diluída para 5,0 ml com HNO₃ 1%.

As determinações foram realizadas em espectrômetro de plasma com espectrometria de massa acoplada (*ICP-MS*), em um modelo XseriesII (Thermo) equipado com CCT (*Collision Cell Technology*) para atenuação de interferentes poliatômicos. A calibração do instrumento foi efetuada com soluções-padrão multi-elementares preparadas gravimetricamente a partir de soluções-padrão monoelementares de 10 mg L⁻¹ (*High Purity Standards*), e 1000 mg L⁻¹ (*Merck*).

O controle de qualidade foi efetuado pela análise dos materiais de referência certificados NIST SRM 1640 (Trace Elements in Natural Water), 1643e (Trace Elements in Water), SLRS-4 (River Water Reference Material) e BCR-2 (Basalt Columbia River) após dissolução com HF/HNO₃ (Tabela 10 a 13, Apêndice 4).

Foi realizada ainda uma repetição da leitura da amostra A1 e duas repetições da preparação das amostras A1 e A2, para controle da qualidade analítica, sendo observadas diferenças percentuais relativas (DPR) dentro do esperado (Tabela 14 a 16, Apêndice 4).

3.5.4 Análise e interpretação dos dados geoquímicos

Para análise dos dados geoquímicos, foram elaboradas matrizes de correlação entre as variáveis analisadas (elementos químicos, matéria orgânica, carbonatos totais e fração fina dos sedimentos), utilizando o coeficiente de correlação de Pearson. Optou-se por envolver as concentrações da M.O., CT e fração fina dos sedimentos no tratamento de matriz de correlação, pelo fato das concentrações destes três parâmetros poderem controlar a concentração de elementos químicos nos sedimentos (Manahan, 2005). O coeficiente de correlação utilizado é um método capaz de avaliar a existência de correlação entre duas variáveis X e Y, exibindo informações básicas sobre a natureza da população abordada. O coeficiente de correlação entre duas variáveis pode variar entre -1,0 e 1,0, de acordo com o sentido do relacionamento (Spiegel, 1972). No presente trabalho foram consideradas apenas as correlações fortes: ($0,8 \leq R \leq 1,0$) para correlações positivas e ($-0,8 \leq R \leq -1,0$) para as negativas. Foi utilizado o nível de confiança de 95% ($p < 0,05$). Os valores de concentração situados abaixo do limite de detecção do método utilizado foram considerados como sendo iguais à metade do valor deste limite, para efeito de cálculo da matriz de correlação.

Com o intuito de avaliar a qualidade dos sedimentos do rio Mamanguape, as concentrações dos elementos químicos analisados foram comparadas com aquelas obtidas em outros estuários do Nordeste (Estuário do Rio Formoso - PE; Rio Botafogo - PE; Suape - PE; Estuário do rio Curimataú - RN; e Sistema Estuarino Lagunar do Roteiro - AL); com a média da composição do folhelho na crosta terrestre estabelecida por Turekian & Wedepohl (1961); e com os parâmetros estabelecidos por órgãos internacionais para avaliação da qualidade de sedimentos estuarinos, como a agência ambiental canadense (Canadian Council of Ministers of the Environment – CCME 2002) e a norte-americana (US EPA, 1998).

Foram elaborados ainda gráficos da concentração dos elementos químicos ao longo das estações, e mapas para melhor visualização da distribuição espacial dos mesmos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE BATIMÉTRICA DO ESTUÁRIO DO RIO MAMANGUAPE

O presente estudo procurou identificar as principais feições morfológicas superficiais do estuário do rio Mamanguape, uma vez que inexistiam trabalhos anteriores com este enfoque na referida área, nem mesmo em levantamento da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). O estudo batimétrico de um corpo aquoso, e sua correlação com a granulometria dos sedimentos de fundo permite realizar inferências hidrodinâmicas locais, caracterizando os ambientes mais ou menos suscetíveis ao acúmulo de argilominerais e, conseqüentemente, de elementos químicos.

Inicialmente, procurou-se estabelecer um intervalo de profundidade que melhor ilustrasse a morfologia de fundo do estuário em mapa. Desta forma, optou-se por utilizar o intervalo de 0,5 m para as isóbatas, considerando a grande variação das medições e a extensão da área. A profundidade média encontrada foi de 2,0 m, intercalada por relevos positivos (bancos) – depósitos sedimentares, e negativos (depressões) – canais. A profundidade máxima encontrada foi de 9,8 m, e a mínima de 1,1 m, esta última correspondendo à altura de um banco emerso (Figura 19), resultando em uma amplitude batimétrica de 10,9 m. Os perfis batimétricos mais significativos foram posicionados em detalhes do mapa batimétrico original (Figuras 20 e 21), e utilizados para esboçar os canais e depósitos sedimentares identificados, os quais encontram-se descritos separadamente a seguir, para sua melhor compreensão. Os demais perfis elaborados para a área e não utilizados neste item, encontram-se no Apêndice 1.

Considerando ser esta a primeira batimetria em escala de detalhe realizada no interior do rio Mamanguape, os canais e depósitos sedimentares identificados a partir deste levantamento foram nomeados, visando identificá-los para a comunidade científica e facilitar a sua descrição ao longo do texto. Para a escolha dos nomes foi considerada a proximidade às comunidades e/ou afluentes de importância dentro da área delimitada para o presente estudo, cujos nomes constassem em mapas (SUDENE, 1974), assim como a posição destes canais e depósitos em relação à linha central do estuário.

De acordo com o exposto, os canais mapeados foram batizados de “**Canal Tavares**, **Canal Rio Velho**, **Canal Tramataia**, **Canal do Norte** e **Canal do Sul**”, enquanto os depósitos sedimentares aparecem listados como “**Banco do Meio** e **Banco do Norte**”.

4.1.1 Canais

Ao longo dos três meandros do estuário foram encontrados os três canais mais largos e profundos, cuja formação é favorecida pelo regime hidrodinâmico mais intenso, aparecendo interligados por canais mais estreitos e menos profundos, com cerca de 3,5 m de profundidade. Desta forma, na direção oeste-leste tem-se o “**Canal Tavares**” (perfis 1 e 4, Figura 20), próximo à comunidade de mesmo nome, o “**Canal Rio Velho**” (perfil 14, Figura 20), e o “**Canal Tramataia**” (perfis 24 e 27, Figura 21), localizado no meandro mais oriental do rio Mamanguape.

Há ainda os dois canais da desembocadura, chamados aqui de “**Canal do Norte**” e “**Canal do Sul**” (perfis 32 e 38, Figura 21). O primeiro representa o principal local de comunicação com o oceano durante a baixa-mar, ao passo que o segundo aparece mais confinado em marés de sizígia devido à ligação do banco longitudinal do centro do rio, descrito a seguir, com o pontal arenoso paralelo ao oceano. Este último canal é muito utilizado para o ancoramento de embarcações pesqueiras e canoas de pequeno e médio porte, devido à proteção natural gerada pela baía formada na foz.

O “**Canal Tavares**”, localizado na porção mais à montante da área de estudo, apresentou as maiores profundidades, variando entre 4 e 9,8 metros. Isto provavelmente se deve ao fato de que neste local o canal torna-se mais estreito, aumentando a velocidade do fluxo viscoso para manter a vazão constante. Este aumento da velocidade do fluxo resulta em um efeito cizalhante, com conseqüente aumento da profundidade.

O “**Canal Rio Velho**” e o “**Canal Tramataia**”, por sua vez, atingiram de 4 a 7 metros (Figura 19). Os três canais apresentaram declives relativamente acentuados a partir de sua porção mais profunda em direção à margem adjacente, reforçando a inferência de forte hidrodinâmica nestes locais, e resultando em uma morfologia assimétrica.

Os canais da desembocadura são relativamente mais rasos e apresentam profundidades irregulares. O “**Canal do Norte**” possui predominância de profundidades entre 2,5 e 3 metros, embora existam pequenos pontos mais profundos, variando entre 3,5 e 6,5 metros. O mesmo

se repete ao longo do “**Canal do Sul**”, embora este exiba profundidades máximas de 7 metros também em um ponto isolado. No local de junção entre estes dois canais ocorre uma zona de turbulência e, no primeiro meandro do estuário, formam juntos o “**Canal Tramataia**” (Figura 19).

4.1.2 Depósitos Sedimentares

As áreas de deposição de material sedimentar no interior do canal são tratadas aqui como “bancos”. O termo “banco de areia”, definição clássica na literatura, não foi utilizado por fazer referência à escala granulométrica, o que não é o caso da região estudada, uma vez que os depósitos encontrados na região são predominantemente areno-lamosos, e por vezes apenas lamosos, ocorrendo ainda a presença de fragmentos de conchas e de algas *Halimeda* no tamanho cascalho (> 2 mm) em alguns locais. Quer sejam arenosos ou argilosos, os bancos descritos aqui são depósitos recentes (Quaternário), inconsolidados, que permanecem submersos durante a preamar e emergem durante a baixa-mar de sizígia, considerando-se as isóbatas (zonas de mesma profundidade) de 0,0 metros.

A desembocadura do rio Mamanguape é caracterizada por apresentar bancos areno-lamosos longitudinais, com ausência de cobertura vegetal, acumulados por ação das correntes de maré, com limites bem definidos e canais paralelos a eles e às margens da baía.

O “**Banco do Meio**” é o maior depósito sedimentar da foz do rio Mamanguape. Está situado no centro do canal e apresenta morfologia típica de banco de estuários dominados por marés, especialmente no caso do rio Mamanguape, onde a presença da linha de arrecifes impede que o mesmo seja retrabalhado por ondas. Sua exposição ocorre durante a baixa-mar, possuindo aproximadamente 2,2 km de comprimento e largura máxima de 250 m. Esta feição apresenta elevações de cerca de 1,0 m, podendo ser observada nos perfis seccionais 32 e 38, da Figura 21. Na saída do afluente 8 (rio Caraca) existe um canal que intercepta o “Banco do Meio”, conectando o “Canal do Sul” ao “Canal do Norte”, e direcionando a corrente de vazante para o oceano. Esta ligação pode ser visualizada no detalhe da Figura 21

O “**Banco do Norte**” está localizado próximo à desembocadura do rio da Estiva, na extremidade norte da margem esquerda do rio Mamanguape, em sua região de contato com o oceano. Possui aproximadamente 1 km de comprimento, 800 m de largura e, assim como o “banco do meio”, apresenta elevações de cerca de 1,0 m. Estes dois bancos são separados pelo

“**Canal do Norte**”, conforme descrito anteriormente. A morfologia de fundo da desembocadura, devido à presença dos bancos, apresenta semelhança com a letra “W”, dividindo-a nos dois canais supracitados (perfis 32 e 38, Figura 21).

A origem desses bancos pode estar relacionada à presença da linha de recifes de arenito, atuando como uma barreira natural à propagação das ondas do mar, gerando ambientes de baixa energia e favorecendo a deposição de sedimentos (Manso *et al.*, 2003). Quando este tipo de feição domina na foz, as marés tornam-se as principais modeladoras do ambiente interno do estuário.

Mendes (2000), ao realizar observações no estuário do rio Formoso, descreveu um banco semelhante a este, considerando a sua formação a partir da deposição de sedimentos fluviais e da deriva litorânea, a partir da anulação de energia do fluxo fluvial e das correntes marinhas.

O desmatamento das margens para o plantio de monoculturas (cana-de-açúcar) em comunidades litorâneas próximas à área de estudo, assim como no entorno do rio, inclusive em regiões vizinhas ao manguezal com declividade acentuada e restritas a este uso por lei, é a principal causa do aporte de sedimentos para o estuário do rio Mamanguape (Paludo, 1992).

Tanto as matas ciliares como as demais coberturas vegetais naturalmente protegem os solos. O desmatamento, seguido da exposição dos solos às práticas agrícolas, exploração agropecuária, carcinicultura, mineração ou ocupações urbanas, em geral acompanhadas de movimentação de terra, abrem caminho para os processos erosivos e para o transporte de materiais orgânicos e inorgânicos, drenados até o depósito final nos leitos dos cursos d’água (Semarh, 2009), provocando a redução da sua profundidade e hidrodinâmica.

Segundo observações dos nativos, corroborando citação de Marinho (2002), o aumento quantitativo e areal dos bancos de areia na foz do rio Mamanguape constituem provas concretas do processo de assoreamento decorrente das atividades antrópicas. Alencar (2004), em levantamento batimétrico realizado em uma gamboa do rio Caraca, descrito como Afluente 8 da presente área de estudo, constatou uma redução significativa na profundidade média entre dois anos consecutivos, de forma que um levantamento batimétrico rotineiro torna-se fundamental para o acompanhamento da evolução dos depósitos.

Nas margens opostas aos canais profundos dos meandros existem os bancos ou depósitos lamosos que permanecem expostos durante a baixa-mar. A maior velocidade do fluxo concentrada no interior dos canais favorece a deposição de sedimentos finos no lado oposto. Apenas o “**Canal Tavares**” não apresenta estes bancos, já que é a porção mais estreita e profunda da área em estudo. Conforma dito anteriormente, o afunilamento do canal provoca

o aumento da velocidade do fluxo para manter a vazão neste ponto, de forma que as porções mais rasas não ultrapassem os 0,5 m de profundidade.

De forma geral, as profundidades decrescem a partir do centro do canal em direção às margens, onde as entradas dos afluentes e gamboas experimentam áreas relativamente mais rasas e bancos elevados. Ainda segundo Alencar (2004), a porção proximal do rio Caraca exibiu uma variação de profundidade de 2,57 m de coluna d'água para a área mais profunda, e 61 cm de altura para o banco mais elevado. Este último se tornou mais proeminente ao se aproximar da entrada da gamboa Caracabú, localizada em sua margem oeste.

Diversos estuários do Nordeste brasileiro corroboram as afirmações supracitadas, não apresentando variações discrepantes quando se trata de suas profundidades. Conforme a Carta Náutica nº 806 (DHN, 1998), referente às proximidades do Porto de Cabedelo, as profundidades encontradas ao longo do rio Paraíba (PB), considerando também o nível de baixa-mar média de sizígia, variaram entre 0,0 e 9,0 metros. Entretanto, a profundidade máxima foi encontrada no interior da área do Porto, estando sujeita a grandes modificações devido às dragagens periódicas e sendo, portanto, inadequada a comparações. A média das maiores profundidades para este rio está em torno de 6,0 m.

Deve-se considerar aqui que as profundidades inferiores àquelas encontradas nos meandros do rio Mamanguape dizem respeito ao fato do rio Paraíba estar localizado em uma área de urbanização acentuada, já que este margeia a cidade de João Pessoa, sofrendo um processo acentuado de assoreamento quando comparado ao Mamanguape. O levantamento batimétrico realizado para elaboração da Carta Náutica não compreendeu este último rio, tendo esta sido realizada apenas até o limite da área externa do recife encontrado em sua desembocadura.

Estudos realizados durante Diagnóstico Sócio-Ambiental da APA de Guadalupe, no município de Sirinhaém-PE (CPRH, 1998), identificaram a maior profundidade no sistema como sendo de 12,3 m, próxima aos recifes, e a profundidade máxima média do canal de navegação de 7m, ao longo do trecho inferior do rio Formoso. Este estudo destacou ainda uma série de bancos expostos durante a maré baixa, ao longo da desembocadura.

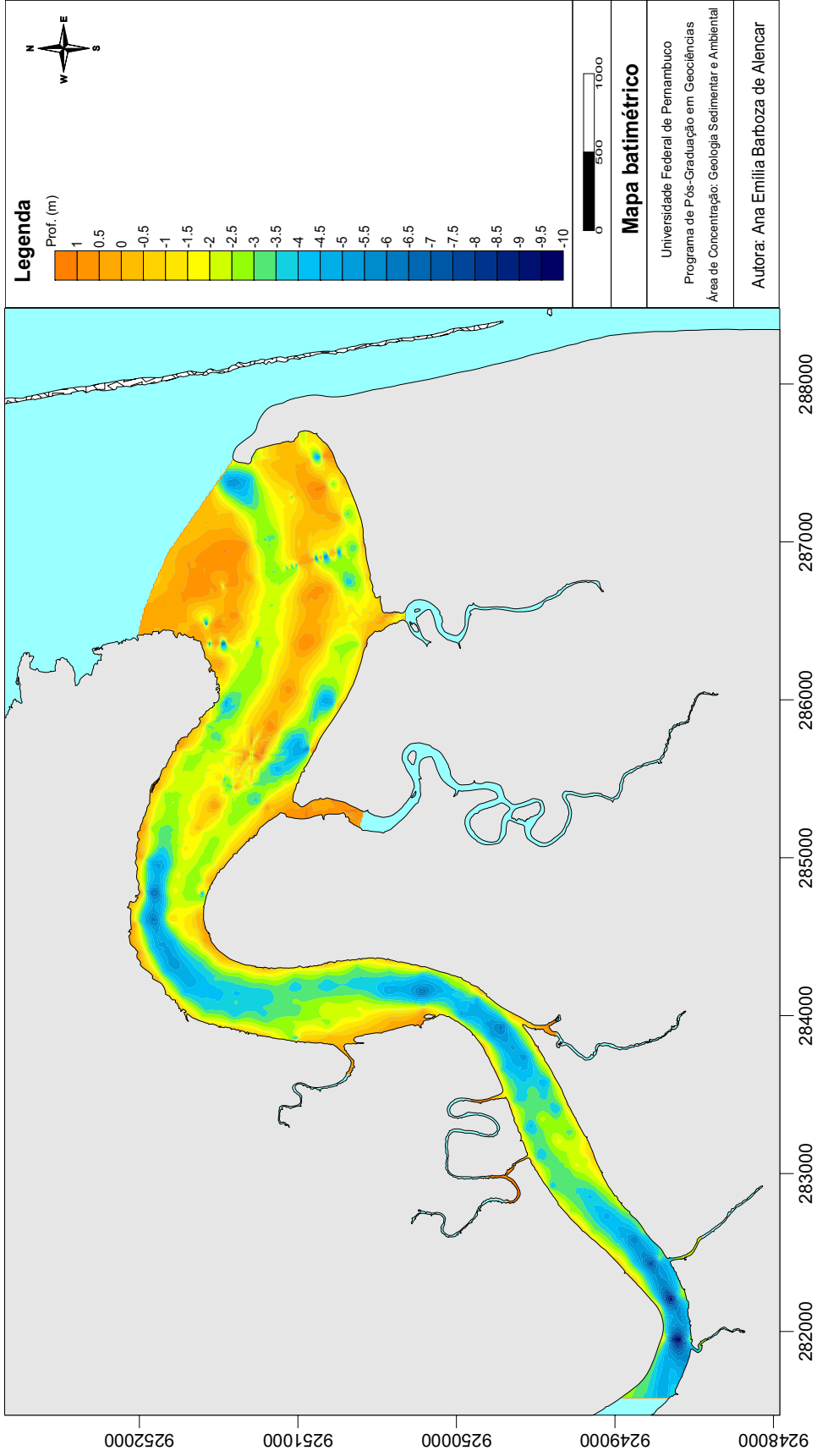


Figura 19 Mapa batimétrico do estuário do rio Mamanguape.

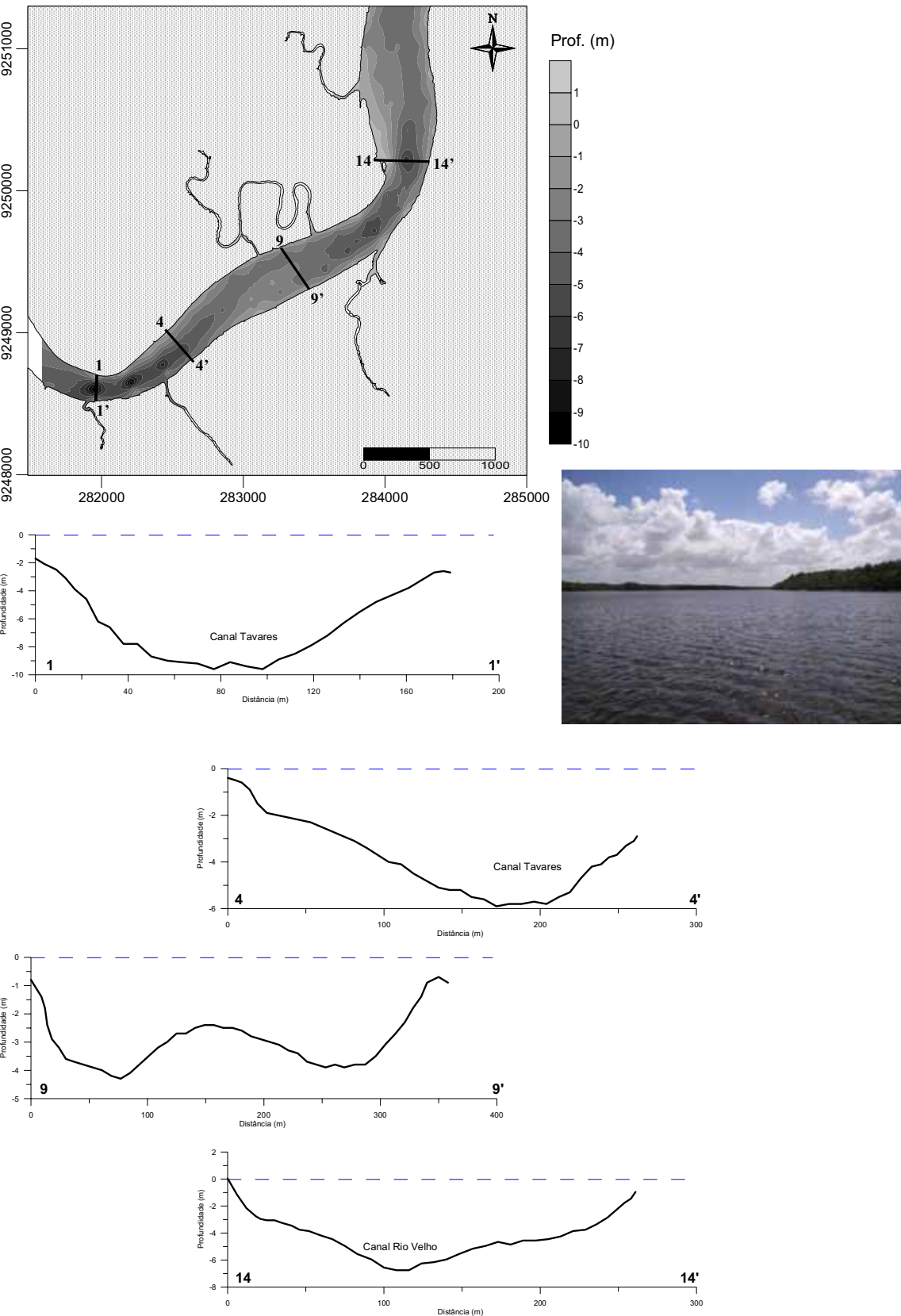


Figura 20 Perfis batimétricos do estuário do rio Mamanguape com a respectiva localização em mapa. A foto representa o canal principal do rio na altura do perfil 14-14'.

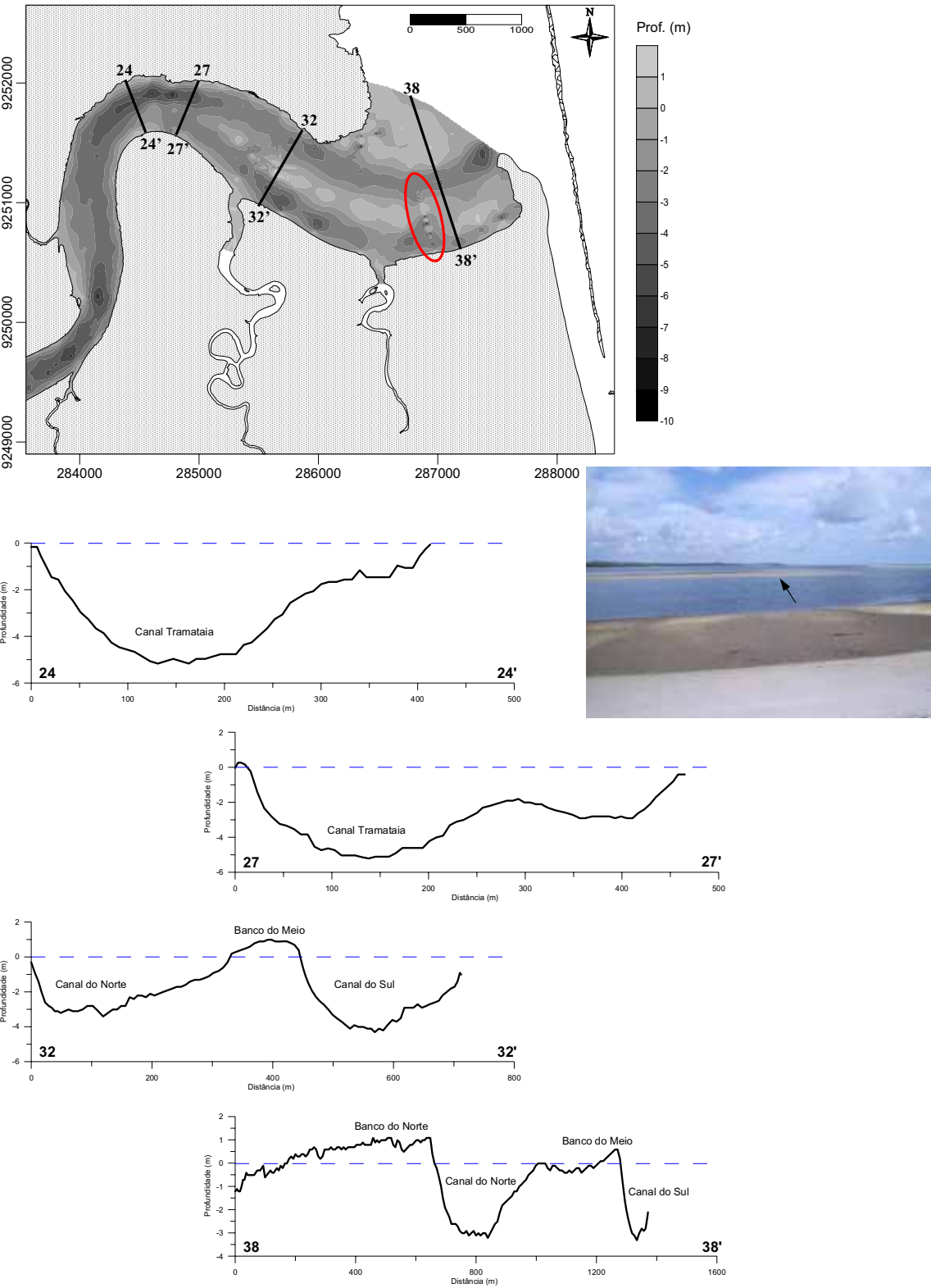


Figura 21 Perfis batimétricos do estuário do rio Mamanguape. No detalhe do mapa: canal de comunicação entre o “Canal do Sul” e o “Canal do Norte”. No detalhe da foto: “Banco do Meio” na altura do perfil 38-38’.

4.2 ANÁLISES SEDIMENTOLÓGICAS DO SEDIMENTO DE FUNDO DO ESTUÁRIO DO RIO MAMANGUAPE

4.2.1 Distribuição Granulométrica

As análises granulométricas evidenciaram a presença e quantificaram as frações cascalho, areia e lama. A média é o parâmetro mais importante para a caracterização e descrição textural dos ambientes de sedimentação (Suguio, 1973). Desta forma, utilizando o método de Folk & Ward (1957), que considera o diâmetro médio do grão, 31% das amostras analisadas foram classificadas como lama (silte + argila). As amostras classificadas como areia muito fina, areia fina e areia média corresponderam a 4%, 30% e 35%, respectivamente. Não houve sedimentos com a classificação de areia grossa, tampouco de areia muito grossa.

A análise espacial dos resultados mostrou que os depósitos de sedimentos finos (lama) tendem a se concentrar na região mais à montante da área de estudo e, conseqüentemente, mais distante do oceano. Já os sedimentos arenosos são observados em toda a área, geralmente associados aos trechos dos canais de maior profundidade, apresentando maior representatividade areal na desembocadura.

Abaixo são descritos detalhadamente os parâmetros supracitados, e são apresentados os mapas de distribuição espacial das frações cascalho, areia e lama, de fácies texturais e dos parâmetros estatísticos das amostras de sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.

4.2.1.1 Fração Cascalho

A fração cascalho representa a fração mais grossa, com granulometria superior a 2 mm (-1Φ). Esta fração apresentou baixa ocorrência em toda a área de estudo, variando de 0 a 10% onde, das 51 amostras analisadas, 46 (90% do total) tiveram percentuais inferiores a 3% (Figura 22). Os pontos com maiores concentrações, por sua vez, foram encontrados na parte externa dos meandros do estuário, sendo estes os locais dotados de maiores profundidades, conforme visto anteriormente no item 4.1 relativo à Análise Batimétrica, e onde a própria morfologia já sugere uma hidrodinâmica mais acentuada que aquela existente nos canais retilíneos (Figura 23).

A despeito de parte expressiva da área ser tomada por percentuais nulos na representação espacial, no caso dos meandros a alta energia do agente transportador promove o carreamento do sedimento mais fino sem, no entanto, possuir competência para mover o cascalho, favorecendo o seu acúmulo nestes pontos.

A maior concentração foi observada no primeiro meandro (Canal Tavares), na estação de amostragem localizada mais à montante (Estação 1). Conforme dados da análise batimétrica, neste ponto também foi observada a maior profundidade da área de estudo. Este ponto apresentou um banco de ostras (*Crassostrea rhizophorae*) e proporções de cascalho superiores a 10% (10,668%), seguido de concentrações menores nas estações 5 (7,246 %), 8 (5,935 %), 11 N (3,500 %) e 13 S' (3,218 %). Foi observada uma baixa concentração de fragmentos minerais (quartzo) nesta fração, sendo predominante a ocorrência de grãos carbonáticos biogênicos.

As amostras das estações 1, 5 e 8, localizadas mais à montante, foram constituídas por grande porcentagem de fragmentos de conchas de moluscos, especialmente ostras, enquanto aquelas das estações 11 N e 13 S', localizadas na desembocadura do rio, apresentaram maior teor de valvas inteiras e de quartzo.

Os baixos teores de quartzo na fração cascalho da área em estudo também podem ser interpretados como um reflexo da presença do recife de arenito na desembocadura do rio, que provavelmente dificulta a entrada dos sedimentos grosseiros no interior do sistema estuarino, conferindo ao mesmo atributos lagunares, com hidrodinâmica relativamente fraca.

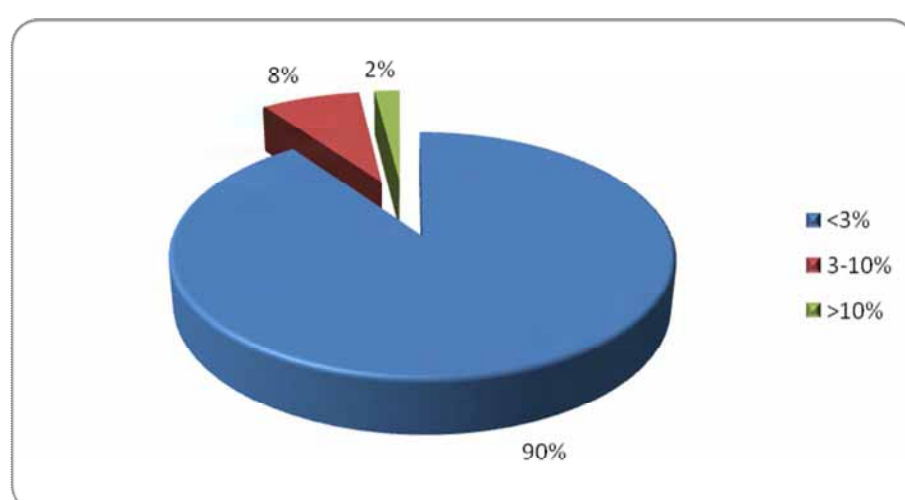


Figura 22 Diagrama mostrando os teores de ocorrência das classes percentuais da fração cascalho nas amostras de sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.

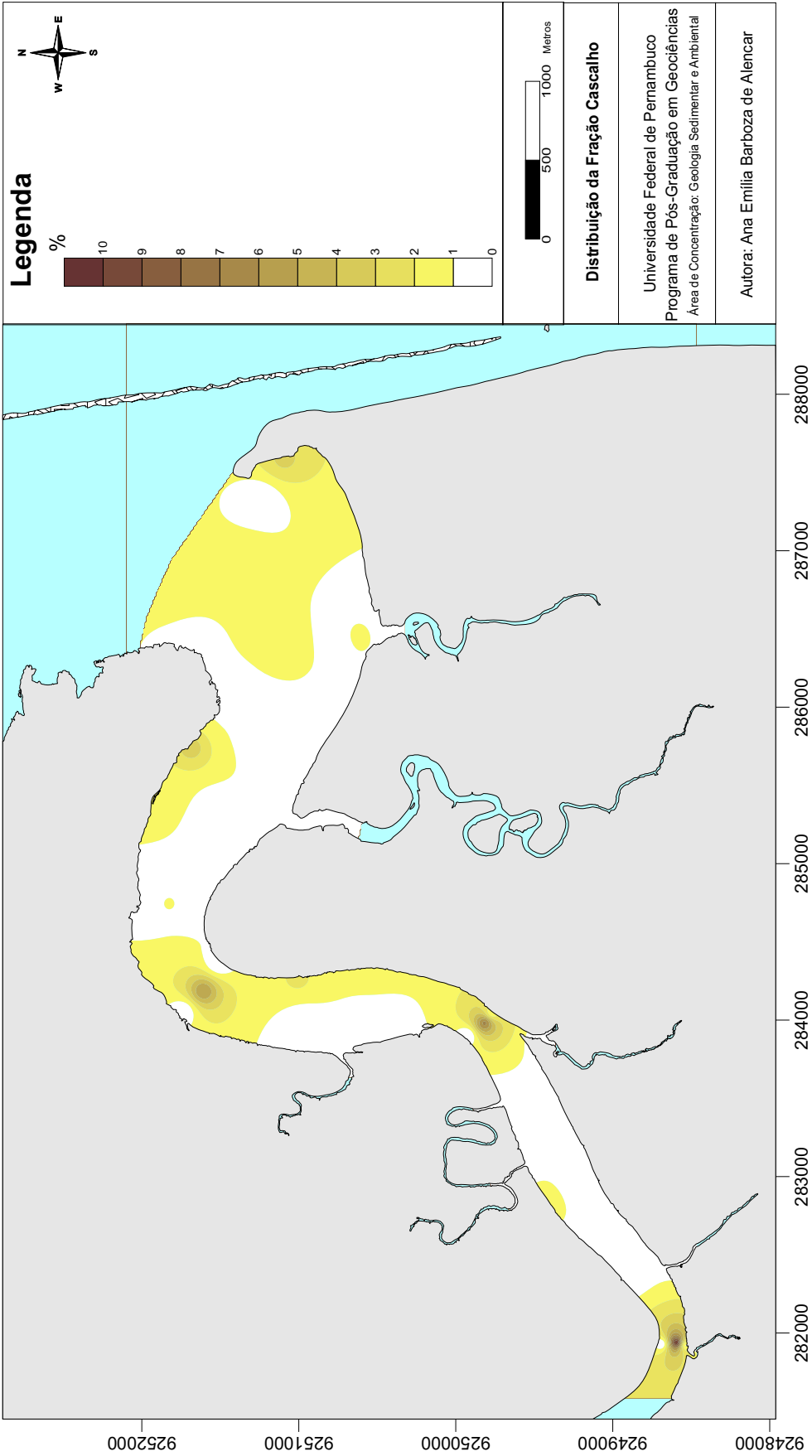


Figura 23 Mapa de distribuição da fração cascalho nos sedimentos de fundo do estuário do rio Mamanguape.

4.2.1.2 Fração Areia

A fração areia representa aquela com granulometria compreendida entre 0,062 mm (4 Φ) e 2 mm (-1 Φ). Das 51 amostras analisadas, 15 apresentaram valores acima de 80% de areia, 23 tiveram valores entre 20 e 80%, e em 13 os teores foram inferiores a 20% (Figura 24).

Esta fração ocorre em toda a área de estudo, apresentando percentuais decrescentes em direção à montante. Conseqüentemente, as maiores concentrações (>80%) foram encontradas nas áreas próximas à desembocadura, como nas estações mais à jusante da amostragem, e ao longo do último meandro (Canal Tramataia; Figura 25). A presença desta concentração na entrada do Afluentes 8 (Figura 25) confirma a existência do canal que intercepta o “Banco do Meio” em direção ao oceano, descrito anteriormente no item 4.1.2.

Cabe destacar que em um ambiente deposicional de baixa energia o sedimento tende a se acumular, sendo dominantes os depósitos de material transportados em suspensão. No entanto, à medida que o nível de energia do ambiente deposicional aumenta, o material mais fino deixa de sedimentar, tornando as areias mais limpas, com menor conteúdo de silte e argila. Quando a hidrodinâmica é forte o suficiente para remover toda a argila, o fluido passa a selecionar apenas a fração areia (Netto, 1980).

Nos meandros do estuário investigado neste trabalho, onde foram encontrados os maiores teores de cascalho, esta fração apresentou ocorrência de 40 a 100%, confirmando o maior regime energético nesses locais.

Os valores entre 60 e 80% foram encontrados apenas como uma faixa de transição na desembocadura e em pontos isolados, como ocorreu sobre o “Banco do Norte” (Figura 25).

As menores concentrações, inferiores a 20%, foram encontradas sobre o banco arenolamoso da desembocadura, sendo este um redutor natural da energia das correntes de maré, favorecendo a deposição, e ao longo do canal retilíneo da porção mais à montante da área.

Quanto à constituição desta fração, foi observada uma predominância quartzosa, seguida por bioclásticos compostos principalmente por pequenos fragmentos de conchas.

A ocorrência de grãos carbonáticos biogênicos também nesta fração, e sua predominância em detrimento do quartzo na fração cascalho, refletem a composição carbonática da plataforma continental adjacente, com predomínio de sedimentos biogênicos (Teixeira *et al.*, 2003).

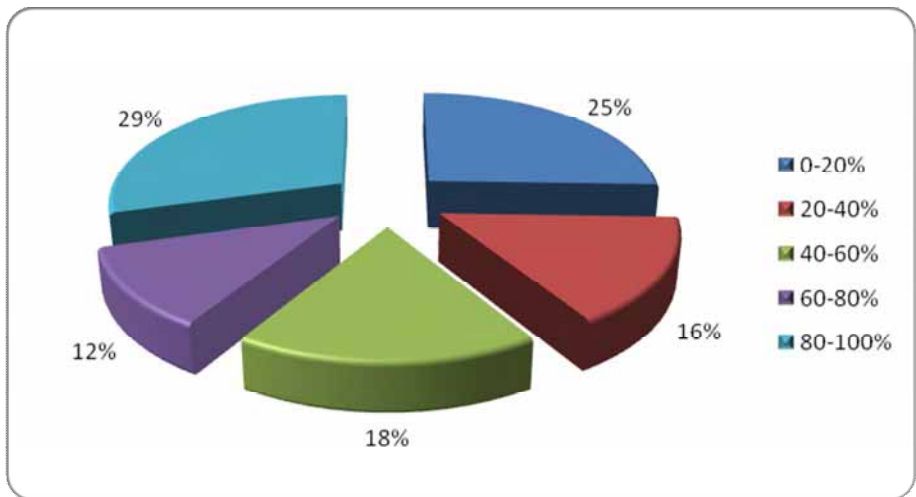


Figura 24 Diagrama mostrando os teores de ocorrência das classes percentuais da fração areia nas amostras de sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.

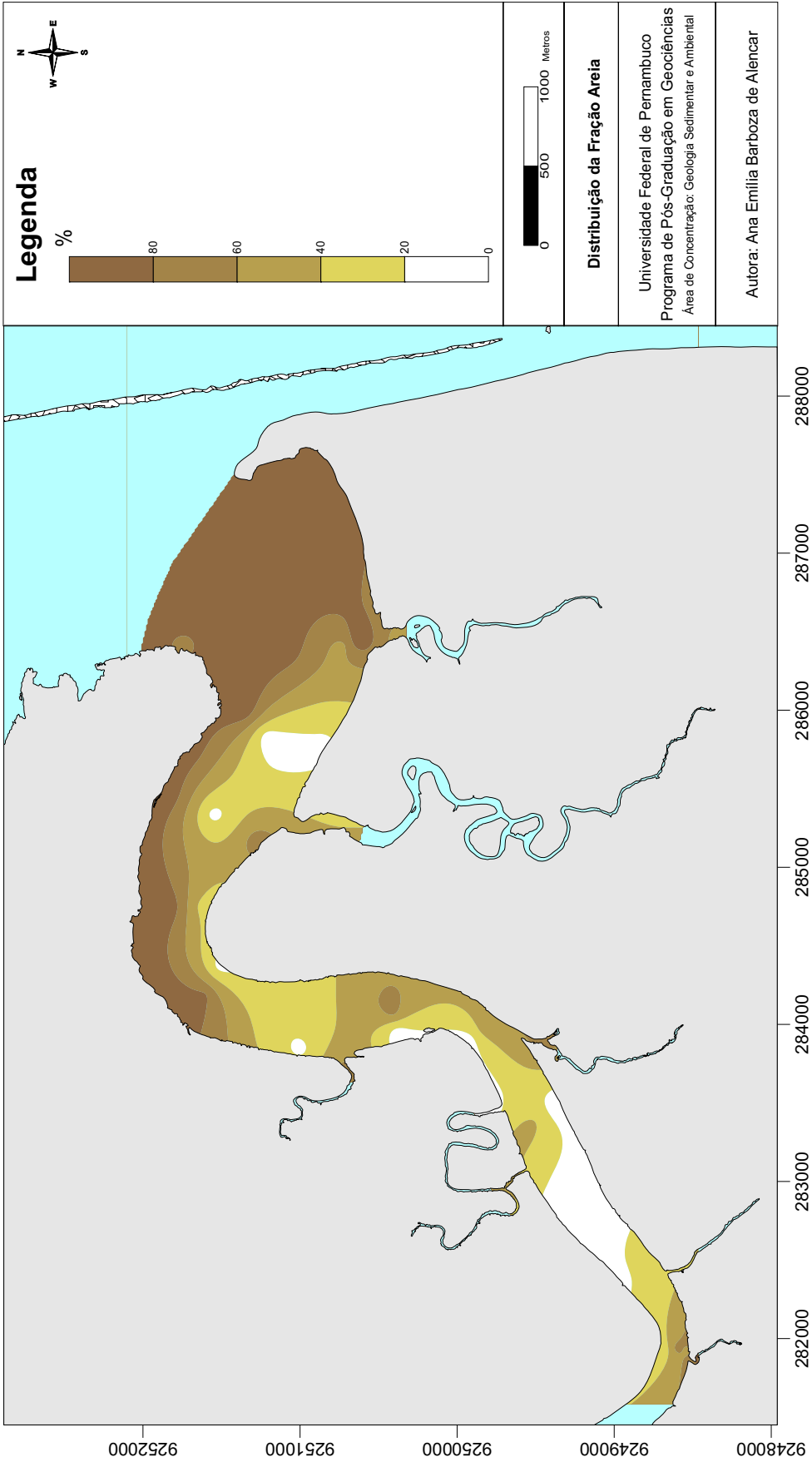


Figura 25 Mapa de distribuição da fração areia nos sedimentos de fundo do estuário do rio Mamanguape.

4.2.1.3 Fração Lama (Silte+Argila)

A fração lama representa os sedimentos muito finos, com granulometria inferior a 0,062 mm (5Φ). Assim como a areia, esta fração aparece bem representada em toda a área de estudo. Este é um fator comum nos estuários, especialmente devido à existência da barreira de recifes de arenito em sua desembocadura, tornando as águas mais calmas em seu interior e favorecendo os processos de deposição de sedimentos finos (Laborel, 1965). Das 51 amostras analisadas, 13 apresentaram percentuais de lama superiores a 80%, 21 entre 20 e 80%, e em 16 os teores foram inferiores a 20% (Figura 26).

Como os argilominerais presentes nesta fração apresentam a capacidade de adsorver elementos químicos (Jenne, 1977), sua distribuição servirá de base para a interpretação da concentração de metais pesados no sedimento de fundo do estuário, traçando um diagnóstico da saúde do ecossistema e dos possíveis riscos para a fauna local.

Esta fração apresentou percentuais crescentes em direção à montante. Conseqüentemente, os maiores teores ($>80\%$) foram encontrados ao longo do canal retilíneo na região mais a montante da área. Teores equivalentes também prevaleceram sobre o “Banco do Meio” na desembocadura (Figura 27).

Nos meandros esta fração apresentou baixa ocorrência, variando de 0 a 40%, confirmando o maior regime de energia nesses locais.

Os valores entre 20 e 40% foram encontrados apenas como uma faixa de transição e em pontos isolados, como ocorreu sobre o “Banco do Norte” (Figura 27).

Nas figuras 25 e 27 é possível observar uma relação de sobreposição entre os locais que apresentaram os maiores teores de lama e aqueles onde foram encontrados baixos percentuais da fração areia, e vice-versa. Como resultado, tem-se uma aparência de “negativo” ao comparar os dois mapas simultaneamente.

Os resultados encontrados demonstram que a distribuição dos sedimentos na área de estudo está diretamente relacionada à hidrodinâmica, sendo esta um reflexo da profundidade, largura e morfologia dos canais. Quanto maior a movimentação hidrodinâmica e profundidade, maior o valor do diâmetro médio depositado.

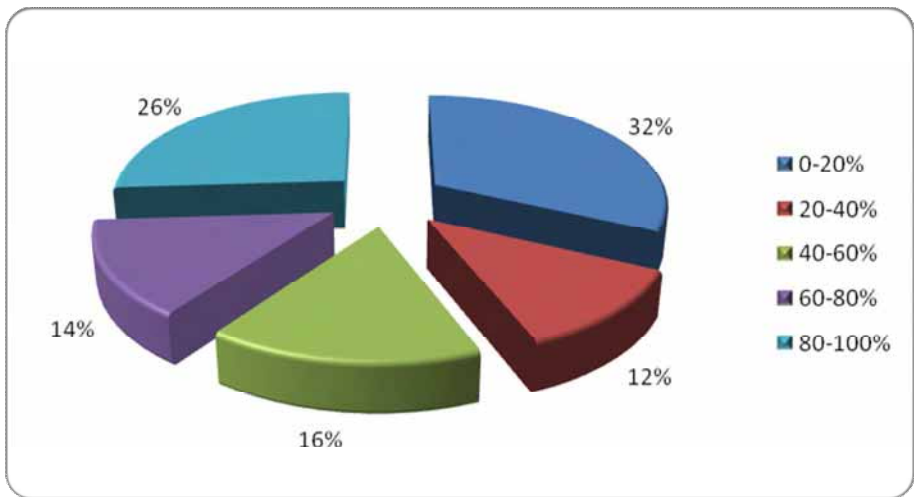


Figura 26 Diagrama mostrando os teores de ocorrência das classes percentuais da fração lama nas amostras de sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.

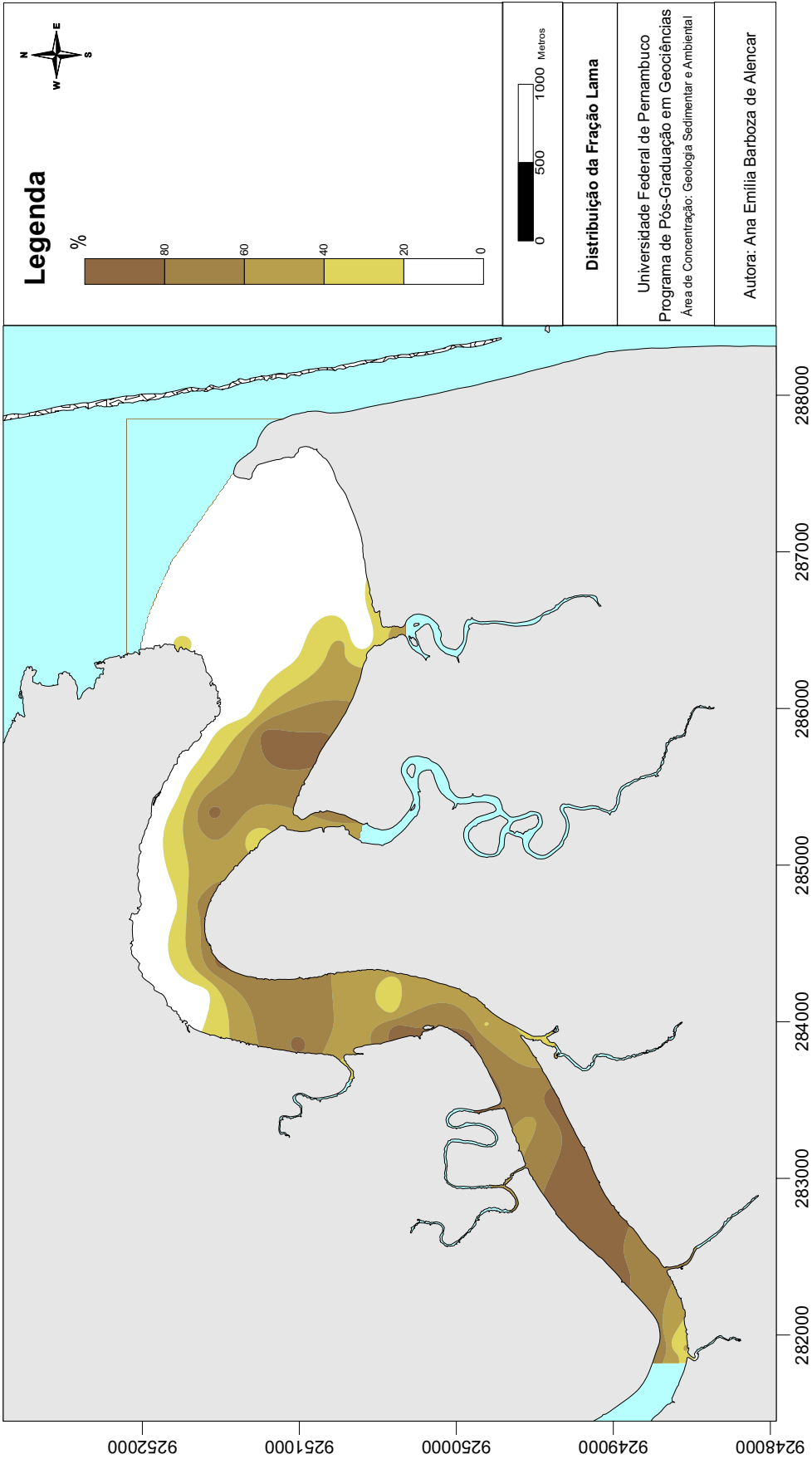


Figura 27 Mapa de distribuição da fração lama nos sedimentos de fundo do estuário do rio Mamanguape.

4.2.2 Classificação e distribuição das fácies texturais

Visando o melhor entendimento das fácies texturais que atapetam o estuário estudado, permitindo assim a elaboração do mapa temático correspondente, foi utilizado o *diagrama triangular de classificação dos sedimentos clásticos* proposto por Shepard em 1954 (Figura 28). Este esquema é puramente descritivo, permitindo a identificação das fácies presentes em determinada área de estudo.

Também foi considerada a classificação de Folk (1954), que é baseada na quantidade de cascalho existente no sedimento. Esta classificação é extremamente significativa, pois reflete os locais de maiores velocidades da corrente no momento da deposição (Dias, 1996).

Desta forma, pode-se inferir sobre as características hidrodinâmicas do canal, as quais, no presente estudo, são baixas, posto que apenas três amostras apresentaram teores de cascalho significativos para serem visualizadas no diagrama (Figura 29). Ressalta-se ainda a localização dessas amostras em meandros do estuário (E1: Canal Tavares, E5: Canal Rio Velho e E8: Canal Tramataia), áreas de elevada energia, conforme descrito ao longo dos itens precedentes.

No presente trabalho foram identificadas as fácies denominadas Areia (A - 33%), Areia lamosa (Al - 22%), Lama arenosa (La - 16%) e Lama (L - 29%) (Figura 30), de acordo com o percentual de lama existente na amostra (Tabela 1). O baixo percentual de cascalho em toda a área em estudo promoveu a distribuição das amostras apenas na base do diagrama. As quatro fácies descritas encontram-se representadas espacialmente, para sua melhor visualização, na figura 31.

Tabela 1. Classificação das fácies texturais de acordo com o percentual de lama na amostra (Shepard, 1954).

Classificação das fácies texturais	Percentual de lama na amostra
Areia	< 25%
Areia lamosa	25-50%
Lama arenosa	50-75%
Lama	> 75%

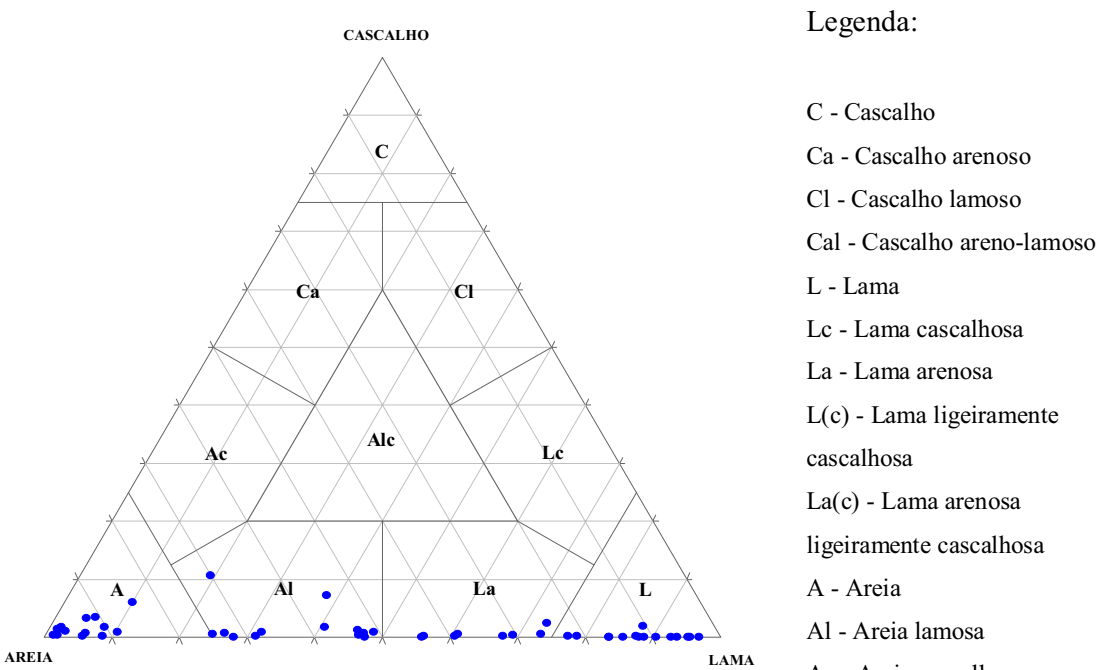


Figura 28 Distribuição das amostras de sedimentos clásticos do estuário do rio Mamanguape, no diagrama de Shepard (1954).

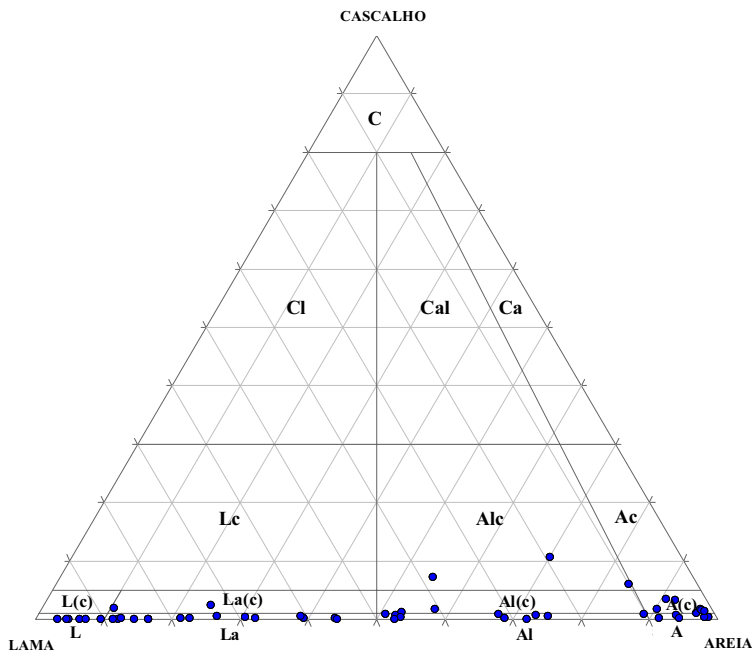


Figura 29 Distribuição das amostras de sedimentos clásticos do estuário do rio Mamanguape, no diagrama de Folk (1954).

A fácies Areia foi observada ao longo da desembocadura, por esta apresentar um maior regime hidrodinâmico, e na porção norte do último meandro (Canal Tramataia) (Figura 31).

Progressivamente em direção a montante, foram observadas as fácies Areia lamosa, presente apenas como uma faixa de transição entre a Areia e a Lama arenosa e, mais à montante do canal, a fácies Lama. A Areia lamosa ocupa ainda uma pequena porção à montante da área em estudo, também no interior do “Canal Tavares” e “Canal Rio Velho” (Figura 31).

As fácies lamosas, contendo mais de 50% de lama, estiveram presentes em boa parte do estuário, com ausência apenas na desembocadura.

Estudos sedimentológicos realizados por Amaral & Assis (1994) e Mendes (2000) em sedimentos de fundo do rio Formoso, mostraram uma tendência a um aumento geral das frações mais grossas no sentido da foz, corroborando os resultados supracitados. Segundo os referidos autores, esse comportamento pode ser interpretado como o de uma planície de maré sendo assoreada, o que é o caso do estuário do rio Mamanguape. Conforme tratado no item 4.1.2 dos Depósitos Sedimentares, o assoreamento neste local foi constatado por Alencar (2004) em levantamento batimétrico realizado no interior do rio Caraca.

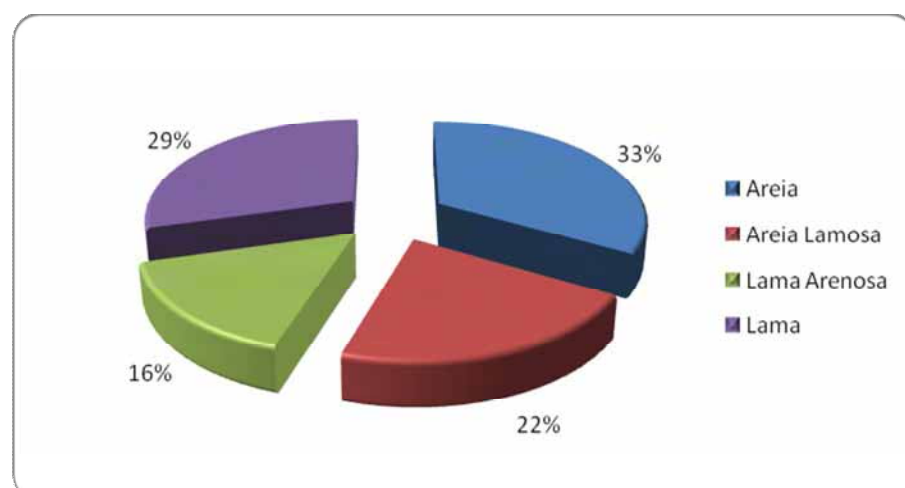


Figura 30 Diagrama mostrando os teores de ocorrência das fácies texturais nas amostras de sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.

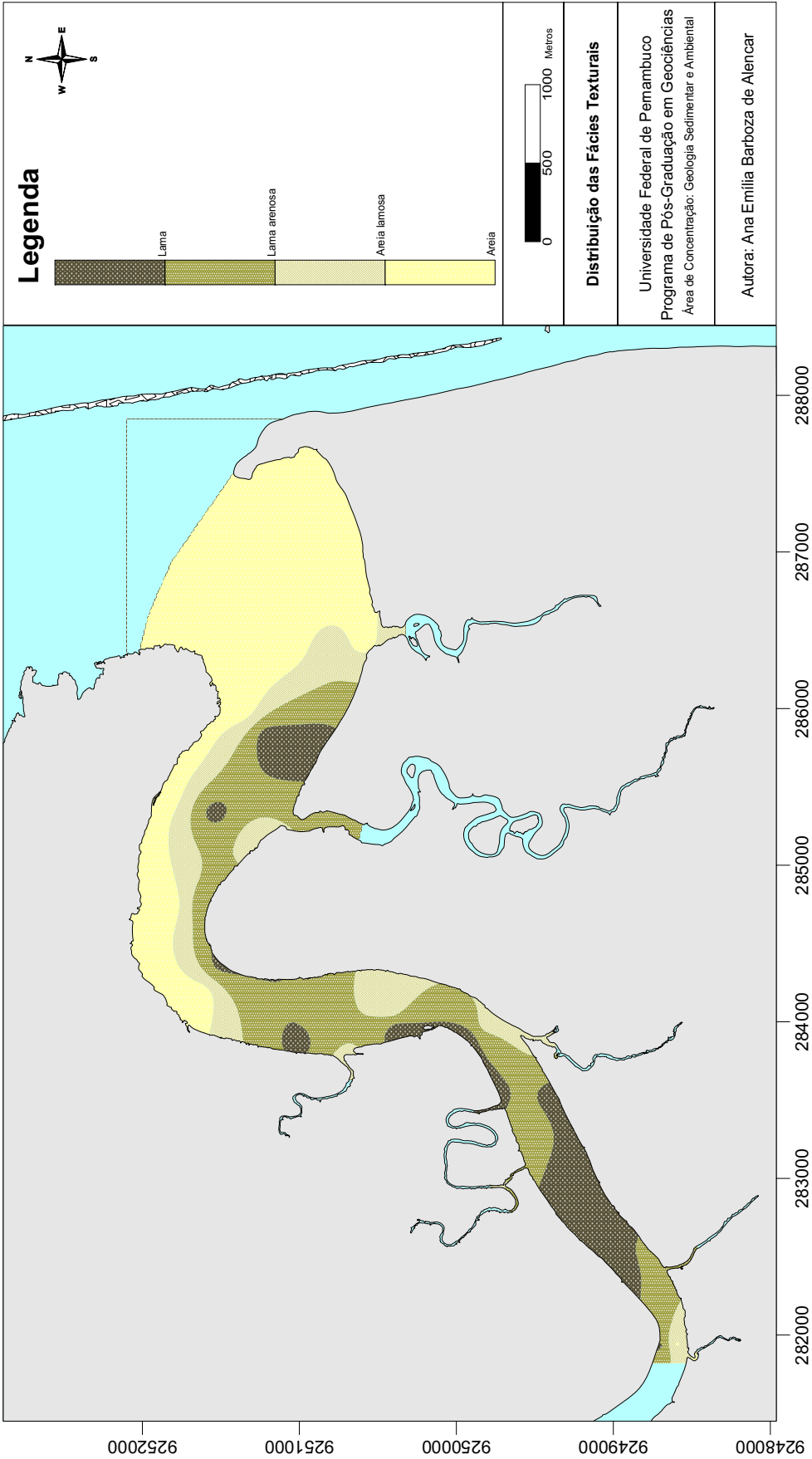


Figura 31 Mapa de distribuição das fácies texturais nos sedimentos de fundo do estuário do rio Mamanguape.

4.2.3 Parâmetros estatísticos obtidos com os resultados das análises granulométricas das amostras de sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape

A análise dos parâmetros estatísticos foi baseada na classificação proposta por Folk & Ward (1957). Por convenção, apenas as amostras com teores da fração areia maiores que 25% foram incluídas nas análises estatísticas, perfazendo um total de 35 amostras (69%) dentre as 51 analisadas. As demais amostras foram consideradas como “lama”, segundo a classificação de fácies texturais, e aparecem nos mapas em branco com a denominação de “Área bloqueada”. Estas amostras não foram utilizadas nas análises porque, segundo Balsillie (1995), a granulometria silte e argila têm a capacidade de agregar minerais pesados, como magnetita e ilmenita e, portanto, tendem a se comportar de maneira diferente em relação ao quartzo, menos denso, podendo alterar a interpretação granulométrica, comprometendo os resultados.

A seguir serão descritos sequencialmente os quatro parâmetros estatísticos analisados. Visando o enriquecimento da sua interpretação, assim como um maior entendimento prático da relação do diâmetro médio, curtose, assimetria e desvio padrão com a morfologia de fundo do estuário, a representação espacial dos mesmos foi sobreposta aos resultados batimétricos (isóbatas de 1,0 m).

4.2.3.1 Diâmetro Médio

A análise do diâmetro médio nas 35 amostras analisadas indicou a existência de três populações distintas, nos seguintes intervalos: 1 a 2Φ (0,5 a 0,250 mm) = *areia média*; 2 a 3Φ (0,250 a 0,125 mm) = *areia fina*; 3 a 4Φ (0,125 a 0,062 mm) = *areia muito fina*.

A *areia média* é predominante, aparecendo em 35% da área de estudo (Figura 32). Ocupa principalmente a desembocadura e os três canais do estuário (Tavares, Rio Velho e Tramataia), onde há uma correlação entre maior movimentação hidrodinâmica e profundidade (Figura 33). A fração *areia fina* (30% da área) ocorre principalmente no interior dos afluentes e nas proximidades das margens, onde a vegetação de mangue favorece sua deposição devido ao atrito que impõe às correntes, reduzindo sua velocidade. A *areia muito fina* (4% da área) foi encontrada no lado oposto ao “Canal Tramataia” e no canal retilíneo, enquanto a fração

lama (31% da área) predomina ao longo do canal retilíneo, no lado oposto aos canais Tavares Rio Velho e Tramataia, e ainda sobre o “Banco do Meio” da desembocadura (Figura 33). Não houve ocorrência significativa de areia grossa nos pontos amostrados, tampouco de areia muito grossa.

A distribuição espacial do diâmetro médio (Figura 33) corrobora os dados apresentados de batimetria e percentual de distribuição das frações cascalho, areia e lama. Assim, a maior granulometria do sedimento predomina nas áreas mais profundas e meandantes do estuário, ao passo que as menores granulometrias estão presentes principalmente nas proximidades do mangue e sobre os bancos de areia, ambos redutores da energia do agente deposicional.

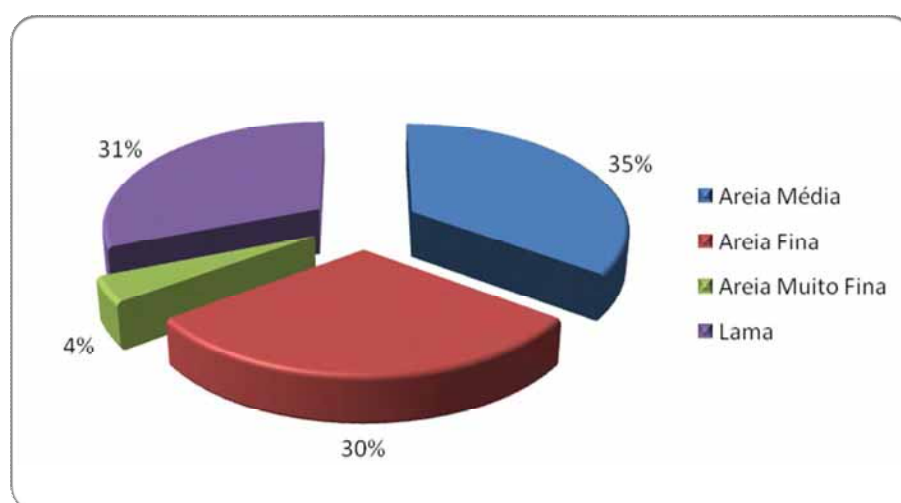


Figura 32 Diagrama mostrando os teores de ocorrência do diâmetro médio da fração arenosa nas amostras de sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.

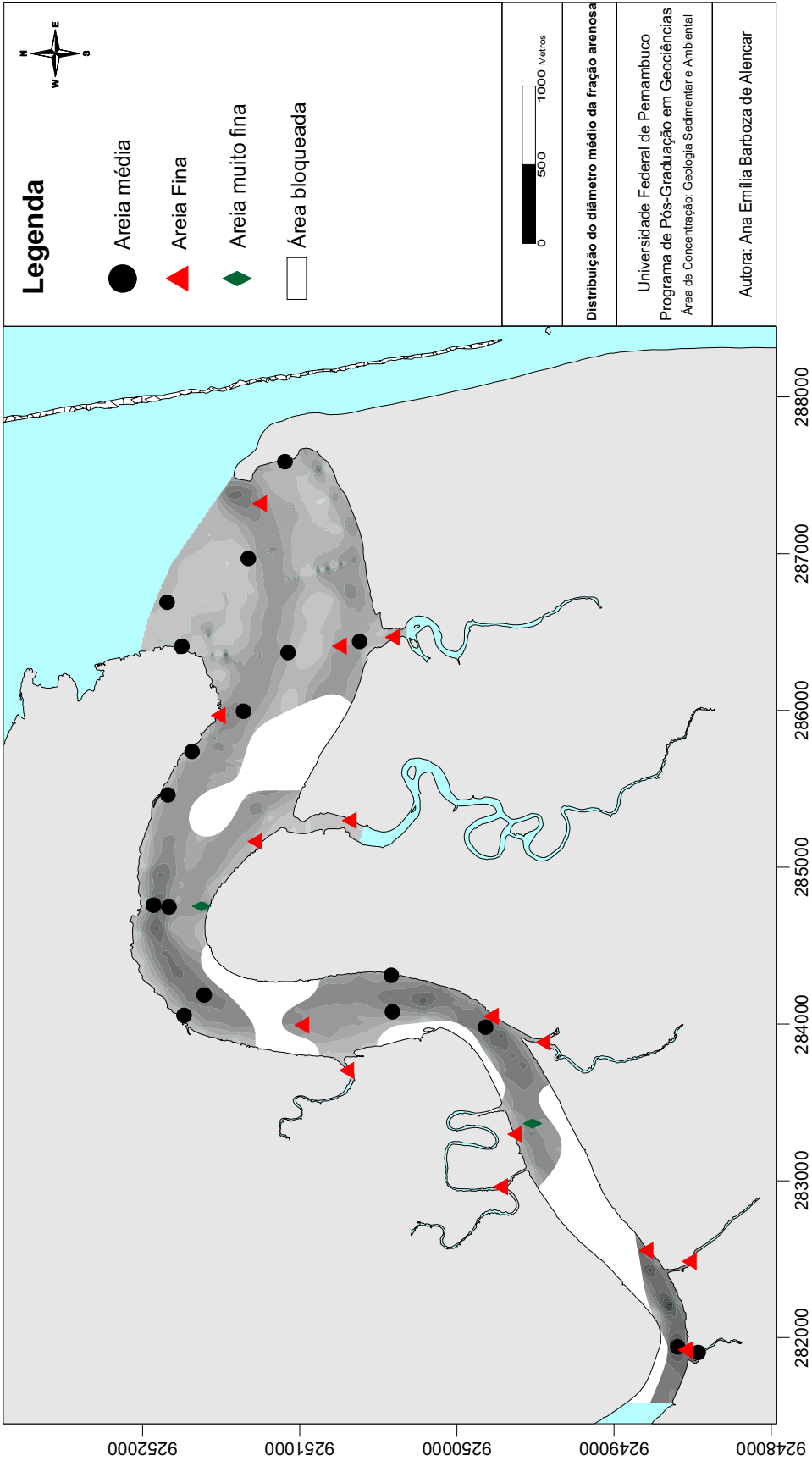


Figura 33 Mapa de distribuição do diâmetro médio da fração arenosa nos sedimentos de fundo do estuário do rio Mamanguape.

4.2.3.2 Curtose

As curvas de distribuição granulométrica podem ser mais achatadas ou mais proeminentes em relação à curva normal (gaussiana). Uma das formas de calcular a angulosidade, ou desvio em relação à curva normal é através da comparação dos comprimentos das caudas de distribuição relativamente à parte central da curva (Dias, 2004).

A Fig. 34 ilustra a representação gráfica de três amostras do sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape, sendo uma curva normal (gaussiana), classificada como mesocúrtica, sobreposta às curvas leptocúrtica, com angulosidade superior à da curva gaussiana, e platicúrtica, onde a angulosidade é inferior à da curva gaussiana.

A análise da curtose permitiu a identificação de curvas *leptocúrticas*, *mesocúrticas* e *platicúrticas*. Do total de amostras analisadas, foi observado um equilíbrio entre as curvas *mesocúrticas* e *leptocúrticas*, ambas com 43% de percentual de ocorrência. As curvas *platicúrticas* foram encontradas em 14% das amostras (Figura 35).

Segundo Ponçano (1986), valores *leptocúrticos* de curtose representam a existência de sedimentos unimodais, relacionados a uma hidrodinâmica mais intensa, ao passo que, os valores *platicúrticos* correspondem a sedimentos bimodais ou polimodais, apresentando uma distribuição anormal entre as classes granulométricas, e ocorrendo em ambientes menos energéticos. Este fato pode ocorrer, por exemplo, quando um determinado tipo de material é selecionado em uma região de alta energia, sendo posteriormente transportado, sem mudanças significativas de suas características, para um ambiente de baixa energia. A curtose *Mesocúrtica* indica níveis energéticos intermediários, e segundo Ponzi (1995), na maioria das vezes estão relacionadas a amostras arenosas unimodais.

Corroborando as citações dos autores supracitados, as amostras analisadas neste trabalho que apresentaram curtose *platicúrtica* aparecem em locais dominados pela baixa energia, e as *mesocúrticas* em áreas de energia mista, como nas margens do estuário e sobre bancos de areia da desembocadura, onde a hidrodinâmica é mais baixa. As curvas *leptocúrticas* foram encontradas nos três canais do estuário, onde predominam as cotas batimétricas mais profundas (zonas de alta energia) (Figura 36).

Nos afluentes de 1 a 7 foi predominante a ocorrência de curtose platicúrtica e mesocúrtica, ao passo que no Afluente 8, foi identificada a curtose leptocúrtica, possivelmente

devido à existência do canal na saída deste, que liga o “Canal do Sul” com o “Canal do Norte” (Figura 36), conforme descrito anteriormente no item que trata da análise batimétrica.

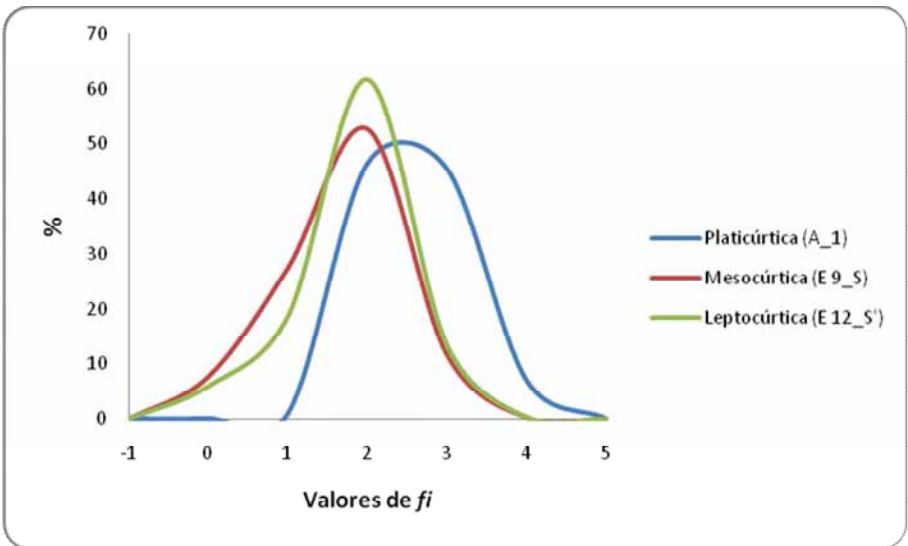


Figura 34 Comparação entre a curva normal (mesocúrtica) e curvas leptocúrtica, com angulosidade superior à da curva gaussiana, e platicúrtica, em que a angulosidade é inferior à da curva normal.

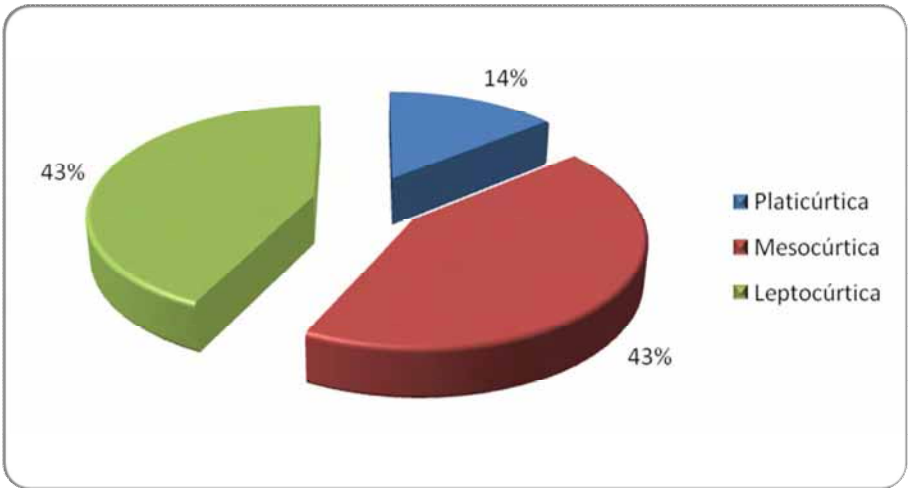


Figura 35 Diagrama mostrando o teor de ocorrência da curtose da fração arenosa nas amostras de sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.

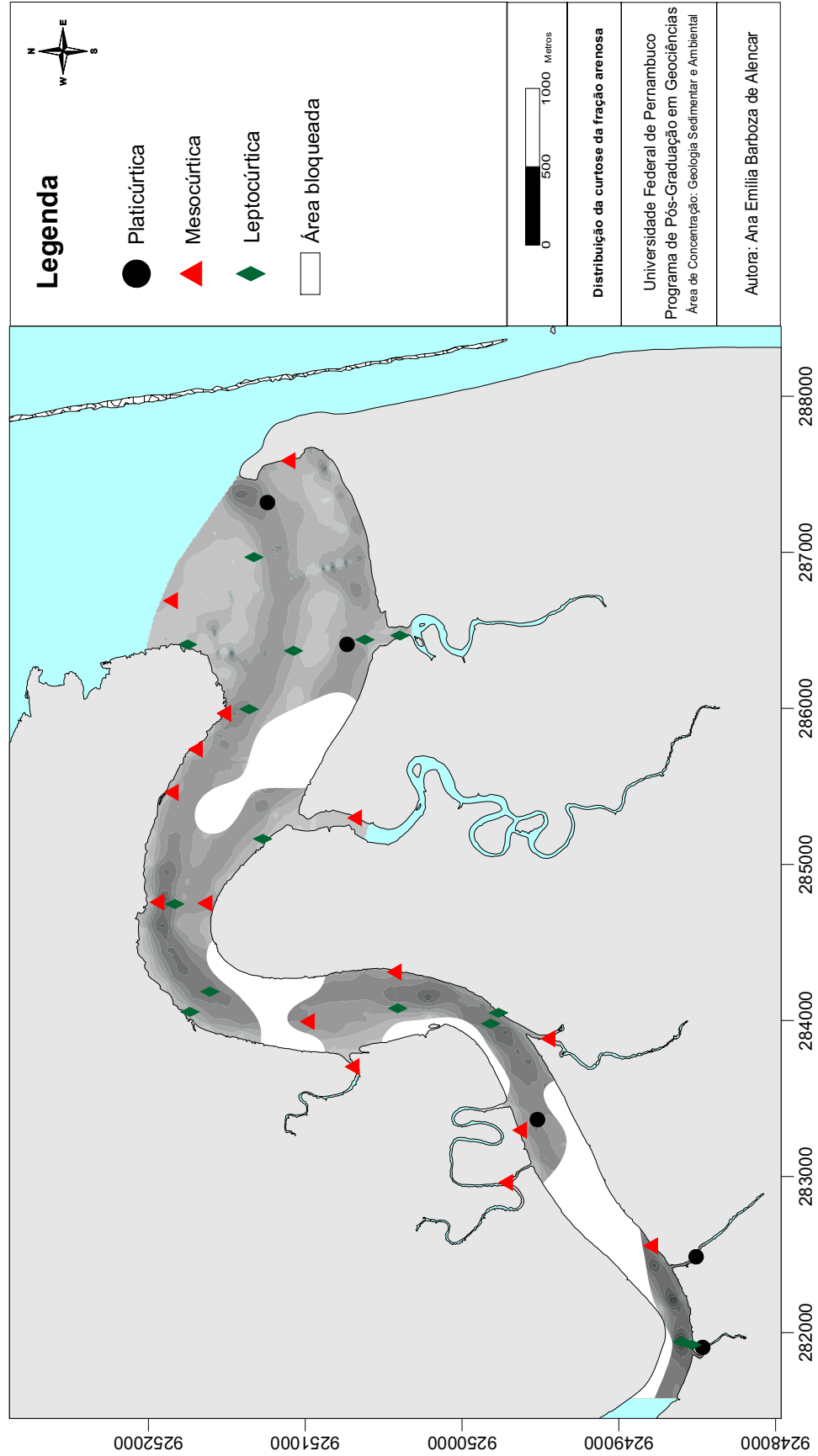


Figura 36 Mapa de distribuição da fração arenosa nos sedimentos de fundo do estuário do rio Mamanguape.

4.2.3.3 Assimetria

Segundo Folk & Ward (1957), sedimentos mais grossos são representados por valores *negativos* de assimetria, indicando uma área de energia mais intensa, ao passo que a assimetria *positiva* indica área de menor energia com predomínio de sedimentos mais finos. A assimetria *aproximadamente simétrica* ocorre quando o diâmetro médio coincide com a mediana, e representa valores intermediários da energia no ambiente, indicando relativa mistura entre sedimentos grossos e finos.

A análise comparativa entre as curvas granulométricas de três amostras do sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape demonstra um desvio à direita da curva normal (aproximadamente simétrica) quando o enriquecimento é em partículas finas (assimetria positiva), e à esquerda quando o enriquecimento é em partículas grossas (assimetria negativa) (Figura 37) (Dias, 2004).

De acordo com os dados obtidos, foi verificada a presença de quatro graus de assimetria, em ordem decrescente de quantidade de ocorrência: *aproximadamente simétrica* (46%), *negativa* (40%), *positiva* (11%) e *muito negativa* (3%) (Figura 38).

As curvas *aproximadamente simétricas* e *negativas* são predominantes na área em estudo, ocorrendo em todo o corpo estuarino, e indicando as áreas de energia mais elevada do canal (Figura 39). Nessas áreas há também o predomínio de material mais grosso, como areia média.

As amostras assimétricas no sentido dos finos (*positivas*) são menos freqüentes, sendo encontradas apenas nos Afluentes 1 e 2, próxima ao mangue no canal retilíneo, e na desembocadura, indicando áreas de deposição. Ao passo que, em frente ao Afluente 8 foram encontradas assimetrias no sentido dos grossos (*negativa* a *muito negativa*), reforçando a existência do canal sobre o “Banco do Meio” (Figura 39), descrito no item da batimetria, provavelmente formado pela remoção de sedimentos pela corrente da água estuarina (Duane 1964).

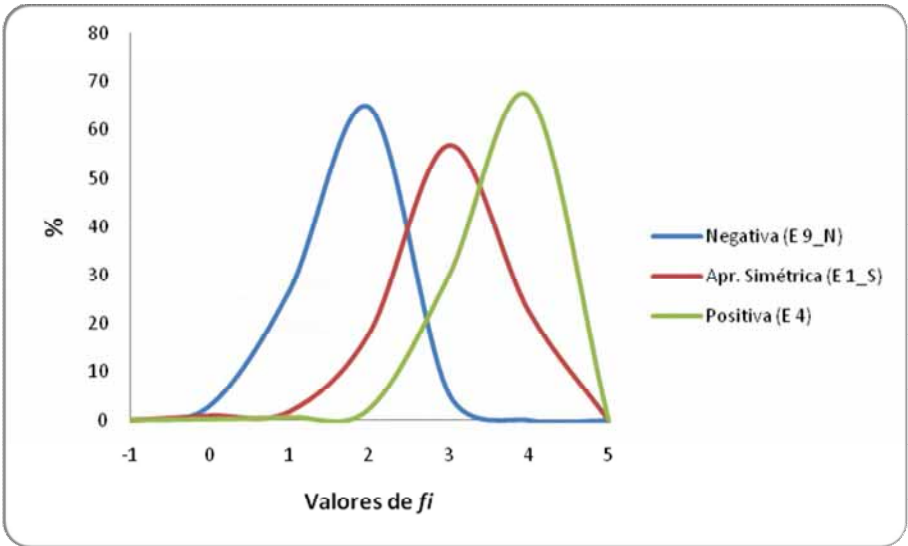


Figura 37 Mapa de distribuição da curtose da fração arenosa nos sedimentos de fundo do estuário do rio Mamanguape.

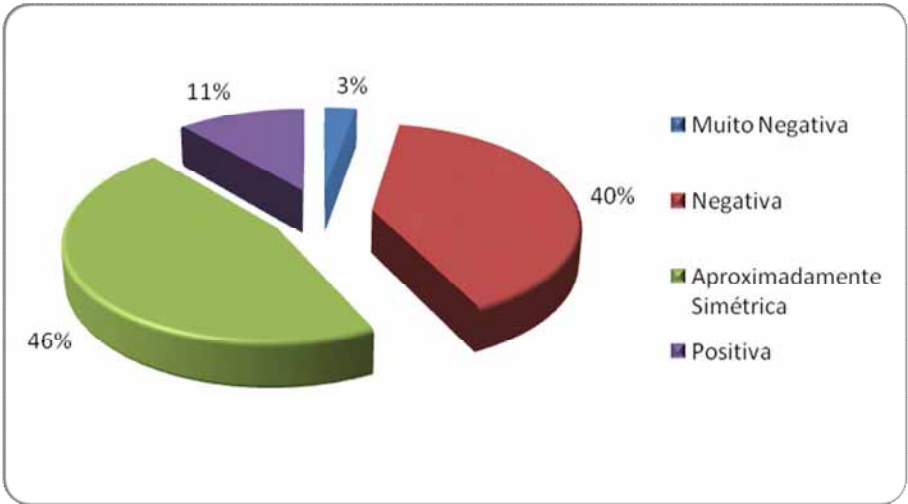


Figura 38 Diagrama mostrando o teor de ocorrência da assimetria da fração arenosa nas amostras de sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.

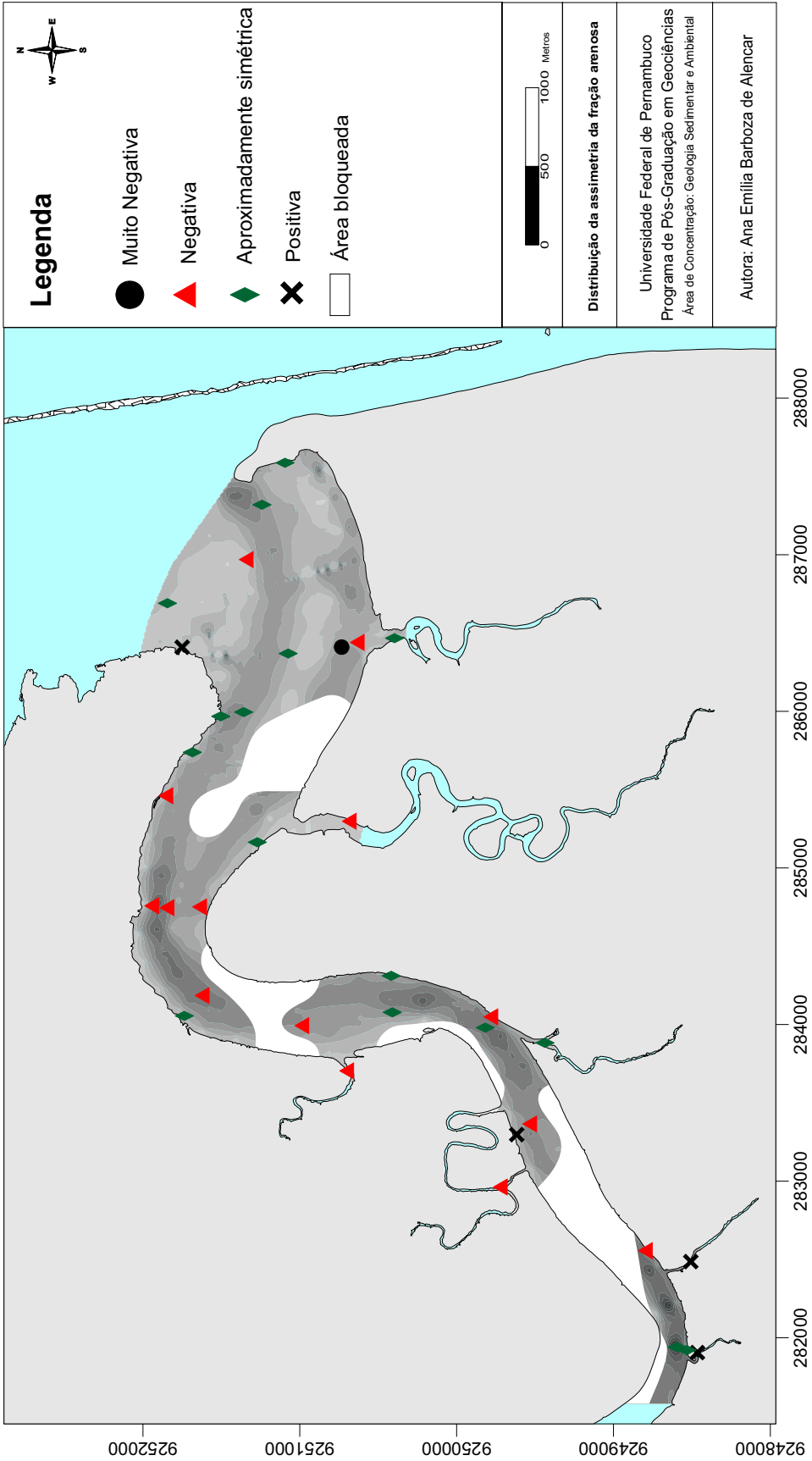


Figura 39 Mapa de distribuição da assimetria da fração arenosa nos sedimentos de fundo do estuário do rio Mamanguape.

4.2.3.4 Desvio Padrão e avaliação do grau de seleção das amostras de sedimentos

O desvio padrão fornece informações sobre o agrupamento das partículas em torno da média, sendo assim, a partir dele se pode quantificar o grau de calibração de um sedimento. Valores de desvio padrão maiores que 1,0 resultam em curvas mais dispersas em relação à curva normal, gerando sedimentos pobremente selecionados, ao passo que desvios padrões menores que 0,5 terão curvas menos dispersas (mais concentradas) que a normal e, conseqüentemente, os sedimentos serão bem selecionados (Figura 40) (Dias, 2004).

Sedimentos depositados rapidamente ou a partir de fluxos viscosos são geralmente pobremente selecionados, enquanto aqueles retrabalhados através da água são bem selecionados, apresentando uma maior homogeneidade granulométrica (Tucker, 1981).

Os valores relacionados ao desvio padrão podem sugerir o grau de maturidade textural de um depósito, a energia da bacia de acumulação e a ocorrência de misturas. Segundo Suguio (1973), a seleção dos sedimentos depende, até certo ponto, da granulometria do material, sendo melhor nos sedimentos com média granulométrica entre 2 e 3 Φ , do que naqueles mais grosseiros ou mais finos.

A partir dos dados obtidos foi verificada uma forte predominância dos sedimentos *moderadamente selecionados*, presentes em 83% das amostras. Os classificados como *pobremente selecionados* corresponderam a 14% (quatro amostras) e os *bem selecionados* a apenas 3% (uma amostra), ambos ocorrendo como manchas (Figura 41). Não foram observados os graus de seleção extremos, como *muito pobremente selecionados* e *muito bem selecionados*.

O mapa da distribuição do desvio padrão confirma a tendência dominante dos sedimentos *moderadamente selecionados* no estuário do Mamanguape (Figura 42). Este fato também foi observado em outros estuários do Nordeste brasileiro, como no sistema estuarino lagunar do Roteiro (AL) e no estuário do rio Formoso (PE), por Silva (2001) e Silva (2008b), respectivamente.

A amostra que apresentou grau de seleção *bem selecionado* corresponde à areia fina, ao contrário do esperado, onde os melhores índices de selecionamento estariam associados às frações mais grossas. Já os sedimentos *pobremente selecionados* foram encontrados sobre o “Banco do Meio” na desembocadura, no centro da área de estudo, onde predomina a areia fina, no Afluente 3 e na Estação 1, localizada no ponto mais a montante (Figura 42). Nesta

última estação, apesar de predominar a areia média, devido à grande variedade de sub-frações decorrentes da remobilização pelos fluxos de maré, o sedimento possui um baixo grau de seleção.

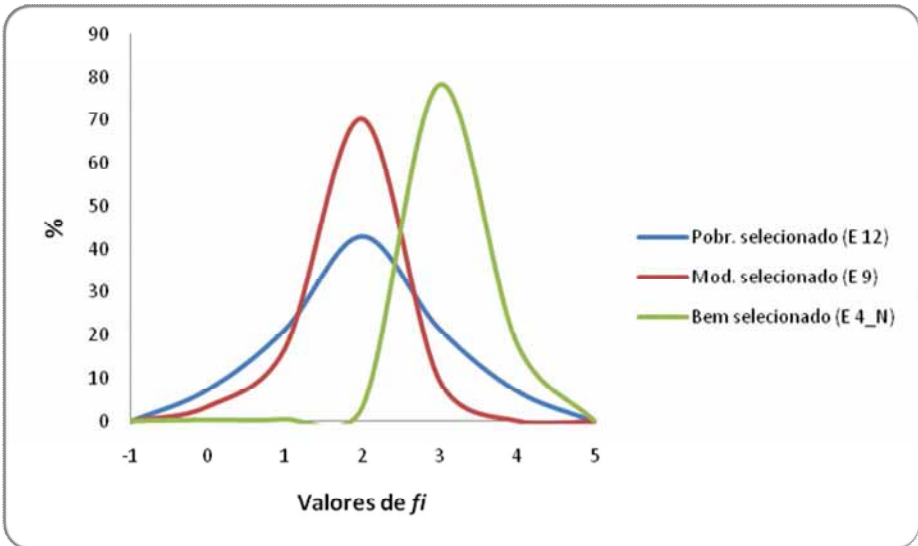


Figura 40 Comparação entre a curva normal (moderadamente selecionado) e curvas com desvios padrões maiores (pobremente selecionado) e menores que a normal (bem selecionado).

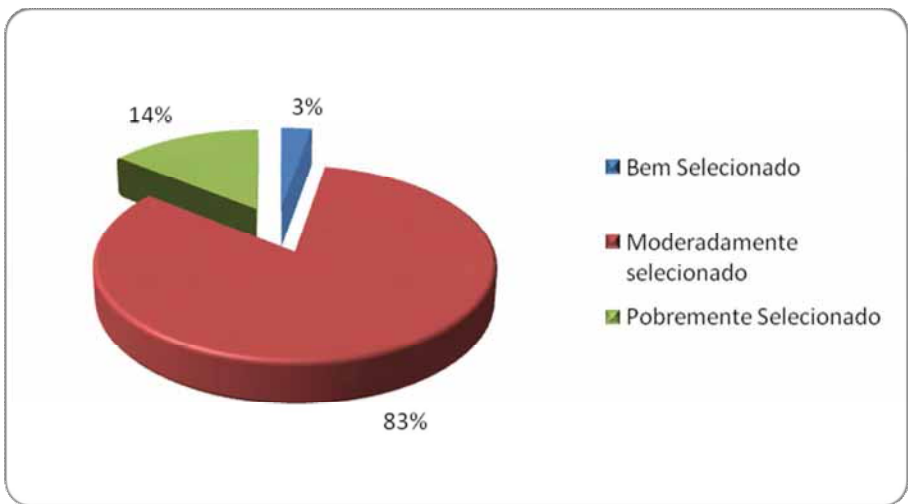


Figura 41 Diagrama mostrando os teores de ocorrência do grau de seleção da fração arenosa nas amostras de sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.

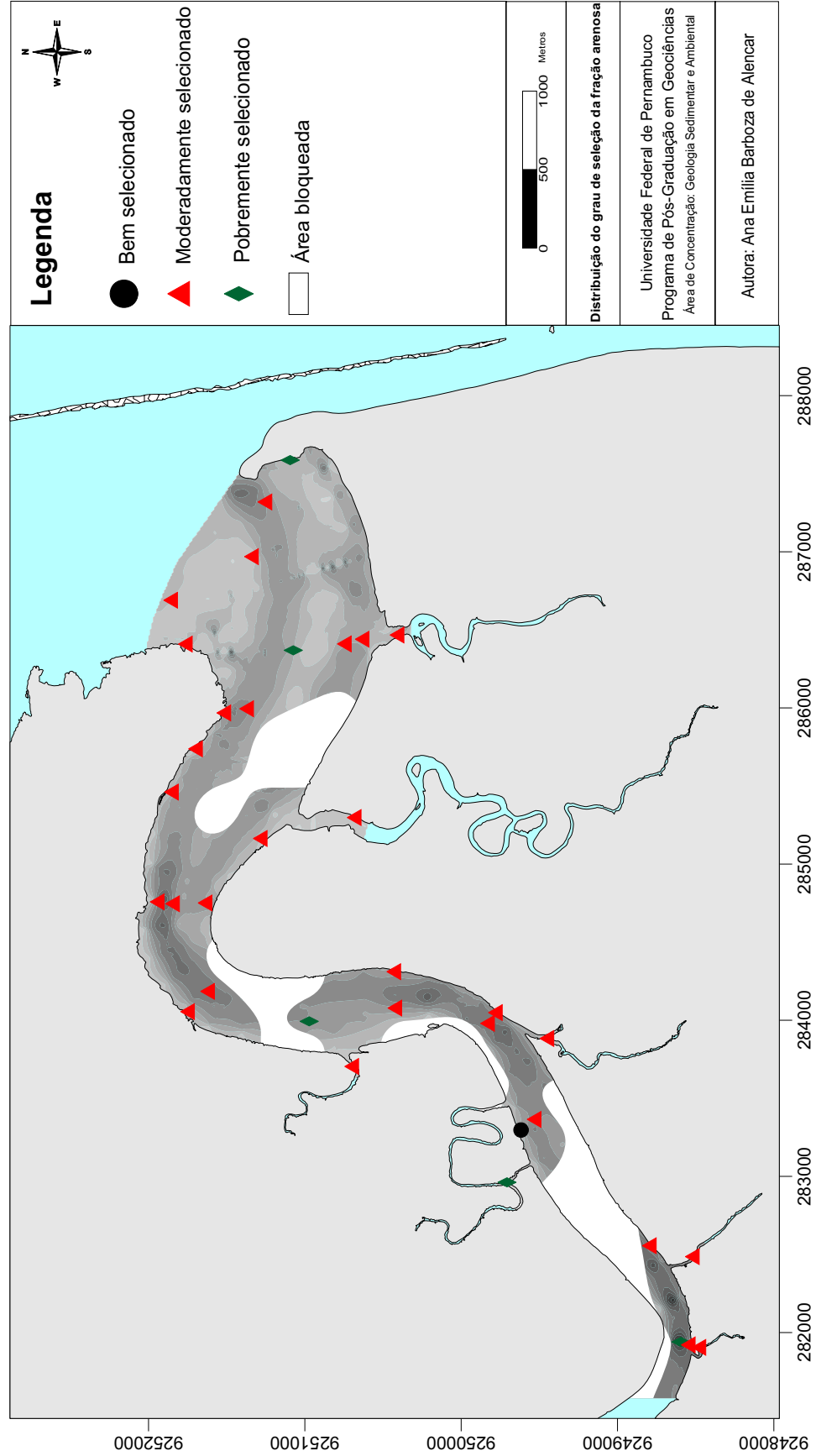


Figura 42 Mapa de distribuição do grau de seleção da fração arenosa nos sedimentos de fundo do estuário do rio Mamanguape.

4.3 CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DO BAIXO CURSO DO RIO MAMANGUAPE, PARAÍBA

4.3.1 Distribuição espacial das concentrações de matéria orgânica e carbonatos totais

A matéria orgânica (M.O.) desempenha um importante papel no meio aquático, através da formação de complexos estáveis com os elementos metálicos (Agemian & Chau, 1976), sendo este o motivo pelo qual diversos autores tem destacado a tendência da contaminação a associar-se com a M.O. e, em alguns casos, com os carbonatos totais (CT). Desta forma, as concentrações de M.O. e CT em sedimento de fundo de áreas estuarinas constituem um importante prognóstico da distribuição de metais nos sedimentos, indicando sítios favoráveis/potenciais à contaminação química no trecho do estuário investigado, e servindo como subsídio ao futuro monitoramento ambiental (Manahan, 2005).

A adsorção dos elementos químicos costuma ocorrer em superfícies de argilominerais e óxidos de ferro. As maiores concentrações tendem a associar-se à fração fina dos sedimentos, sendo esta a fração que hospeda os argilominerais (Manahan, 2005).

Os teores de M.O. nas amostras de sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape apresentaram variação relativa compreendida no intervalo de 0,1% (Estação 9) a 4,9% (Afluente 6). As concentrações de CT também se mostraram muito variáveis, apresentando valores de 32,4% (Estação 1) a 84,3% (Afluente 5).

A Tabela 2 mostra as respectivas concentrações de M.O., CT e fração fina (FF < 63 µm) para as 21 estações de amostragem de sedimento de fundo.

As maiores concentrações de matéria orgânica no estuário do rio Mamanguape foram encontradas no interior dos afluentes, na zona mais à montante da área estudada, e sobre o banco areno-lamoso da desembocadura (Figura 43), sendo estes ambientes propícios ao acúmulo devido à baixa hidrodinâmica e profundidade. É importante destacar que a M.O. observada nos substratos de manguezal é derivada principalmente da decomposição das folhas, raízes e troncos das árvores de mangue (Lacerda *et al.*, 1995).

Nas estações centrais do rio Mamanguape a M.O. apresentou forte coeficiente de correlação ($CC = 1,0$, Tabela 8, Apêndice 2) com o percentual de finos (silte e argila) presente na amostra, indicando que o parâmetro analisado está presente nesta fração dos sedimentos. Já nos afluentes, a correlação encontrada entre as duas variáveis foi negativa e pouco significativa ($IC = - 0,5$, Tabela 9, Apêndice 2). Neste último caso as variáveis são inversamente proporcionais, e o acréscimo na concentração de uma delas provoca a redução da outra (Figuras 43 e 45).

Em relação à concentração dos carbonatos totais ocorre o oposto do comportamento da distribuição espacial da M.O., havendo um aumento crescente em direção à foz. Concentrações elevadas à montante, como na Estação 5 e Afluente 5, estão relacionados à ocorrência de um banco de ostras e de diminutos fragmentos de conchas, respectivamente (Figura 44).

Ao contrário do esperado para a Estação 1, por esta ter apresentado o maior teor de fragmentos biogênicos na fração cascalho da área em estudo, não foram encontradas grandes concentrações de carbonatos totais, o que pode ser explicado pelo fato do carbonato, nesta estação, estar concentrado nas frações de maior granulometria ($> 2 \text{ mm}$), não ocorrendo valores significativos na fração fina ($< 63 \mu\text{m}$) analisada.

A alta concentração de CT próxima ao pontal (estação 13_S) refere-se possivelmente à influência predominantemente marinha, levando em conta que os materiais carbonáticos de origem marinha biogênica respondem pela quase totalidade dos sedimentos recentes que cobrem as bacias oceânicas atuais (Teixeira *et al.*, 2003).

As concentrações de CT observadas em todas as estações representam acumulações naturais de natureza hidrodinâmica, não havendo correlação direta com a ação antrópica de descarte de mariscos por pescadores, como observado por diversos autores em estuários semelhantes do Nordeste (Silva, 2001; Barbosa *et al.*, 2006; Silva, 2009).

Não foram verificadas correlações significativas entre as concentrações de M.O. e CT (Tabelas 7 a 9, Apêndice 2), indicando que os dois parâmetros não estão relacionados entre si, e o acréscimo ou redução de um deles em determinado local independe das respectivas concentrações do outro.

Tabela 2. Concentrações de matéria orgânica (M.O.), carbonatos totais (CT) e fração fina (FF) em sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.

Estações de Amostragem	M.O. (%)	CT (%)	FF (%)
A1	3,6	36,0	5,8
E1	2,5	32,4	19,2
A2	4,1	36,2	60,6
E2	2,8	32,7	78,7
E3	3,6	33,3	95,2
A3	3,7	40,6	47,0
E4	2,5	34,8	55,8
A4	2,9	42,0	96,7
A5	3,8	84,3	31,2
E5	2,6	45,3	38,1
E6	2,5	40,2	31,8
A6	4,9	38,2	28,0
E7	1,8	46,2	73,1
E8	1,7	53,6	10,1
E9	0,1	57,0	2,5
E10	2,1	51,9	87,4
A7	3,2	43,3	60,9
E11	3,1	54,6	88,6
E12	1,9	54,2	8,1
A8	3,7	48,7	47,3
E13	0,8	63,4	5,5

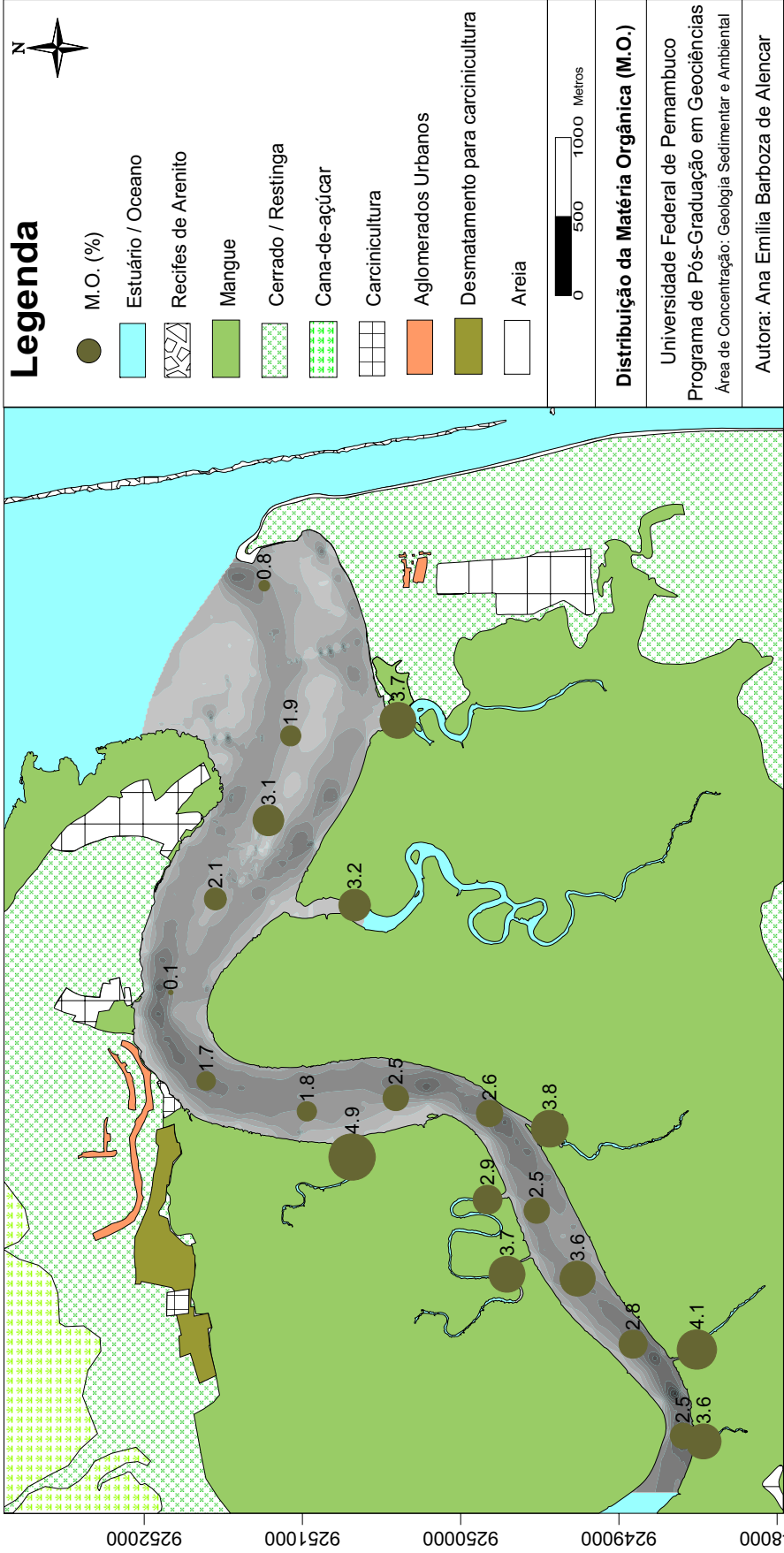


Figura 43 Mapa de distribuição da concentração de matéria orgânica (M.O.) nos sedimentos de fundo do estuário do rio Mamanguape.

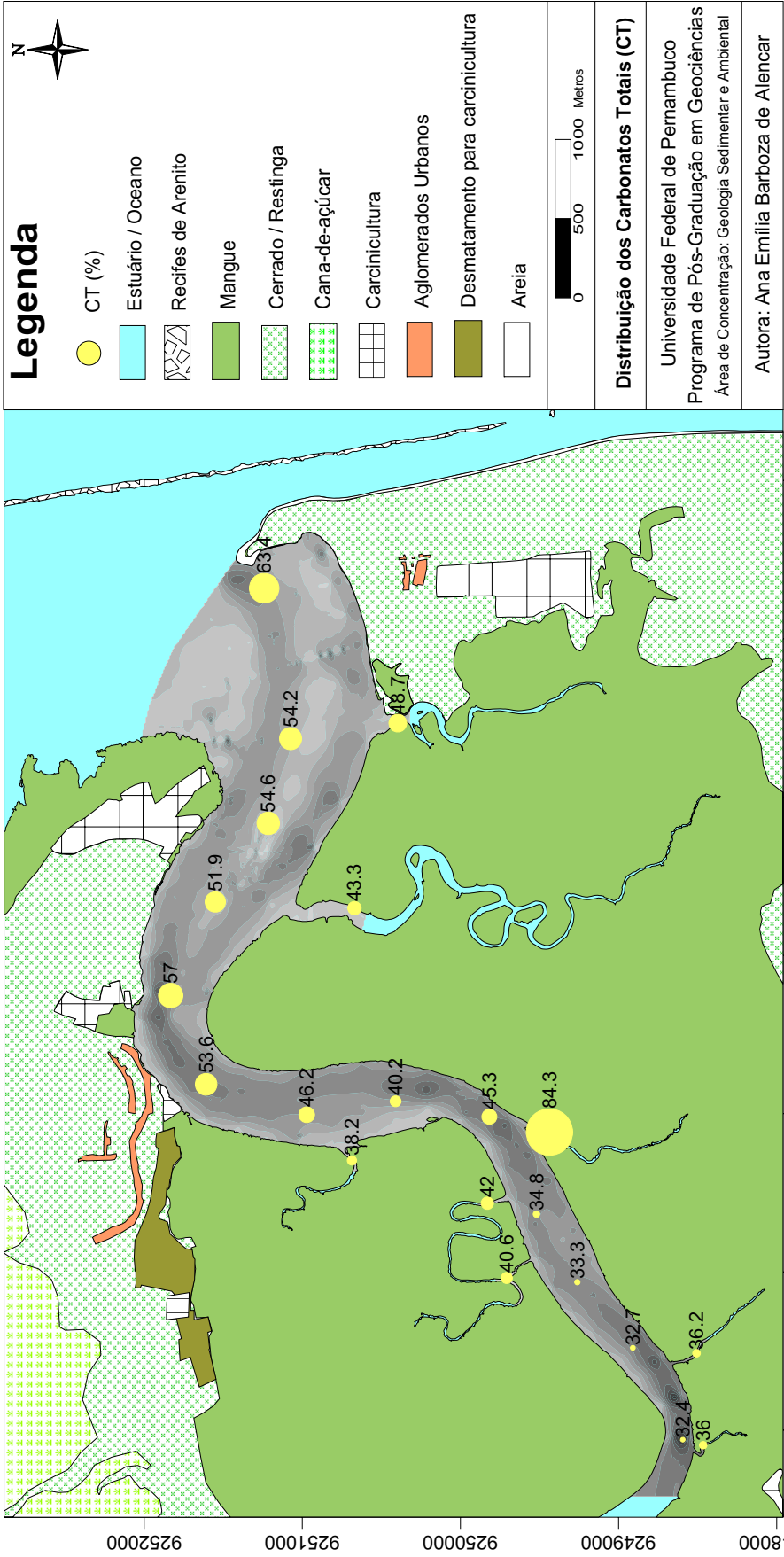


Figura 44 Mapa de distribuição da concentração de carbonatos totais (CT) nos sedimentos de fundo do estuário do rio Mamanguape.

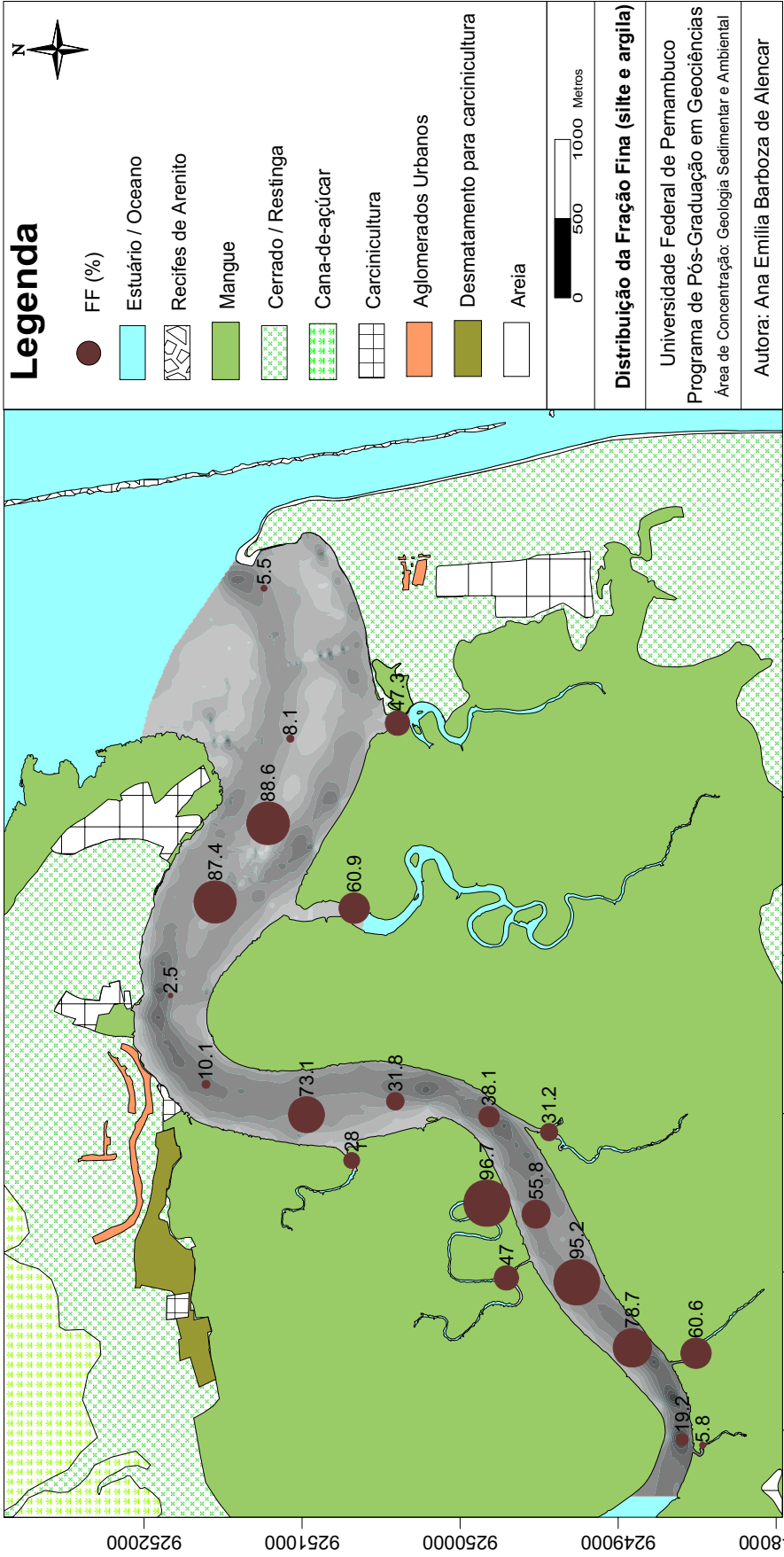


Figura 45 Mapa de distribuição da concentração da fração fina (< 0,063 mm) nos sedimentos de fundo do estuário do rio Mamanguape.

4.3.2 Análises geoquímicas do sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape

O sedimento, por ser o reservatório final de contaminantes, é o compartimento ambiental que melhor expressa o potencial tóxico do ambiente. No presente caso, foram determinadas as concentrações de metais pesados, os quais, por serem freqüentes em numerosas fontes contaminadoras e capazes de bioacumulação na biota, são considerados excelentes indicadores de contaminação (Borges *et al.*, 2007).

Há a sugestão de que a análise dos metais pesados seja realizada nas frações granulométricas mais finas do sedimento, devido ao fato de existir uma maior afinidade dos metais com estas frações (Förstner & Wittmann, 1981). Isto ocorre porque a adsorção incide preferencialmente em superfícies de argilominerais e óxidos de ferro e manganês, de forma que um sedimento com maior quantidade da fração argila tem maior capacidade de reter espécies químicas, ao passo que, quanto maior o conteúdo de quartzo, a capacidade de retenção é substancialmente reduzida (Manahan, 2005).

Neste trabalho foram consideradas apenas as frações potencialmente biodisponíveis das espécies químicas nos sedimentos, referentes à extração com HCl 0,5 M na fração silte-argila dos sedimentos. A biodisponibilidade de uma espécie química é entendida como a porção elementar que está potencialmente disponível para ingestão, inalação ou assimilação por um organismo vivo, sendo mais facilmente lixiviada para o meio aquoso (Cortecchi, 2000).

Os resultados das concentrações dos elementos químicos (Ag, Al, As, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Rb, Sb, Se, Sr, Th, Tl, U, V, Zn) foram apresentados na Tabela 6, do Apêndice 2.

Todas as amostras analisadas apresentaram concentrações de Sb e Ag inferiores ao limite de detecção ($<0,02 \text{ mg kg}^{-1}$ e $<0,03 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente) do método analítico. O mesmo ocorreu com o Mo para a amostra da Estação 13_S ($<0,01 \text{ mg kg}^{-1}$). Devido às concentrações pouco significativas, os dois primeiros não foram representados nas matrizes de correlação elaboradas.

Para melhor visualização da distribuição espacial dos elementos químicos mais representativos do ponto de vista ambiental, suas concentrações foram dispostas em mapas, juntamente com gráficos representativos da oscilação das concentrações ao longo das estações de amostragem, aparecendo no Apêndice 3, por ordem alfabética dos símbolos dos elementos químicos.

As maiores concentrações de 39% dos elementos químicos (Pb: 16,2 ppm; Cu: 8,8 ppm; Ni: 5,3 ppm; Co: 4,7 ppm; Li: 5,1 ppm; Be: 1,1 ppm; Al: 2.930 ppm; V: 33,3 ppm; Se: 0,9 ppm; Rb: 3,6 ppm; Th: 0,89 ppm) analisados foram encontradas na Estação 1 (E1), que está localizada mais a montante da área em estudo. Este fato pode indicar tanto o aumento das fontes de contaminantes à montante da área, quanto da potencialidade de adsorção dos mesmos na referida Estação, uma vez que esta apresentou o maior teor de Al da porção estudada (Al: 2.930 ppm).

O aumento da concentração dos metais também pode estar relacionado ao fato da E1 se localizar imediatamente a jusante do lançamento de efluentes de um empreendimento de carcinicultura, situado a sudoeste deste ponto, podendo justificar o aumento do teor de Cu (Oliveira, 2006). Este ponto de amostragem também está sujeito ao lançamento de dejetos pela comunidade de Tavares (Cu, Pb) (Förstner & Wittman, 1981), aos resíduos da cana-de-açúcar (Cu, Pb, V) (Alloway, 1995), e às fontes contaminantes do alto e médio curso do rio, como a cidade de Rio Tinto, que dista 15 km do local, e possui um lixão e pequenas indústrias.

Ao longo do “Canal Tramataia”, margem esquerda do rio Mamanguape e último meandro da área, foram identificadas concentrações relativamente baixas da maioria dos elementos químicos (Figuras 47 a 64, Apêndice 3). Conforme tratado no item referente à análise batimétrica do estuário, este canal está submetido à forte regime energético, possuindo profundidades consideráveis, e a menor concentração da fração fina e M.O. de toda a área de estudo. Estes fatores atuando em conjunto, desfavorecem o acúmulo de maiores concentrações de elementos químicos.

O Ca, Mg e Sr (Figura 60) apresentaram concentrações relativamente baixas nos afluentes em relação ao canal principal do estuário. Isto está coerente com a origem marinha recente destes elementos químicos, já que nos afluentes há uma tendência de redução desta influência.

Os resultados analíticos das amostras de sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape foram também submetidos ao tratamento estatístico de Matriz de Correlação, com cálculo dos coeficientes de correlação (CC) de Pearson (Tabelas 7 a 9, Apêndice 2). De acordo com os dados contidos na mesma, foram destacados apenas os grupamentos de elementos químicos que apresentaram forte correlação, tanto positiva quanto negativa ($\pm 0,8 \leq R \leq \pm 1$), com níveis de confiança de 95% ($p < 0,05$).

Ao contrário do esperado, não foi observada correlação significativa entre as concentrações dos elementos químicos analisados e a M.O., CT e FF, quando consideradas

todas as amostras do estuário em uma única matriz. Tal correlação seria importante, pois estes parâmetros são conhecidamente fixadores dos metais no ambiente superficial (Manahan, 2005). Neste caso, apenas o Tl apresentou correlação com a M.O. ($CC = 0,8$) (Tabela 7, Apêndice 2). De maneira geral, a correlação significativa entre os metais analisados e os teores de M.O. e CT ocorreu apenas quando consideradas apenas as amostras coletadas no curso principal do estuário (E1, E2, E4, E6, E8, E11, E13_S; Tabela 8, Apêndice 2), deixando de fora da matriz de correlação os resultados das amostras provenientes das estações situadas nos Afluentes.

Neste caso, foi observado que a análise do conjunto de dados em uma única matriz mascarou não apenas a correlação dos elementos investigados com a M.O. e CT, mas também algumas correlações entre os elementos, as quais foram significativas quando utilizado o agrupamento de dados apenas das estações do curso principal.

Uma das possíveis hipóteses para elucidar tal diferença de comportamento diz respeito ao fato dos afluentes estarem relativamente distanciados entre si e, portanto, experimentando diferentes regimes energéticos. Outra hipótese seriam as diferenças nas fontes e fases minerais retentoras dos elementos químicos. Assim, haveria discrepâncias entre as fontes oriundas do canal principal do estuário, provenientes de fontes unificadas à montante da área de estudo, e aquelas dos afluentes, provenientes de fontes difusas, originadas tanto da margem esquerda como da margem direita do estuário.

A partir desta observação, optou-se por dividir a matriz de correlação em três grupos amostrais distintos. O primeiro relacionando os elementos presentes no âmbito de todas as 15 estações de amostragem; o segundo envolvendo apenas as estações de amostragem do canal principal (sete estações); e o terceiro as estações de amostragem dos afluentes (oito estações).

Abaixo encontra-se o detalhamento das interpretações dadas às correlações encontradas em cada uma das matrizes supracitadas.

4.3.2.1 Matriz de correlação completa (resultados de todas as estações de amostragem)

A análise da matriz de correlação completa revelou uma forte correlação positiva entre o Pb e grande parte dos metais (Fe, Be, Co, Ni, Cu, Rb, Ba, Th) (Tabela 7, Apêndice 2), indicando que todos teriam uma fonte comum, seja ela antropogênica ou geogênica. Destaca-se ainda que Pb e Cu constituem uma associação geoquímica natural do meio geogênico

(Mason & Moore, 1982), da mesma forma que o Co e Ni (Manahan, 2005), o que pode indicar a presença natural desses metais no ambiente estudado, refletindo uma fonte geogênica.

A correlação positiva entre os carbonatos totais e o Ca, Mg e Sr representam uma assinatura de ambiente marinho recente (material de precipitação química da água do mar ou fragmentos biogênicos de organismos marinhos), uma vez que são substâncias e elementos químicos típicos desse ambiente. Já os elementos Be, Co, Rb e Pb apresentaram correlação negativa com o Ca, Mg e Sr, e o Ni com o Ca e Sr, indicando que devem refletir uma fonte diferente desta (e.g. continental: todo material proveniente da porção à montante da área, tanto do substrato rochoso, como das fontes antrópicas). A mesma interpretação pode ser dada ao Pb, Ba e Cu, todos com correlação negativa com os carbonatos totais.

A assinatura marinha recente é bem representada espacialmente pelo mapa de distribuição das concentrações do Sr (Figura 60, apêndice 3), o qual reforça a tendência de enriquecimento deste elemento químico em direção ao oceano.

Diante do exposto, sempre que citada aqui assinatura marinha significar-se-á material de precipitação química da água do mar ou fragmentos biogênicos de organismos marinhos, ao passo que assinatura continental fará referência a todo material proveniente da porção à montante da área de estudo, tanto do substrato rochoso, como das fontes antrópicas. A partir deste ponto, todo sedimento marinho tratado aqui será considerado recente.

Também foram assinaladas correlações positivas do Al com o Be, V, Ni, Rb, Cd e Be, podendo indicar que todos estão retidos nos argilominerais, uma vez que o Al reflete a composição química desse grupo de minerais.

4.3.2.2 Matriz de correlação dos resultados das estações de amostragem do canal principal

Esta matriz apresentou o maior número de correlações positivas e fortes, sendo a mais representativa para a área, dentre as três analisadas no presente estudo (Tabela 8, Apêndice 2). Conforme descrito anteriormente, este fato pode ser devido à confluência de fontes similares de contaminação localizadas à montante, no curso principal do estuário.

A M.O. apresentou correlação fortemente positiva ($CC = 1,0$) com a fração fina ($FF < 63 \mu m$) dos sedimentos de fundo investigados, indicando que a primeira está presente nesta fração, e que quanto maior o percentual de finos, maior será a concentração de M.O.

A Tabela 8 mostra ainda correlações positivas significativas entre a M.O. e o Mn, Fe, As e Th. Possivelmente isto reflete a existência de reações de complexação organometálicas desses elementos químicos com a M.O. contida nos sedimentos. É importante destacar a relevância deste resultado, uma vez que se sabe que, sob condições oxidantes, a M.O. pode ser degradada, levando à liberação dos elementos-traço solúveis (Tessier *et al.*, 1979).

A forte correlação positiva entre Mg, Ca e Sr com os carbonatos totais ($CC = 1,0$) reforça a afirmação supracitada referente à assinatura marinha desses elementos. Da mesma forma, a correlação negativa significativa entre os componentes marinhos e carbonatos totais com a maioria dos elementos químicos investigados (Ba, Tl, Pb, Th, U, Co, Ni, Cu, Zn, Se, Rb e Fe) foi um forte indício de que a origem destes últimos é mesmo continental, provavelmente à montante da área de pesquisa, haja vista a ausência de afinidade entre estes. Isso também justifica o fato das concentrações da maioria destes elementos-traço diminuírem conforme proximidade da foz do rio Mamanguape, pois é neste local que a influência marinha deve se mostrar mais acentuada.

O Pb apresentou correlações positivas com uma considerável quantidade de elementos maiores e traço, como o K, Fe, Be, Al, Co, Ni, Cu, Zn, Se, Rb, Cd, Ba, Tl, Th e U. Todos estes elementos devem possuir origem continental, por terem apresentado também correlações negativas com os carbonatos totais e com os componentes marinhos (Ca, Mg e Sr). Pode-se supor dessa forma que a maioria destes elementos maiores e traços encontram-se associados e que, possivelmente, tenham uma mesma fonte localizada à montante.

O Pb, Th, Ba, Rb, Cu, Ni, Co e Zn apresentaram uma significativa correlação positiva com o Al e com o Fe. Isto pode indicar uma influência direta dos óxidos e hidróxidos de Fe e dos argilominerais (principais fases com Al, de acordo com Wedepohl, 1978) nas reações de precipitação e adsorção, respectivamente, desses metais.

O Mo apresentou correlação negativa com diversos elementos químicos (Be, Al, V, Cr, Ni, Zn), significando que possivelmente possuem diferentes fontes de origem.

O As e o Mn apresentaram correlação positiva extremamente forte com a fração fina ($FF < 63 \mu m$) (As e FF com $CC = 1,0$) e concentração de M.O. dos sedimentos investigados (Tabela 8, Apêndice 2). Isto é um indicativo de que estes dois elementos químicos são fortemente controlados pela presença desta fração e da M.O. nos sedimentos da área investigada.

4.3.2.3 Matriz de correlação dos resultados das estações de amostragem dos afluentes

Essa matriz praticamente não apresentou correlações significativas (Tabela 9, Apêndice 2). Conforme citado anteriormente, as principais hipóteses elaboradas para elucidar esta questão estão relacionadas ao espaçamento existente entre os afluentes na área de estudo, o que os leva a possuir distintas fontes de contaminação, inclusive provenientes de margens opostas, assim como regimes hidrodinâmicos variados.

Foi observada uma correlação negativa do Fe, V, Co, Ni com os componentes marinhos Ca, Mg e Sr, indicando a origem continental dos primeiros. A correlação negativa entre o Fe e os componentes marinhos nas matrizes de correlação das Estações e dos Afluentes é comprovada pela observação de que a concentração deste elemento químico é encontrada em menor abundância conforme se aproxima da foz.

Considerando apenas os Afluentes, a correlação do Pb abrangeu apenas o Fe, Co, Cu, e Ba. Isto significa que a fonte do Pb deve ser a mesma destes outros 4 metais apenas.

Conforme citado anteriormente, a correlação entre Pb e Cu (Mason & Moore, 1982) e Co e Ni (Manahan, 2005) constituem uma associação geoquímica natural do meio geogênico. Pb e Cu apresentaram CC de 0,9, enquanto o CC entre Co e Ni foi de 0,7. Embora esteja sendo considerado, no presente estudo, apenas CC > 0,8, estas duas associações merecem ser destacadas aqui, uma vez que representam uma análise estatística realizada a partir apenas dos afluentes. Considerando que estes últimos correspondem às porções mais abrigadas do ambiente estuarino, acrescido ao fato da área em tela pertencer a uma unidade de conservação federal (APA da Barra do Rio Mamanguape), pode-se concluir que possivelmente, estes quatro elementos estejam naturalmente presentes no substrato geológico do estuário do rio Mamanguape.

4.3.2.4 Comparação das concentrações dos elementos químicos do sedimento de fundo no estuário do rio Mamanguape com outros estuários do Nordeste brasileiro

Os resultados das análises geoquímicas multi-elementares no sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape foram comparadas com os resultados obtidos por análises de sedimentos de outras áreas estuarinas do Nordeste brasileiro, com o intuito de avaliar a qualidade dos sedimentos do primeiro.

Para que não houvesse divergência quanto ao método utilizado nas análises geoquímicas dos sedimentos, foram utilizados para esta comparação trabalhos que obtiveram a concentração dos elementos a partir da fração fina ($<63 \mu\text{m}$), com ataque fraco HCl 0,5M e determinação por ICP-MS. Esta regra foi quebrada para o rio Curimataú (RN), onde foi utilizada a fração $< 1\text{mm}$ do sedimento para as análises, e para o rio Botafogo (PE) e Suape (PE), onde as concentrações correspondem à análise da fração total dos sedimentos, através de digestão química forte. Para facilitar a compreensão, todas as concentrações são expressas em mg kg^{-1} .

Nesta comparação foram utilizados os resultados de estuários situados no Nordeste brasileiro, por estes estarem submetidos à condições climáticas similares à área foco deste trabalho. Os resultados utilizados nesta comparação constam na Tabela 3.

As concentrações dos elementos químicos no estuário do rio Mamanguape foram maiores que as do rio Formoso (PE), muito semelhante em termos de potenciais fontes contaminantes, para o Al, Be, Co, Cr, Cu, K, Mg, Mn, Ni, Pb, Rb, Se, Sr e V. Este fato sugere que, apesar de relativamente preservado, o estuário do Mamanguape já apresenta algum nível de acréscimo de metais, tomando como base os maiores teores. No entanto, é preciso considerar a existência de recursos minerais metálicos (e.g. Fe, Ti, Zr em Mataraca) ao longo do litoral norte da Paraíba, cujo beneficiamento promove a extração de compostos (óxidos) de Fe, Mn, Cr, V, Al e Mg (Sampaio *et al.*, 2001), de forma que parte dos metais encontrados no estuário do rio Mamanguape podem ser provenientes de fontes geogênicas.

Em comparação com o estuário do Curimataú (RN), as concentrações de Fe, Cr, Mn, Ni e Pb do presente estudo também foram mais elevadas.

Quando comparado ao sistema estuarino lagunar do Roteiro (AL), foi observada uma superação deste pelo Mamanguape em relação às concentrações nas concentrações de Co, Fe, Mn e Pb.

Em relação ao rio Botafogo (PE), apenas o Ca, Mg e Na apresentaram valores de concentrações maiores, podendo estar relacionado à influência marinha, possivelmente maior no estuário do presente estudo, já que a porção estudada do rio Botafogo não está em contato direto com o oceano.

Comparando-se aos estuários do complexo estuarino de Suape, o Mamanguape apresentou maiores valores para os metais Cd, Co, Mn e Pb. Os dois primeiros apresentaram em Suape valores abaixo do limite de detecção ($0,14 \text{ mg kg}^{-1}$ e $0,20 \text{ mg kg}^{-1}$) do método utilizado e, por consequência, os valores do Mamanguape foram sobressalentes. O Mn em Mamanguape apareceu como sendo superior em relação a todos os outros estuários utilizados

na comparação, ocorrendo o oposto apenas em relação ao rio Botafogo. Já o Pb teve valor superior em Mamanguape, mesmo considerando que o complexo estuarino de Suape está sujeito a fontes contaminantes de maior magnitude espacial e potencial, pertencentes ao Complexo Industrial e Portuário de Suape (CIPS), sendo encontradas indústrias portuárias, alimentícias, químicas e de produtos diversos (Teóduo, 2003), provocando um alerta no que se refere a este metal não-essencial, cumulativo e danoso (deletério).

De acordo com o exposto, a concentração de Pb nos sedimentos do rio Mamanguape superou a de todos os estuários utilizados como comparativo, com exceção do rio Botafogo. Neste último, a concentração deste elemento chegou a 28 mg kg^{-1} , quase o dobro do encontrado no Mamanguape. As fontes potenciais de contaminação são provenientes, além da cana-de-açúcar, de duas companhias agro-industriais e unidades fabris (Lima, 2008). É importante destacar ainda que, no rio Botafogo, foi utilizado ataque químico forte.

Por outro lado, as fontes potenciais de contaminação no entorno da região do estuário de Mamanguape, podem ser responsáveis pela magnificação dessas concentrações. As atividades agrícolas constituem uma importante fonte não-pontual de metais, podendo contribuir para a concentração total existente no solo, especialmente em regiões onde o cultivo é intensivo (Alloway, 1995), como no caso da cana-de-açúcar no entorno do rio Mamanguape. Os fertilizantes são responsáveis pelo aporte de Cd, Cr, Mo, Pb, U, V e Zn. Os pesticidas utilizados na agricultura por sua vez contribuem com Cu, As, Pb, Mn e Zn. Os lodos de esgotos contribuem com o lançamento de Cd, Ni, Cu, Pb e Zn (Alloway, 1995).

Por diferentes vias de acesso, estes agrotóxicos atingem o ambiente aquático, podendo causar graves prejuízos. Indícios de contaminação no rio Açu, segundo afluente do Mamanguape na direção leste-oeste, oriunda de produtos utilizados no cultivo da cana-de-açúcar foram reportados por Watanabe *et al* (1994).

Tabela 3. Concentrações dos elementos químicos do sedimento de fundo no estuário do rio Mamanguape e de outros estuários do Nordeste brasileiro (Valores em mg kg⁻¹).

Elementos químicos	Rio Mamanguape (PB) ¹	Rio Formoso (PE) ²	Rio Botafogo (PE) ³	Suape (PE) ⁴	Curimataú (RN) ⁵	Sistema Estuarino-Lagunar do Roteiro (AL) ⁶
Ag	<0,03	–	–	–	–	–
Al	641-2.930	766-2.383	24.088,2-142.888,2	8.100-12.600	50,0-3.000	2.162-3.255
As	0,9-6,4	2,4-20,0	1,7-9,1	–	–	–
Ba	4,4-14,2	1,7-31,5	271,3-666,4	–	1,65-72,60	–
Be	0,2-1,1	0,2-0,5	–	–	–	–
Ca	17.820-183.000	–	1.928,6-102.428,6	–	–	–
Cd	0,03-0,1	0,015-0,11	0,05-0,2	<LDM	–	0,039-0,150
Co	0,92-4,72	0,5-1,5	1,4-11,7	<LDM	–	1,05-2,30
Cr	6,5-11,5	2,7-7,4	13,684-109,474	11,65-31,55	0,15-3,50	–
Cu	0,4-8,8	1,15-3,71	1,9-23,7	5,08-21,92	0,19-8,90	2,7-9,0
Fe	1.436-10.440	3.675-21.807	8.610-55.090	9.400-52.500	140,0-6.600	5.303-9.954
K	1.074-1.843	269-1.470	5.974,5-14.189,4	–	–	–
Li	2,9-5,1	3,00-8,54	–	–	–	–
Mg	3.759-13.630	3.568-12.420	2.834-9.527	–	–	–
Mn	83-453	13-61	3.640,8-12.239,4	19,18-75,38	0,63-206	50-119
Mo	<0,01-0,19	0,025-0,51	0,4-3,3	–	–	–
Na	12.000-26.120	–	1.632,3-8.754,8	–	–	–
Ni	1,4-5,4	1,1-3,2	2,3-17,1	4,80-13,03	0,19-5,0	5,1-6,6
Pb	3,4-16,2	2,0-7,9	5,1-28,4	5,77-10,98	0,37-11,03	0,61-5,81
Rb	0,7-3,6	0,63-1,16	25,1-59	–	–	–
Sb	<0,02	0,01	0,05-0,3	–	–	–
Se	0,3-0,9	0,2-0,7	–	–	–	–
Sr	132-1.771	31,5-1.699,8	100,9-1.861,5	–	–	–
Th	0,11-0,89	–	10,4-39,9	–	–	–
Tl	0,01-0,09	0,03-0,34	–	–	–	–
U	0,66-2,62	–	2,9-11,3	–	–	–
V	6,2-33,3	9,9-27,7	21-140	–	–	–
Zn	7,4-22	7,6-32,4	9,0-63	13,63-81,61	1,08-26,17	–

¹ Este trabalho: fração granulométrica < 63µm e digestão química com HCl 0,5 M.
² Silva (2009): fração granulométrica < 63µm e digestão química com HCl 0,5 M.
³ Lima (2008): fração granulométrica < 177µm e digestão química com HCl - HNO₃ - H₂O.
⁴ Barros (2009): fração granulométrica < 63µm e digestão química com HNO₃.
⁵ Garlipp (2006): fração granulométrica < 1mm e digestão química com HCl 0,5 M. Dados referentes à estação seca.
⁶ Silva (2008a): fração granulométrica < 63µm e digestão química com HCl 0,5 M. Dados referentes aos 3cm superiores dos testemunhos analisados.

4.3.2.5 Comparação das concentrações dos elementos químicos do sedimento de fundo no estuário do rio Mamanguape com a composição média do Folhelho Mundial

O Nível de Base Natural (NBN) ou *background* de um elemento em sedimentos pode ser considerado de diferentes maneiras. Martin & Meybeck (1979) propõem o emprego de valores médios globais, enquanto outros autores utilizam os valores médios obtidos de rochas do próprio local (Soares *et al.*, 2004). Como não foram encontrados trabalhos com os respectivos valores de *background* para afloramentos do rio Mamanguape, optou-se utilizar aqui a concentração média dos metais em folhelhos, conforme dados de Turekian & Wedepohl (1961).

O folhelho é utilizado como comparativo por ser uma rocha com composição granulométrica (e mineralógica) muito semelhante à do silte e argila (<63 µm), utilizado neste trabalho como analito.

É importante ressaltar que os valores da composição do folhelho foram obtidos com digestão com ácidos fortes e, portanto, correspondem à fração total presente na rocha. Por outro lado, as concentrações no rio Mamanguape foram obtidas com digestão fraca, correspondendo à fração potencialmente biodisponível presente nos sedimentos de fundo. Neste caso, os valores acima da composição do folhelho são ainda mais significativos, tendo em vista que a fração total dos elementos químicos nos sedimentos do Mamanguape tende a ser ainda mais elevada.

A relevância da comparação do NBN com as concentrações recentes obtidas reside no fato de que o primeiro fornece indícios das condições preexistentes nos sedimentos de fundo do estuário, ao passo que a segunda indica um possível enriquecimento ou deficiência do elemento, permitindo avaliar a intensidade de contaminação dos sedimentos. É considerado contaminante um elemento ou substância que apresente concentrações três vezes acima dos valores de background, podendo ser potencialmente nocivas à biota (Gough, 1993).

No estuário do rio Mamanguape quatro elementos químicos apresentaram composição acima da média do Folhelho Mundial, sendo eles o Ca, Na, Sr e Se (Tabela 4).

Esses quatro elementos químicos são típicos de sedimentos carbonáticos de ambiente marinho, e refletem a possível composição dos sedimentos de fundo do estuário do rio Mamanguape. Desta forma, pode-se considerar que o sedimento da área possui assinatura de origem carbonática (Ca, Sr, Se) e de precipitação química recente da água do mar (Na).

Dentre os elementos supracitados, o Na superou a média da composição do folhelho Mundial (9.600 mg kg^{-1}) inclusive quando considerado o valor mínimo ($12.000 \text{ mg kg}^{-1}$) encontrado no Mamanguape. O valor máximo (Afluente 8) para este elemento superou a média do folhelho em quase três vezes.

O Ca, Sr e Se superaram este valor apenas no valor máximo. O Ca só não superou o valor da média da composição do folhelho ($22.100 \text{ mg kg}^{-1}$) na Estação 1 e Afluente 1, localizados mais à montante, na extremidade oeste da área em estudo. Na estação 13_S, onde foi encontrado o maior valor ($183.000 \text{ mg kg}^{-1}$), a média do folhelho foi superada em quase oito vezes.

O Se apresentou maiores concentrações nos Afluentes 1, 2, 4, 6 e 7, com máximo na Estação 1 ($0,9 \text{ mg kg}^{-1}$), mantendo o mesmo valor da média ($0,6 \text{ mg kg}^{-1}$) em outras seis das amostras analisadas. O valor máximo encontrado, no entanto, se encontra dentro da faixa de normalidade, uma vez que só é considerado anômalo aquele cuja concentração supera a composição média do folhelho em três vezes.

O valor máximo encontrado para o Sr (1.771 mg kg^{-1}) na estação 13_S ultrapassou o valor da composição do folhelho em quase 6 vezes, e só não foi maior que esta última (300 mg kg^{-1}) na Estação 1 e nos Afluentes 1, 2 e 6.

Tabela 4. Concentrações dos elementos químicos do sedimento de fundo no estuário do rio Mamanguape e Composição média do folhelho mundial (Valores em mg kg⁻¹).

<i>Elementos Químicos</i>	Rio Mamanguape (PB)¹	<i>Composição média do Folhelho Mundial²</i>
Ag	<0,03	0,07
Al	641-2.930	80.000
As	0,9-6,2	13
Ba	4,4-14,2	580
Be	0,2-1,1	3
Ca	17.820-183.000	22.100
Cd	0,03-0,1	0,3
Co	0,92-4,72	19
Cr	6,5-11,5	90
Cu	0,4-8,8	45
Fe	1.436-10.440	47.200
K	1.074-1.843	26.600
Li	2,9-5,1	66
Mg	3.759-13.630	15.000
Mn	83-453	850
Mo	<0,01-0,19	2,6
Na	12.000-26.120	9.600
Ni	1,4-5,3	68
Pb	3,4-16,2	20
Rb	0,7-3,6	140
Sb	<0,02	1,5
Se	0,3-0,9	0,6
Sr	132-1.771	300
Th	0,11-0,89	12
Tl	0,01-0,09	1,4
U	0,66-2,61	3,7
V	6,2-33,3	130
Zn	7,4-21,4	95

¹ Este trabalho: fração granulométrica < 63 µm, e digestão química com HCl 0,5 M.

² Turekian & Wedepohl (1961). Digestão química com ácidos fortes.

4.3.2.6 Comparação das concentrações de metais do sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape com os valores de referência internacionais TEL/PEL e ERL/ERM

Com o intuito de avaliar a qualidade dos sedimentos do estuário do rio Mamanguape, os resultados obtidos foram comparados com os valores de referência estabelecidos por duas agências ambientais internacionais. A agência ambiental canadense (CCME, 2002) definiu os limites TEL (*Threshold Effect Level*), sendo esta a concentração abaixo da qual não são esperados efeitos adversos sobre organismos aquáticos, e PEL (*Probable Effect Level* – nível de efeito provável), que significa a concentração acima da qual são esperados efeitos adversos severos sobre a biota aquática. O intervalo entre estes dois níveis delimita faixas de probabilidade de ocorrência de efeitos biológicos adversos. A Agência Americana de Proteção Ambiental (US EPA) classifica como *Effects Range-Low* (ERL – Intervalo de Efeito Baixo) as concentrações abaixo das quais efeitos adversos raramente ocorrem, e como *Effects Range-Medium* (ERM – Intervalo de Efeito Médio), as concentrações acima das quais efeitos adversos frequentemente ocorrem (Long *et al.*, 1995).

É importante ressaltar que as agências supracitadas obtiveram seus valores de referência através de análises da concentração total dos contaminantes (Cr, Ni, Cu, Zn, As, Cd e Pb) em sedimentos estuarinos não-peneirados (fração granulométrica total), enquanto neste trabalho, os resultados obtidos referem-se apenas à concentração dos elementos químicos susceptíveis à biodisponibilidade (digestão com ácido diluído: HCl 0,5M) contido apenas na fração granulométrica silte-argila (<63 µm).

Entretanto, tal comparação pode ainda ser considerada útil e necessária, uma vez que inexistente legislação federal brasileira que estipule e regularmente os limites máximos da concentração de elementos químicos em sedimentos estuarinos, assim como de uma base de dados fundamentada utilizando os mesmos critérios (e.g. digestão química com HCl 0,5M) adotados no presente estudo para deixar a base de comparação similar.

Na tabela 5 são apresentadas as concentrações de As, Cu, Pb, Ni, Cr, Zn, Cd e Ag, ao longo das estações de amostragem do sedimento de fundo superficial do estuário do rio Mamanguape, em comparação com os valores de referências das agências supracitadas. Com exceção do As e da Ag, as espécies químicas listadas fazem parte do grupo dos metais pesados, termo este utilizado para definir os metais no ambiente aquático (Hawkes, 1997). Os demais

elementos analisados no presente estudo não constam na tabela por não possuírem valores de referência estabelecidos por essas agências.

A análise dos dados revelou que apenas o As apresentou concentrações próximas do TEL no Afluente 1 (A1: $6,0 \text{ mg kg}^{-1}$) e na Estação 11 (E11: $6,2 \text{ mg kg}^{-1}$). Entretanto, estes valores estão próximos da média encontrada para este semimetal em sedimentos estuarinos (Davis *et al.*, 2003).

Os demais elementos químicos comparados apresentaram valores consideravelmente inferiores aos valores de referência utilizados, indicando, portanto, que não apresentam efeitos adversos imediatos sobre organismos aquáticos. Entretanto, é importante considerar que, como os valores do As neste trabalho correspondem à fração suscetível à biodisponibilidade, o fato desta estar tão próxima da concentração total obtida pela agência canadense pode ser ainda mais significativo, considerando-se que a fração total deste elemento no rio Mamanguape pode, atualmente, estar acima do valor do TEL. Neste caso, passaria a compor a categoria de risco na qual há probabilidade de ocorrência de efeitos biológicos adversos.

A saber, A1 é uma estação de amostragem constituída por sedimento arenoso, embora concentre pequeno percentual de fração fina (5,77%), e é utilizado como canal de efluentes de carcinicultura. Por outro lado, a estação E11 está localizada na porção central do canal principal do estuário, sobre um banco areno-argiloso (classificada para este ponto como “lama”) que promove, devido à granulometria, o acúmulo de metais. De fato, esta estação apresentou teores relativamente altos de M.O. e fração fina (3,1% e 88,6%, respectivamente), e, quando consideradas apenas as amostras do canal principal do estuário, houve correlação forte entre o As e estes dois parâmetros. Assim como A1, E11 também está localizada imediatamente a jusante do lançamento de efluentes de carcinicultura.

Outros autores de forma semelhante identificaram em estuários pernambucanos a relação entre os pontos de maior acúmulo de As com a presença de empreendimentos de carcinicultura (Silva, 2009; Lima, 2008).

Concentrações relativamente elevadas de As (da ordem de 20 mg Kg^{-1}) foram encontradas por Silva (2009) em levantamento realizado no rio Formoso (PE) utilizando a mesma metodologia do presente estudo. No entanto, deve-se considerar que, além das fontes potenciais de contaminação aqui descritas, no referido trabalho destaca-se ainda a presença de aviários e loteamentos, ausentes no Mamanguape.

Dentre os metais detectados no sedimento do rio Mamanguape, o As, Cd e Pb são considerados tóxicos mesmo em baixas concentrações, agindo como desorganizadores

endócrinos que afetam os hormônios glucorticóides, e os reprodutivos de invertebrados e vertebrados (Meyers, 2003).

De forma geral, os dados obtidos sugerem a ausência de riscos imediatos à biota do estuário do rio Mamanguape no que se refere à contaminação pela fração biodisponível dos elementos químicos comparados com os valores de referência.

Tabela 5. Concentrações dos elementos químicos nos sedimentos de fundo do estuário do rio Mamananguape, e os valores de referência TEL/PEL¹ e ERL/ERM² (Valores em mg kg⁻¹).

Elementos Químicos	ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM															VALORES DE REFERÊNCIA		
	A1	E1	A2	E2	A3	E4	A4	A5	E6	A6	E8	A7	E11	A8	E13_S	TEL	PEL	ERL ERM
As	6,0	1,6	3,9	3,2	3,3	2,7	4,5	3,6	2,5	4,5	2,3	4,1	6,2	4,4	0,9	7,24	41,6	8,2 70,0
Cu	2,95	8,8	3,2	4,4	2,6	3,1	3,8	2,6	3,5	2,9	2,0	1,8	2,1	2,0	0,4	18,7	108,0	34,0 270,0
Pb	12,1	16,2	11,5	11,7	10,2	9,0	11,7	9,6	10,1	10,5	7,7	8,8	8,7	8,9	3,4	30,2	112,0	46,7 218,0
Zn	21,4	16,9	13,1	12,7	12,7	11,8	12,8	12,9	13,2	15,1	10,3	13,5	12,1	13,0	7,4	124,0	271,0	150,0 410,0
Cr	9,6	9,7	8,1	7,8	9,5	8,2	10,3	8,4	9,2	9,6	7,6	9,5	11,2	11,5	6,5	52,3	160,0	81,0 370,0
Ni	5,2	5,3	3,9	3,2	3,3	2,8	3,3	3,6	3,2	3,8	2,3	3,4	2,6	3,2	1,4	-	-	20,9 51,6
Cd	0,05	0,06	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,1	0,05	0,07	0,03	0,07	0,03	0,05	0,03	0,7	4,2	1,2 9,6
Ag	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	-	-	1,0 3,7

1 – Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME, 2002). 2 – Long *et al.*, 1995.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A integração dos dados batimétricos, sedimentológicos e geoquímicos como procedimento metodológico demonstrou resultados significativos e supriu uma lacuna do conhecimento no que se refere ao diagnóstico e identificação das áreas mais suscetíveis ao acúmulo de contaminantes no estuário do rio Mamanguape. A aplicação dos modelos de interpretação sugeridos por autores clássicos também surtiu resultados coerentes, validados pela integração dos dados.

Isto se deveu ao fato das duas primeiras análises (batimetria e sedimentologia), complementares do ponto de vista da inferência hidrodinâmica, terem permitido a identificação espacial das áreas com maiores taxas de sedimentação no âmbito do estuário do rio Mamanguape. A análise granulométrica, por sua vez, possibilitou o mapeamento das porções de deposição de silte e argila, cuja mineralogia predominantemente constituída por argilominerais favorece a adsorção de metais contaminantes.

Tal abordagem foi complementada através da avaliação das concentrações de elementos químicos potencialmente biodisponíveis nos sedimentos de fundo, integrada às concentrações da fração fina, M.O. e CT destes sedimentos, subsidiando o diagnóstico pontual do estado ambiental do estuário do rio Mamanguape quanto à contaminação geoquímica.

As áreas mais profundas do canal principal do estuário estudado coincidiram com a deposição de sedimentos de maior granulometria, evidenciando o alto índice hidrodinâmico nestes locais, concentrados especialmente na parte externa dos meandros do estuário. Estes locais, exatamente pelos altos teores de sedimentos grosseiros, não estão sujeitos ao acúmulo de elementos químicos contaminantes, tendo apresentado, inclusive, as menores concentrações relativas de metais e elementos químicos diversos da área em estudo.

Os locais mais sujeitos à sedimentação, cuja hidrodinâmica é mais fraca e os sedimentos são mais finos, por conseguinte, apresentaram um maior acúmulo dos elementos químicos avaliados. Estas áreas são representadas pelo banco longitudinal areno-lamoso da desembocadura, afluentes e áreas internas dos meandros do estuário.

Ao contrário do observado para a maioria das estações de amostragem da área de estudo, a Estação 1 (E1) apresentou as maiores concentrações de elementos químicos, apesar de possuir apenas 19,2% de fração fina na composição de seu sedimento de fundo. Este ponto está localizado na região mais a montante da área estudada (a 7,5 km da foz do estuário), sendo assim o mais próximo das fontes potenciais de contaminação provenientes do alto e médio curso do rio. Pela disposição espacial desta estação, é de se esperar que tais fontes sejam provenientes, por exemplo, da sede municipal de Rio Tinto, a qual possui um lixão e pequenas indústrias, assim como de todas as comunidades ribeirinhas à montante do rio Mamanguape. Vale ressaltar que os principais metais encontrados em concentrações relativamente anômalas neste ponto (Pb: 16,2 ppm; Cu: 8,8 ppm; Ni: 5,3 ppm; Co: 4,7 ppm; Li: 5,1 ppm; Be: 1,1 ppm; Al: 2.930 ppm; V: 33,3 ppm; Se: 0,9 ppm; Rb: 3,6 ppm; Th: 0,89 ppm) foram interpretados neste trabalho como possuindo assinatura geoquímica de fonte continental, reforçando o exposto acima, possivelmente, pelo fato de ser este o ponto mais próximo do continente e com pouca influência marinha.

A diminuição das concentrações de alguns metais (e.g. Be, Co, Rb, Pb, Ni, Ba, Cu, Tl, Th, U, Zn, Fe, V) de assinatura continental ao se aproximar do oceano pode ser explicada pelo acréscimo considerável nos sedimentos de fundo de elementos químicos tipicamente marinhos, como Ca, Mg e Sr, que não possuem afinidade química com aqueles metais. Essa ausência de afinidade é indicada pela forte correlação negativa encontrada entre esses elementos químicos marinhos e os metais em questão.

O diagnóstico ambiental, por sua vez, objeto precípua do presente estudo, foi considerado ambientalmente positivo quando comparado aos valores de referência estabelecidos pelas agências ambientais canadense e norte-americana, para sedimentos estuarinos. Neste caso, os elementos químicos analisados mostraram concentrações suscetíveis à biodisponibilidade sempre inferiores ao TEL da agência canadense, que representa os valores abaixo do qual não são esperados efeitos adversos para os organismos aquáticos.

Em relação a outros estuários semelhantes do Nordeste brasileiro, as concentrações relativamente elevadas do rio Mamanguape sugerem que há um aporte de contaminantes químicos, mesmo considerado pequeno ainda, para o interior do corpo estuarino. Este aporte pode estar relacionado a características geogênicas locais, assim como antropogênicas, como as advindas da cultura da cana-de-açúcar e à localização preferencial das fazendas de camarão nos arredores da desembocadura da área de estudo.

As concentrações de elementos químicos reportadas neste trabalho não excluem, entretanto, a possibilidade de efeitos tóxicos futuros dos elementos analisados, sendo necessário um acompanhamento sistemático (monitoramento) do acúmulo desses contaminantes ao longo do tempo. Faz-se necessário igualmente estudos complementares de toxicidade na fauna bentônica local, a fim de identificar possíveis indícios de bioacumulação e de efeitos adversos, mesmo que incipientes, que porventura possam estar ocorrendo. A integração desses dados poderá, ainda, subsidiar a elaboração de mapas de sensibilidade ambiental para o estuário do rio Mamanguape.

As concentrações encontradas neste trabalho para o Pb ($16,2 \text{ mg kg}^{-1}$), V ($33,3 \text{ mg kg}^{-1}$) e As ($6,2 \text{ mg kg}^{-1}$), podem ser consideradas relativamente elevadas em se tratando da fração biodisponível, e servem para reforçar a afirmativa supracitada.

Por fim, considerando o atual estado do ecossistema, recomenda-se a adoção de medidas cautelosas quanto à liberação de licenças ambientais para novos empreendimentos pelo poder público. Atitudes preventivas como esta visam não comprometer a capacidade de suporte e reciclagem do estuário, e assim possibilitar a continuidade do ciclo de vida das espécies que o utilizam como habitat, especialmente daquelas estritamente ameaçadas de extinção e com populações geneticamente isoladas, como o peixe-boi marinho.

Espera-se ainda que seja ampliada a exigência e fiscalização dos sistemas de tratamento de efluentes oriundos da carcinicultura e de destilarias, bem como a recuperação de áreas desmatadas, quando necessário.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alencar, A.E.B., 2004. *Análise topográfica do cativeiro em ambiente natural do peixe-boi marinho Trichechus manatus manatus na Barra de Mamanguape/Paraíba*. Monografia (Graduação), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Curso de Ciências Biológicas, 75p.

Agemian, H.; Chau, A.S.Y., 1976. Evaluation of extraction techniques for the determination of metals in aquatic sediments. *The Analyst.*, 101: 761-767.

Alloway, B.J., 1995. *Heavy metals in soils*. London: Blackie Academic & Professional, 368p.

Amaral, R.F. & Assis, H.M.B., 1994. *Estudo preliminar dos Sedimentos de Fundo do Rio Formoso* (Litoral Pernambucano). Congresso Brasileiro de Geologia, Balneário Camboriú, SC. Anais, SBG: 37-38.

Barbosa, J.A.; Souza, E.M.; Lima Filho, M.F.; Neumann, V.H., 2003. A Estratigrafia da Bacia Paraíba: uma reconsideração. *Estudos Geológicos*, 13: 89-108.

Barbosa, J.A. & Lima Filho, M.F., 2005. *Os domínios da Bacia da Paraíba*. In: III Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Salvador. Rio de Janeiro, Inst. Brasil. Petról. (CD Rom).

Barbosa, J.A., Viana, M.S.S., Neumann, V.H., 2006. Paleoambientes e icnofácies da seqüência carbonática da Bacia da Paraíba (Cretáceo-Paleogeno), Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 36 (3): 73-90.

Barros, L.C., 2009. *Estudos sedimentológicos, batimétricos e geoquímicos na região interna do porto de Suape – PE*. Tese (Doutorado em Geociências), Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências.

Balsillie, J.H., 1995. *Particle size and nomenclature*. In: TANNER, W. F. (Organizador). Environment Clastic Granulometry, 164p.

Bittencourt, A.C.S.P.; Martin, L.; Vilas Boas, G.S.; Flexor, G.M., 1979. *Quaternary marine formations of the coast of the state of Bahia* (Brazil). Atlas do Simpósio Internacional sobre a evolução costeira no Quaternário. São Paulo (SP): 232-253p.

Borges, E.C.L.; Mozeto, A.A.; Neves, E.F.A.; Neto, W.B.; Bezerra, J.M., 2007. Estudo da capacidade de complexação e sua relação com algumas variáveis ambientais em cinco represas do Rio Tietê/Brasil. *Quím. Nova*, 30 (7): 1505-1511.

Carvalho, M.G.R.F., 1982. Estado da Paraíba: classificação geomorfológica. João Pessoa: Universitária da UFPB/FUNAPE, 1982, 72 p.

CCME., 2002. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: Summary tables. Updated. In: Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg, 7p.

Cortecchi, G., 2000. Geologia e Saúde. Bologna, Università degli Studi di Bologna, Dip. Scie. Terra e Geológico-Ambientale, 5 p (Trad. W. Scarpelli). Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/pgagem/geosaude.pdf>>. Acesso em 10/2009.

CPRH., 1998. Diagnóstico Sócio-Ambiental APA de Guadalupe – Litoral Sul de Pernambuco. GERCO/PE, 111p.

CPRM., 2005. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Rio Tinto, estado da Paraíba / Organizado por João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda. Recife: CPRM/PRODEEM, 11p.

CPTEC/INPE., 2009. Proclima. Boletim de prognóstico climático. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br>>. Acesso em: 24 jan. 2010, 19:00:00.

Cunha, L.H.O.; Madruga, A.M.; Diegues, A.C.S., 1992. Reserva extrativista para regiões de mangue: uma proposta preliminar para o estuário de Mamanguape – (Paraíba) (Série: Estudo de Caso n. 4). São Paulo: NUPAUB/USP, 84p.

Davies, J.L., 1964. A morphogenic approach to world shoreline. *Z. Geomorphology*, 8: 127-142.

Davis, A.M., Holland, H.D., Turekian, K.K., 2003. Treatise on Geochemistry. Amsterdam. *Pergamon Press.*, 5155 p.

Dean, W.E., 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Petrology*, 44 (1): 242-248.

DHN – Marinha do Brasil., 1998. *Carta Náutica nº 806*. Proximidades do Porto de Cabedelo. Escala 1: 50 000 (6°57',5).

Dias, G.T.M., 1996. *Classificação de sedimentos marinhos proposta de representação em cartas sedimentológicas*. Anais do XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador.

Dias, J.A., 2004. A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos. Universidade do Algarve, Faro, 80p.

Duane, D.B., 1964. Significance of Skewness in recent sediments. Western Pamlico Sound, North Carolina. *Journal of Sedimentary Petrology*, 48: 1203-1212.

EIA/RIMA., 2004. EIA/RIMA do projeto de carcinicultura da Destilaria Jacuípe S/A. Pires Advogados e Consultores.

Embrapa., 1999. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Embrapa Produção da Informação, 412p.

Folk, R.L., 1954. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. *J. Geol.*, 62: 344-359p.

Folk, R.L. & Ward, W.C., 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. Tulsa, Okla. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27: 3-27.

Förstner, U.; Wittmann, G., 1981. Metal Pollution in the Aquatic Environment, *Springer-Verlag*, 2nd Revised Ed. New York, 486 p.

Garlipp, A.B., 2006. *Variação espacial e sazonal de elementos maiores e traços no estuário do rio Curimataú (RN), através de dados geoquímicos e de sensoriamento remoto*. Tese (Doutorado em geodinâmica), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra, 205 p.

Google Earth., 2010. Disponível em: <<http://earth.google.com/>>. Acesso em: 23 jan. 2010, 19:00:00.

Gough, L.P., 1993. Understanding Our Fragile Environment; Lessons from Geochemical studies. Denver, *U. S. Geological Survey Circular*, 1105, 34p.

Guerra, A.T.; Guerra, A.J.T., 2006. *Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico*. Editora Bertrand Brasil Ltda., 5^a Ed, Rio de Janeiro, 648p.

Hakanson, L., 1980. An Ecological Risk Index for Aquatic Pollution Control: a sedimentological approach. *Water Research*, 14: 975-1001.

Harkot, P.F.G.; Kohler, M.C.M., 1990. *Proposta de trabalho para caracterização ecológica da região estuarina do Rio Mamanguape-PB*. IBAMA, 11p.

Hawkes, S.J., 1997. What is a “Heavy Metal?” *J. Chem. Educ.*, 74: 1374.

Ibama., 1994. Mapa de Localização da APA – Barra do rio Mamanguape. João Pessoa: SUPES-PB, 1994. 1 mapa: 90 x 117 cm. Escala 1:25.000.

Ibama., 2003. Relatório de vistoria técnica nos empreendimentos de carcinicultura inseridos na Terra Indígena Potiguar e na Área de proteção Ambiental da Barra do Rio Mamanguape, nos municípios de Rio Tinto e Marcação – PB. Brasília.

Jenne, E.A., 1977. *Trace element sorption by sediments and soils*. In: W. Chappell and S.K. Petersen (Eds.). Sites and processes. Proc. Symp. Molybdenum in the Environment, Vol. 2. Dekker, New York, pp. 42-553.

Ferreira Junior, A.V., 2005. *Mapeamento da zona costeira protegida por arenitos de praia (beachrocks) em Nísia Floresta – RN*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em geodinâmica e Geofísica.

Kralik, M., 1999. A rapid procedure for environmental sampling and evaluation of polluted sediments. *Applied Geochemistry*, 14: 807-816.

Laborel, J., 1965. Note préliminaire sur les récifs de grés et récifs de coraux dans le Nord-Est brésilien. *Rec. Trav. Stat. Mar. Endoume*, 37 (53): 341-344.

Lacerda, L.D.; Ittekkot, V.; Pachineelam, S.R., 1995. Biogeochemistry of mangrove soil organic matter: A comparison between Rhizophora and Avicennia soil in Southeastern Brasil. *Estuar. Coast.Shelf. Sci.*, 4:713-720.

Lexikon, Informática. Dicionário Aurélio eletrônico século XXI 3.0 [S.L], Nov., 1999. 1 CD-ROM (43,7Mb). Ambiente operacional,. (corresponde a versão integral do Novo Dicionário Aurélio – Século XXI, de Aurélio Buarque de Holanda Ferreira, publicado pela editora Nova Fronteira).

Lima, E.A.M., 2008. *Avaliação da qualidade dos sedimentos e prognóstico geoquímico ambiental, da zona estuarina do rio Botafogo, Pernambuco*. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Geociências. 172p.

Lima, P.J.; Hechendorff, W.D., 1985. Climatologia. In: PARAÍBA (estado) Secretaria da Educação e Universidade Federal da Paraíba. *Atlas geográfico do estado da Paraíba*. João Pessoa: Grafset. p. 34-43.

Long, E.R.; MAcDonald, D.D.; Smith, S.L.; Calder, F.D., 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management*, 19 (1): 81-97.

Luiz-Silva, W.; Matos, R.H.R.; Kristosch, G.C.; Machado, W., 2006. Variabilidade espacial e sazonal da concentração de elementos-traço em sedimentos do sistema estuarino de Santos-Cubatão (SP). *Quim. Nova.*, 29 (2):256-263.

Manahan, S.E., 2005. *Environmental chemistry*. 8th ed. Boca Raton (FL): CRC Press, 783 p.

Manso, V.A.V.; Corrêa, I.C.E.; Guerra, N.C., 2003. Morfologia e sedimentologia da plataforma continental interna entre as praias de Porto de Galinhas e Campos, litoral sul de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geociências*, 2: 17-25.

Marinho, E.G.A., 2002. *Geomorfologia da Área de Proteção Ambiental da Barra do Rio Mamanguape e adjacências, no estado da Paraíba: subsídios ao zoneamento geo-ambiental*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba. Programa Regional de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), 194p.

Martin, J.M.; Meybeck, M., 1979. Elemental mass-balance of material carried by major world rivers. *Marine Chemistry*, 7: 173-206.

Mason, B. & Moore, C.B., 1982. *Principles of Geochemistry*. Wiley & Sons, 344p.

Mendes, G.P., 2000. *Sedimentologia e morfodinâmica da praia de Guadalupe município de Sirinhaém – PE*. 127 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE.

Meyers, P.A., 2003. Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes. *Organic Geochemistry*, 34: 261-289.

Millimann, J.D. & K.O. Emery., 1968. Sea level changes during the past 35.000 years. *Science* 162 (3858) 1121-1123).

MMA., 2008. Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção, Brasília: *Ministério do Meio Ambiente*, 1420p.

Moore, J.W., Ramamoorthy, S., 1984. *Heavy metals in natural waters*. New York: Springer-Verlag, 328p.

Netto, A.S.T., 1980. *Manual de Sedimentologia*. Salvador: Petrobras/CENPES/DIVEN. Setor de Ensino da Bahia, 194p.

Neves, S.M.; Dominguez, J.M.L.; Bittencourt, A., 2006. Paraíba. In: Muehe, D. (ed), *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p. 173-178.

Nimer, E., 1979. *Pluviometria e recursos hídricos dos estados de Pernambuco e Paraíba*. Rio de Janeiro: IBGE, Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente, 117p.

Oliveira, M.S.R., 2006. *Estudo da especiação de metais traço em sedimentos de um tanque de cultivo de camarão marinho do município de Santa Rita-PB*. Dissertação (Mestrado em Química Analítica). Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, 69p.

Paludo, D., 1992. Manatee investigations in Paraíba. *Sirennews*, nº. 18.

Paludo, D.; Klonowski, V.S., 1999. Estudo do impacto do uso da madeira do manguezal pela população extrativista e da possibilidade de reflorestamento e manejo dos recursos madeireiros. *Reserva da Biosfera da Mata Atlântica*., São Paulo, Caderno nº 16, p. 7-15.

Paraíba (Estado)., 1986. Secretaria de Minas, Energia e Meio Ambiente. *Relatório da Qualidade do Meio Ambiente*. João Pessoa: [s.n.], 203p. 1v.

Ponçano, W.L., 1986. Sobre a interpretação ambiental de parâmetros estatísticos granulométricos: exemplos de sedimentos quaternários da costa brasileira. *Revista Brasileira de Geociências*., 16 (2): 157-170.

Ponzi, V.R.A., 1995. *Métodos de Análises Sedimentológicas de Amostras Marinhas. Representação através de mapas e gráficos*. Monografia (Especialização), Universidade Federal Fluminense – UFF, Curso de Especialização em Geologia e Geofísica Marinha, 55 p.

Sampaio, J.A.; Luz, A.B. da.; Lins, F.F., 2001. *Usinas de Beneficiamento de Minérios do Brasil*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 398p.

Santos, E.J.; Ferreira, C.A.; Silva Junior, J.M.F., 2002. *Geologia e Recursos Minerais do Estado da Paraíba: Texto Explicativo dos Mapas Geológicos e de Recursos Minerais da Paraíba, 1/500 000*. Recife- CPRM Serviço Geológico do Brasil, Superintendência Regional do Recife, 142 p.

Semarh., 2009. *Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos*. Disponível em: <<http://www.semarh.df.gov.br/site/cap07/04.htm>> Acesso em: 14 de novembro de 2009.

Shepard, F.P., 1954. Nomeclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Petrology*, 24: 51-80.

Silva, A.H.G. da., 2006. *Avaliação estatística das variáveis de cultivo do Litopenaeus vannamei (Boone, 1931) em água doce*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recursos Pesqueiros e Aquicultura, 58 p.

Silva, A.P.L., 2001. *Estudos geomorfológico e sedimentológico do sistema estuarino Lagunar do roteiro – Alagoas*. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, 112 p.

Silva, A.P.L., 2008. (a) *Diagnóstico Geoquímico e geocronologia do sistema estuarino-lagunar do Roteiro – AL*. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, 130p.

Silva, J.P., 2008. (b) *Estudos sedimentológicos, hidrodinâmicos, batimétricos e da qualidade da água visando a evolução e os aspectos ambientais associados do estuário do rio Formoso – PE*. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, 137p.

Silva, N.M.T.N., 2009. *Avaliação das concentrações de elementos químicos nos sedimentos de fundo do estuário do rio Formoso (PE)*. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, 84p.

Soares, M.C.C.; Mizusaki, A.M.P.; Guerra, T.; Vignol, M.L., 2004. Análise Geoquímica dos Sedimentos de Fundo do Arroio do Salso, Porto Alegre - RG - Brasil. *Pesquisa em Geociências*, 31 (1): 39-50.

Spiegel, M.R., 1972. *Estatística*. São Paulo, Editora McGraw-Hill do Brasil, 580p.

Suguio, K., 1973. *Introdução à sedimentologia*. São Paulo, Edgard Blucher, 317p.

Suguio, K., 1998. *Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins*. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1222p.

Sudene., 1974. 1 mapa: color., 73,5 x 63,5 cm. Escala 1:25.000. (Índice de Nomenclatura: Folha SB.25-Y-A-VI-3-NO).

Sumpter, J.P.E.; Jobling, S., 1995. Vitellogenesis as a biomarker for estrogenic contamination of the aquatic environment. *Environ. Health Perspect.*, 103: 137-178.

Sutherland, R.A., 2002. Comparison between non-residual Al, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn released by a three-step sequential extraction procedure and a dilute hydrochloric acid leach for soil and road deposited sediment. *Applied Geochemistry*, 17: 353-365.

Tavares, L., 2004. Rio Mamanguape. Projeto Águas, Informativo Paraíba.

Teixeira, W.; Toledo, M.C.M.; Fairchild, T.R.; Taioli, F., 2003. *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Textos, 2ª Reimpressão, 568p.

Teódulo, M.J.R., 2003. *Avaliação das concentrações de metais pesados em solos do Complexo Industrial e Portuário de Suape (CIPS) e sedimentos de corrente dos rios Massangana, Tatuoca e Ipojuca – PE*. Dissertação de Mestrado.

Tessier, A.; Campbell, P.G.C.; Bisson, M., 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.*, 51 (7): 844-851.

Tucker, M.E., 1981. *Sedimentary Petrology. An introduction*. Oxford, Blackwell, 252p.

Turekian, K.; Wedepohl, K.H., 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Bull Geol. Soc. Amer*, 72: 175-192.

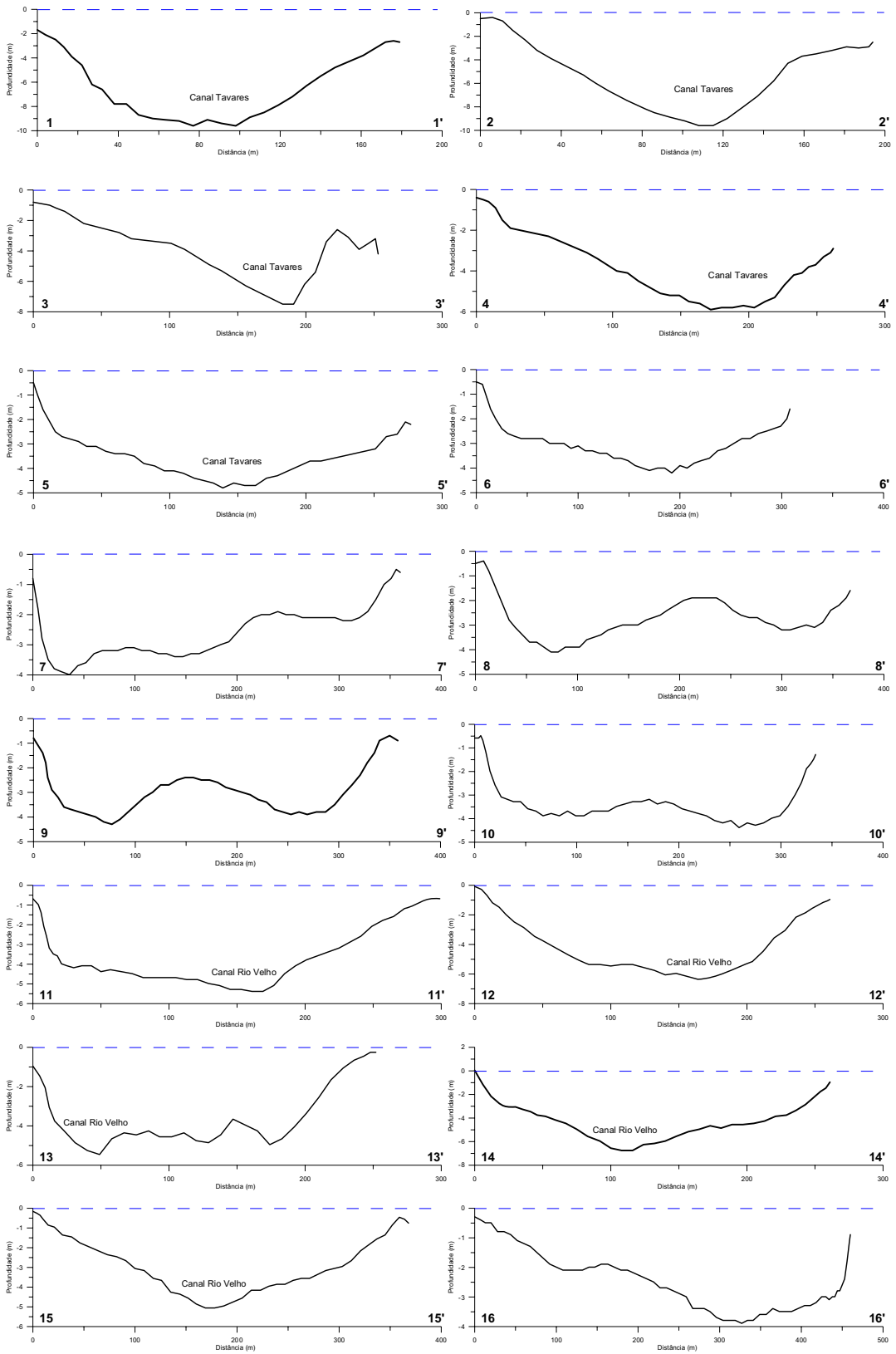
US EPA., 1998. EPA's Contaminated Sediment Management Strategy. Washington, *USEPA*, EPA-823-R-98-001.

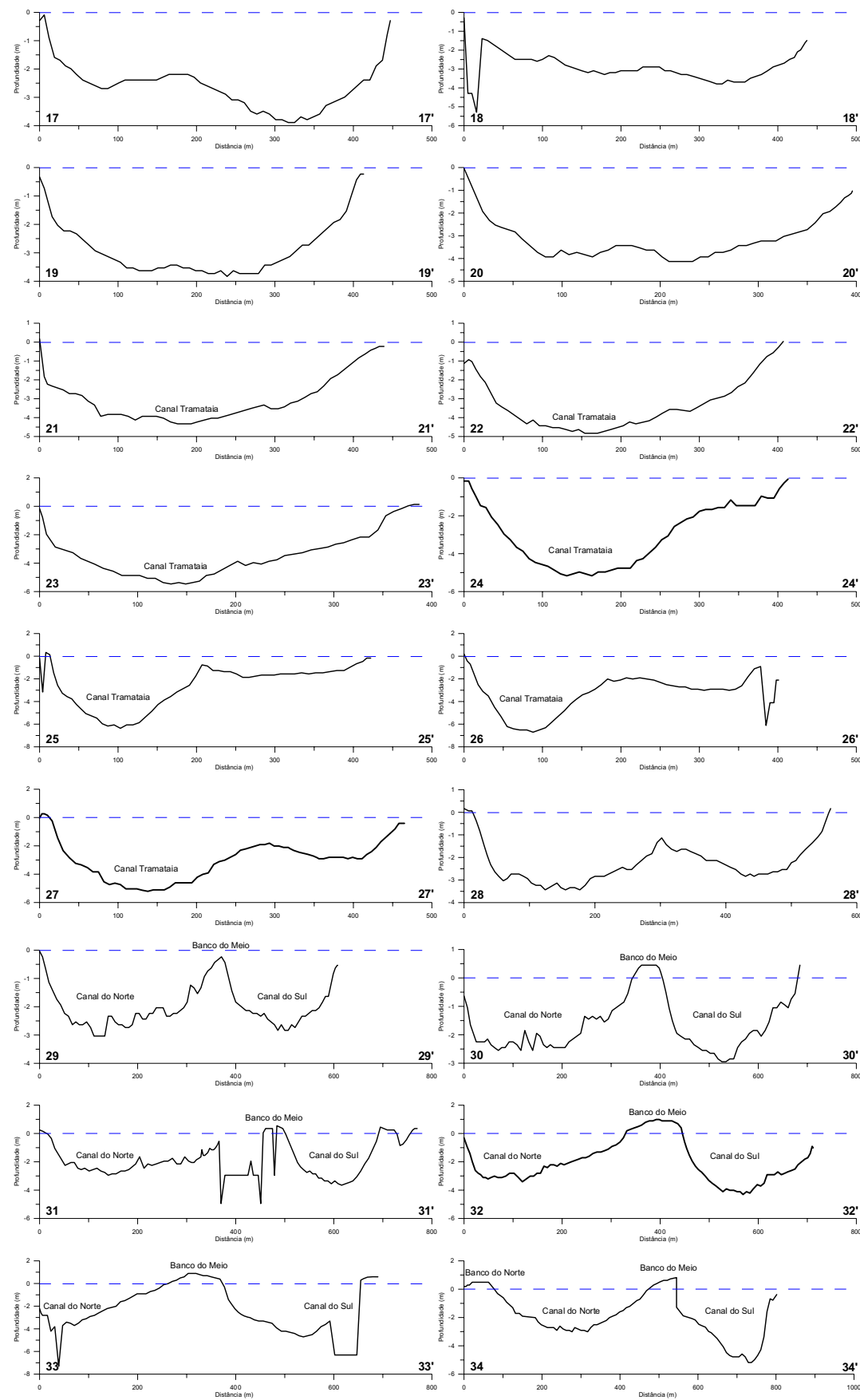
Watanabe, T.; Oliveira, R.B.; Sassi, R.; Melo, G.N.; Moura, G.F.; Gadelha, C.L.; Machado, V.M.N., 1994. Evidences of contamination caused by sugar-cane monoculture and associated industrial activities in water bodies of the State of Paraíba, Northeast Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensis*, 5: 85-101.

Wedepohl, K.H., 1978. *Handbook of Geochemistry*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, V.II/1,2,3,4 e 5.

Wentworth, C.K., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30 (5): 377-392.

APÊNDICE 1





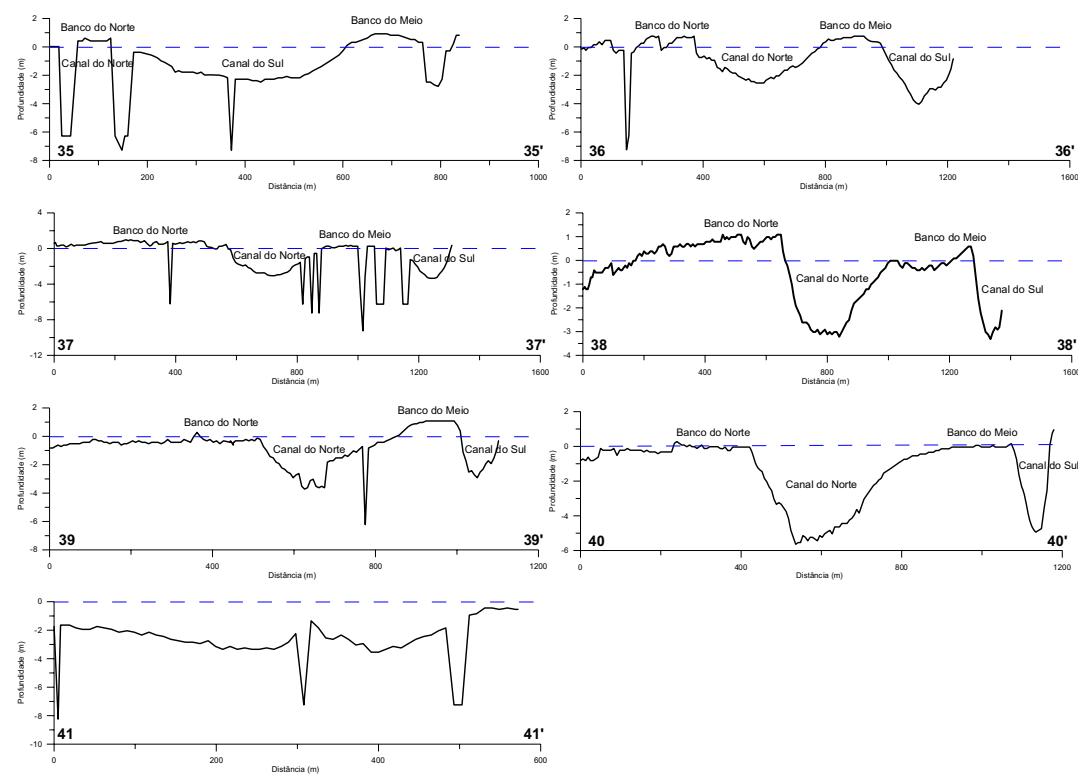


Figura 46 Perfis batimétricos do estuário do rio Mamanguape.

APÊNDICE 2

Tabela 6. Concentrações dos elementos químicos investigados no sedimento de fundo superficial do estuário do rio Mamanguape (Valores em mg kg⁻¹).

Elementos		ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM													
Químicos															
(mg kg ⁻¹)	Aflu 1	Est 1	Aflu 2	Est 2	Aflu 3	Est 4	Aflu 4	Aflu 5	Est 6	Aflu 6	Est 8	Aflu 7	Est 11	Aflu 8	Est 13_S
Na	14.040	12.000	15.680	13.720	14.630	12.630	15.970	17.160	18.310	26.120	12.220	17.860	16.720	20.660	17.370
Mg	4.500	3.759	4.810	5.049	5.878	6.144	7.380	5.248	7.197	6.178	6.964	7.826	11.130	8.602	13.630
K	1.424	1.738	1.308	1.342	1.484	1.225	1.373	1.433	1.431	1.843	1.074	1.468	1.195	1.644	1.219
Ca	20.550	17.820	24.920	39.600	52.350	59.640	68.110	32.080	64.700	25.970	144.300	75.490	132.500	89.830	183.000
Mn	227	167	175	346	98	239	453	105	165	83	129	118	228	92	161
Fe	9.243	8.340	9.466	10.440	6.728	7.872	9.186	6.841	7.199	6.939	4.669	5.051	7.276	4.653	1.436
Li	4,2	5,1	3,9	3,5	4,6	3,7	4,3	4,1	5,0	5,0	4,1	4,7	3,9	4,6	2,9
Be	0,8	1,1	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	0,5	0,6	0,5	0,5	0,2
Al	1.930	2.930	2.017	1.812	2.114	1.678	1.921	2.099	1.970	2.280	1.403	1.844	1.453	1.850	641
V	30,1	33,3	20,8	17,8	21,1	14,9	18,4	19,8	18,0	19,5	17,0	18,8	18,3	18,5	6,2
Cr	9,6	9,7	8,1	7,8	9,5	8,2	10,3	8,4	9,2	9,6	7,6	9,5	11,2	11,5	6,5
Co	3,31	4,72	2,84	2,71	2,41	2,16	2,51	2,43	2,30	2,40	1,60	2,02	1,70	1,77	0,92
Ni	5,2	5,3	3,9	3,2	3,3	2,8	3,3	3,6	3,2	3,8	2,3	3,4	2,6	3,2	1,4
Cu	3,0	8,8	3,2	4,4	2,6	3,1	3,8	2,6	3,5	2,9	2,0	1,8	2,1	2,0	0,4
Zn	21,4	16,9	13,1	12,7	12,7	11,8	12,8	12,9	13,2	15,1	10,3	13,5	12,1	13,0	7,4
As	6,0	1,6	3,9	3,2	3,3	2,7	4,5	3,6	2,5	4,5	2,3	4,1	6,2	4,4	0,9
Se	0,7	0,9	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,7	0,5	0,8	0,4	0,6	0,3
Rb	2,3	3,6	2,1	2,1	2,2	1,8	1,9	2,2	2,1	2,6	1,2	2,0	1,2	1,9	0,7
Sr	201	132	257	384	491	597	672	339	632	290	1.070	797	1.254	917	1.771
Mo	0,17	0,02	0,07	0,04	0,06	0,03	0,04	0,07	0,03	0,10	0,05	0,08	0,03	0,06	<0,01
Ag	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Cd	0,05	0,06	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,10	0,05	0,07	0,03	0,07	0,03	0,05	0,03

Sb	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Ba	9,5	13,8	7,8	14,2	8,4	9,2	8,8	7,0	8,0	7,7	6,0	6,2	6,6	5,5	4,4				
Tl	0,08	0,04	0,05	0,03	0,07	0,03	0,04	0,07	0,03	0,09	0,03	0,06	0,02	0,07	0,01				
Pb	12,1	16,2	11,5	11,7	10,2	9,0	11,7	9,6	10,1	10,5	7,7	8,8	8,7	8,9	3,4				
Th	0,77	0,89	0,65	0,77	0,37	0,58	0,67	0,37	0,50	0,38	0,33	0,29	0,62	0,25	0,11				
U	2,61	2,04	1,61	1,20	1,16	1,06	1,02	1,31	1,43	1,39	1,16	1,30	0,98	1,21	0,66				

Tabela 7. Matriz de correlação das concentrações dos elementos químicos investigados, matéria orgânica (M.O.), carbonatos totais (CT) e Fração Fina (FF) (<63 µm) nas amostras de sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape. Valores sombreados em verde: forte correlação positiva (CC > 0,8). Valores sombreados em amarelo: forte correlação negativa (CC > - 0,8).

	Na	Mg	K	Ca	Mn	Fe	Li	Be	Al	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Mo	Cd	Ba	Tl	Pb	Th	U	MO	CT	FF
Na	1.0																												
Mg	0.6	1.0																											
K	0.4	-0.3	1.0																										
Ca	0.3	0.9	-0.5	1.0																									
Mn	-0.5	-0.2	-0.6	-0.1	1.0																								
Fe	-0.5	-0.6	-0.1	-0.7	0.7	1.0																							
Li	0.3	-0.1	0.8	-0.3	-0.5	-0.1	1.0																						
Be	-0.3	-0.8	0.5	-0.8	0.1	0.6	0.5	1.0																					
Al	0.1	-0.6	0.8	-0.8	-0.3	0.3	0.7	0.8	1.0																				
V	-0.1	-0.6	0.7	-0.8	-0.3	0.3	0.6	0.6	0.8	1.0																			
Cr	0.3	0.1	0.5	-0.1	-0.1	0.1	0.6	0.2	0.4	0.5	1.0																		
Co	-0.4	-0.9	0.4	-0.9	0.3	0.8	0.2	0.8	0.7	0.7	0.2	1.0																	
Ni	-0.1	-0.7	0.7	-0.9	-0.1	0.5	0.5	0.7	0.8	0.9	0.3	0.8	1.0																
Cu	-0.4	-0.7	0.2	-0.7	0.6	0.8	0.2	0.7	0.5	0.3	0.1	0.8	0.5	1.0															
Zn	0.2	-0.5	0.7	-0.7	-0.2	0.3	0.7	0.6	0.7	0.8	0.5	0.6	0.9	0.4	1.0														
As	0.4	0.1	0.2	-0.1	0.0	0.2	0.1	-0.1	0.1	0.3	0.7	0.1	0.3	-0.1	0.4	1.0													
Se	-0.1	-0.5	0.6	-0.7	0.0	0.4	0.6	0.6	0.7	0.7	0.4	0.7	0.9	0.5	0.8	0.3	1.0												
Rb	-0.1	-0.8	0.8	-0.9	-0.2	0.4	0.6	0.8	0.9	0.8	0.3	0.8	0.9	0.5	0.8	0.1	0.7	1.0											
Sr	0.3	0.9	-0.5	1.0	-0.1	-0.6	-0.3	-0.8	-0.8	-0.7	-0.1	-0.9	-0.9	-0.7	-0.7	-0.1	-0.7	-0.1	-0.9	1.0									
Mo	0.4	0.1	0.1	0.0	-0.5	-0.3	-0.1	-0.3	0.0	0.2	-0.2	-0.1	0.2	-0.6	0.1	0.2	0.0	0.1	0.0	1.0									
Cd	0.3	-0.4	0.8	-0.6	-0.5	0.0	0.7	0.5	0.8	0.7	0.3	0.5	0.8	0.1	0.8	0.2	0.7	0.8	-0.6	0.2	1.0								
Ba	-0.6	-0.7	0.2	-0.7	0.6	0.8	0.1	0.8	0.4	0.3	0.1	0.8	0.5	0.9	0.3	0.0	0.5	0.6	-0.7	-0.4	0.1	1.0							
Tl	0.3	-0.4	0.7	-0.6	-0.5	0.0	0.5	0.4	0.7	0.8	0.4	0.4	0.7	0.0	0.7	0.5	0.6	0.7	-0.6	0.5	0.8	0.1	1.0						
Pb	-0.3	-0.8	0.4	-0.9	0.3	0.8	0.3	0.8	0.7	0.6	0.3	1.0	0.8	0.9	0.6	0.2	0.7	0.8	-0.9	-0.2	0.4	0.9	0.4	1.0					
Th	-0.5	-0.7	0.0	-0.7	0.7	0.9	0.0	0.6	0.3	0.4	0.2	0.8	0.5	0.9	0.4	0.2	0.5	0.5	-0.7	-0.5	0.0	0.9	0.0	0.8	1.0				
U	0.0	-0.7	0.6	-0.8	-0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.1	0.7	0.8	0.4	0.9	0.1	0.7	0.8	-0.8	0.1	0.7	0.4	0.6	0.6	0.4	1.0			
MO	0.4	-0.2	0.5	-0.5	-0.4	0.1	0.2	0.1	0.6	0.6	0.4	0.3	0.6	0.0	0.5	0.7	0.4	0.5	-0.4	0.4	0.6	0.0	0.8	0.3	0.0	0.4	1.0		
CT	0.5	0.7	-0.3	0.7	-0.4	-0.7	-0.2	-0.7	-0.4	-0.3	0.0	-0.7	-0.5	-0.8	-0.4	0.1	-0.6	-0.5	0.7	0.3	-0.2	-0.8	-0.1	-0.8	-0.7	-0.5	0.0	1.0	
FF	0.1	0.2	-0.1	0.1	0.4	0.4	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.3	0.1	-0.1	0.2	-0.1	0.4	0.1	-0.2	0.2	-0.4	-0.1	0.2	-0.2	0.1	0.2	-0.3	0.2	-0.1	1.0

Tabela 8. Matriz de correlação das concentrações dos elementos químicos investigados, matéria orgânica (M.O.), carbonatos totais (CT) e Fração Fina (FF) (<0,063 mm) nas amostras de sedimento de fundo das Estações do canal principal do estuário do rio Mamanguape.

	Na	Mg	K	Ca	Mn	Fe	Li	Be	Al	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Mo	Cd	Ba	Tl	Pb	Th	U	MO	CT	FF
Na	1.0																												
Mg	0.8	1.0																											
K	0.0	-0.6	1.0																										
Ca	0.5	0.9	-0.8	1.0																									
Mn	-0.1	-0.5	0.4	-0.7	1.0																								
Fe	-0.4	-0.8	0.6	-0.9	0.9	1.0																							
Li	-0.4	-0.4	0.4	-0.4	-0.3	0.1	1.0																						
Be	-0.3	-0.7	0.9	-0.9	0.3	0.7	0.7	1.0																					
Al	-0.2	-0.7	0.9	-0.9	0.4	0.7	0.6	1.0	1.0																				
V	-0.2	-0.4	0.5	-0.6	0.2	0.5	0.8	0.6	0.7	1.0																			
Cr	-0.1	-0.2	0.4	-0.5	0.4	0.5	0.6	0.5	0.6	0.9	1.0																		
Co	-0.3	-0.8	0.9	-1.0	0.6	0.9	0.5	0.9	1.0	0.7	0.5	1.0																	
Ni	-0.3	-0.8	0.9	-0.9	0.5	0.8	0.6	1.0	1.0	0.7	0.6	1.0	1.0																
Cu	-0.3	-0.8	0.9	-1.0	0.6	0.9	0.5	0.9	1.0	0.7	0.5	1.0	1.0	1.0															
Zn	-0.1	-0.6	0.8	-0.8	0.4	0.7	0.7	0.9	1.0	0.9	0.7	0.9	1.0	0.9	1.0														
As	0.1	-0.1	-0.1	-0.3	0.7	0.5	-0.1	0.1	0.1	0.3	0.5	0.2	0.2	0.2	0.2	1.0													
Se	-0.5	-0.9	0.8	-0.9	0.4	0.7	0.6	1.0	0.9	0.5	0.4	0.9	0.9	0.9	0.8	0.0	1.0												
Rb	-0.3	-0.8	0.9	-0.9	0.4	0.8	0.6	1.0	1.0	0.7	0.5	1.0	1.0	1.0	0.9	0.1	1.0	1.0											
Sr	0.6	1.0	-0.8	1.0	-0.5	-0.9	-0.4	-0.9	-0.9	-0.5	-0.3	-0.9	-0.9	-0.9	-0.8	-0.1	-1.0	-0.9	1.0										
Mo	0.3	0.5	-0.6	0.7	-0.4	-0.6	-0.7	-0.8	-0.8	-0.9	-0.7	-0.8	-0.7	-0.8	-0.8	-0.3	-0.7	-0.7	0.6	1.0									
Cd	-0.2	-0.7	1.0	-0.8	0.3	0.6	0.6	1.0	1.0	0.5	0.4	0.9	0.9	0.9	0.9	-0.1	0.9	0.9	-0.8	-0.7	1.0								
Ba	-0.4	-0.9	0.7	-1.0	0.8	1.0	0.2	0.8	0.8	0.5	0.4	0.9	0.9	0.9	0.8	0.4	0.9	0.9	-0.9	-0.6	0.7	1.0							
Tl	-0.7	-0.9	0.6	-0.8	0.2	0.6	0.7	0.9	0.8	0.5	0.3	0.8	0.8	0.8	0.7	-0.1	0.9	0.9	-0.9	-0.6	0.8	0.7	1.0						
Pb	-0.3	-0.8	0.9	-1.0	0.6	0.9	0.5	0.9	1.0	0.7	0.5	1.0	1.0	1.0	0.9	0.2	0.9	1.0	-0.9	-0.7	0.9	0.8	1.0						
Th	-0.5	-0.8	0.6	-0.9	0.7	0.9	0.4	0.7	0.8	0.8	0.7	0.9	0.8	0.9	0.8	0.4	0.7	0.8	-0.8	-0.7	0.6	0.9	0.6	1.0					
U	-0.4	-0.8	0.8	-0.8	0.1	0.5	0.8	0.9	0.9	0.6	0.4	0.9	0.9	0.9	0.9	-0.1	0.9	0.9	-0.8	-0.6	0.9	0.7	0.9	0.6	1.0				
MO	-0.1	-0.3	0.1	-0.5	0.9	0.8	0.0	0.3	0.4	0.5	0.7	0.5	0.4	0.5	0.4	0.9	0.3	0.3	-0.4	-0.5	0.1	0.6	0.1	0.5	0.8	0.1	1.0		
CT	0.6	1.0	-0.8	1.0	-0.5	-0.9	-0.4	-0.9	-0.9	-0.5	-0.3	-0.9	-0.9	-0.9	-0.8	-0.1	-1.0	-0.9	1.0	0.6	-0.8	-0.9	-0.9	-0.9	-0.8	-0.8	-0.4	1.0	
FF	0.1	-0.2	0.1	-0.4	0.8	0.6	0.0	0.2	0.3	0.4	0.6	0.4	0.4	0.4	0.4	1.0	0.2	0.3	-0.3	-0.4	0.1	0.5	0.0	0.4	0.6	0.0	1.0	-0.3	1.0

Tabela 9. Matriz de correlação das concentrações dos elementos químicos, matéria orgânica (M.O.), carbonatos totais (CT) e Fração Fina (FF) (< 0,063 mm) nas amostras de sedimento de fundo dos Afluentes do estuário do rio Mamanguape.

	Na	Mg	K	Ca	Mn	Fe	Li	Be	Al	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Mo	Cd	Ba	Tl	Pb	Th	U	MO	CT	FF
Na	1.0																												
Mg	0.7	1.0																											
K	0.6	0.5	1.0																										
Ca	0.5	0.9	0.4	1.0																									
Mn	-0.6	-0.4	-0.9	-0.2	1.0																								
Fe	-0.5	-0.8	-0.7	-0.8	0.6	1.0																							
Li	0.6	0.7	0.8	0.5	-0.6	-0.6	1.0																						
Be	-0.8	-0.8	-0.3	-0.7	0.3	0.5	-0.3	1.0																					
Al	-0.1	-0.5	0.2	-0.6	-0.4	0.3	0.0	0.6	1.0																				
V	-0.7	-0.9	-0.2	-0.8	0.0	0.4	-0.4	0.8	0.5	1.0																			
Cr	0.3	0.6	0.4	0.4	-0.1	-0.3	0.5	-0.3	-0.3	-0.5	1.0																		
Co	-0.8	-0.9	-0.8	-0.8	0.7	0.9	-0.8	0.7	0.2	0.5	-0.3	1.0																	
Ni	-0.3	-0.8	-0.4	-0.9	0.3	0.8	-0.4	0.5	0.3	0.6	-0.5	0.7	1.0																
Cu	-0.4	-0.5	-0.6	-0.6	0.6	0.9	-0.5	0.5	0.3	0.1	0.0	0.8	0.4	1.0															
Zn	0.1	-0.2	0.1	-0.5	0.0	0.3	0.2	-0.1	-0.1	0.2	0.0	0.1	0.7	0.0	1.0														
As	0.1	0.0	0.0	-0.2	0.3	0.3	0.2	0.0	-0.3	-0.2	0.7	0.2	0.3	0.4	0.6	1.0													
Se	0.1	0.0	-0.3	-0.2	0.4	0.3	0.2	-0.1	-0.4	-0.1	0.2	0.4	0.2	0.6	0.5	0.5	1.0												
Rb	-0.1	-0.6	0.3	-0.8	-0.3	0.3	0.1	0.6	0.8	0.7	-0.3	0.3	0.7	0.1	0.5	0.1	0.0	1.0											
Sr	0.5	0.9	0.4	1.0	-0.2	-0.8	0.5	-0.7	-0.6	-0.8	0.4	-0.8	-0.9	-0.6	-0.5	-0.2	-0.2	-0.8	1.0										
Mo	0.0	-0.4	0.1	-0.6	-0.1	0.3	0.1	0.2	0.2	0.5	-0.2	0.2	0.8	-0.1	0.9	0.4	0.5	0.7	-0.6	1.0									
Cd	0.5	0.0	0.4	-0.1	-0.5	-0.3	0.2	-0.2	0.3	0.1	-0.5	-0.3	0.3	-0.6	0.3	-0.3	0.0	0.5	-0.1	0.5	1.0								
Ba	-0.8	-0.6	-0.5	-0.6	0.6	0.7	-0.3	0.9	0.3	0.5	0.0	0.8	0.4	0.8	0.0	0.3	0.2	0.3	-0.6	0.1	-0.6	1.0							
Tl	0.2	-0.2	0.7	-0.4	-0.6	-0.1	0.4	0.3	0.5	0.4	0.2	-0.1	0.3	-0.2	0.5	0.3	-0.2	0.8	-0.4	0.6	0.4	0.0	1.0						
Pb	-0.6	-0.6	-0.5	-0.7	0.6	0.9	-0.4	0.7	0.3	0.4	0.1	0.9	0.5	0.9	0.2	0.5	0.2	0.3	-0.7	0.1	-0.6	0.9	0.0	1.0					
Th	-0.6	-0.7	-0.6	-0.8	0.7	0.9	-0.4	0.7	0.3	0.4	0.0	0.9	0.6	0.9	0.3	0.5	0.3	0.4	-0.8	0.2	-0.4	0.9	0.0	1.0					
U	-0.2	-0.7	-0.2	-0.8	0.0	0.5	-0.3	0.2	0.2	0.6	-0.4	0.5	0.9	0.2	0.8	0.3	0.3	0.6	-0.8	0.9	0.1	0.5	0.3	0.4	1.0				
MO	0.4	-0.3	0.3	-0.4	-0.6	0.1	-0.1	0.0	0.7	0.3	-0.3	-0.1	0.3	0.0	0.2	-0.2	-0.3	0.5	-0.4	0.3	0.5	-0.3	0.5	-0.1	-0.1	0.5	1.0		
CT	0.5	0.6	0.3	0.8	-0.3	-0.7	0.1	-0.6	-0.3	-0.6	0.1	-0.6	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.4	-0.5	0.8	-0.5	0.4	-0.7	-0.2	-0.8	-0.7	-0.6	-0.1	1.0	
FF	0.1	0.5	-0.4	0.6	0.4	-0.1	0.0	-0.5	-0.6	-0.7	0.0	-0.2	-0.5	0.0	-0.5	-0.2	0.3	-0.9	0.6	-0.7	-0.4	-0.2	-0.9	-0.2	-0.2	-0.6	-0.5	0.3	1.0

APÊNDICE 3

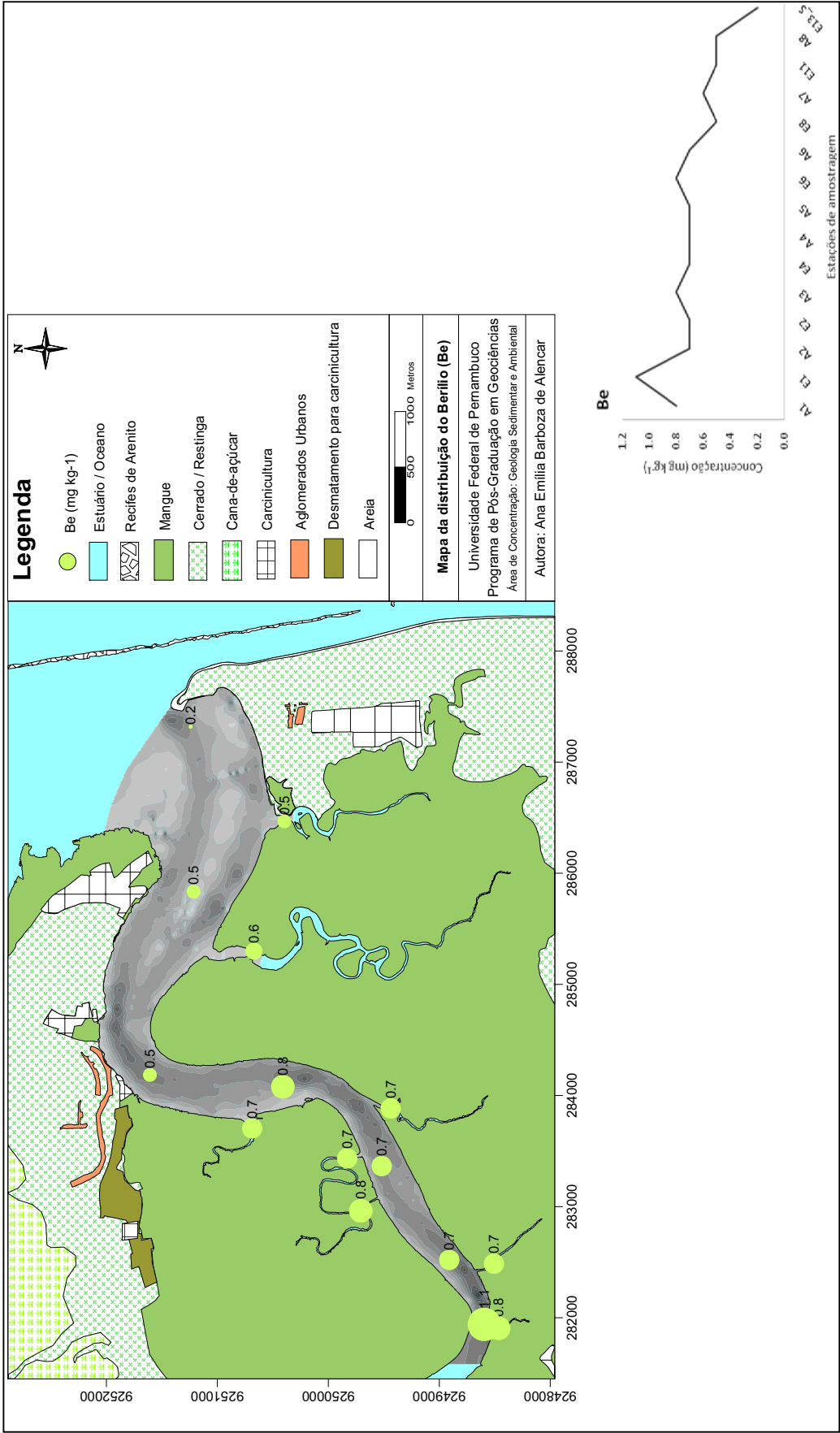


Figura 50 Mapa de distribuição espacial e gráfico das concentrações do Be (mg kg⁻¹) no sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.

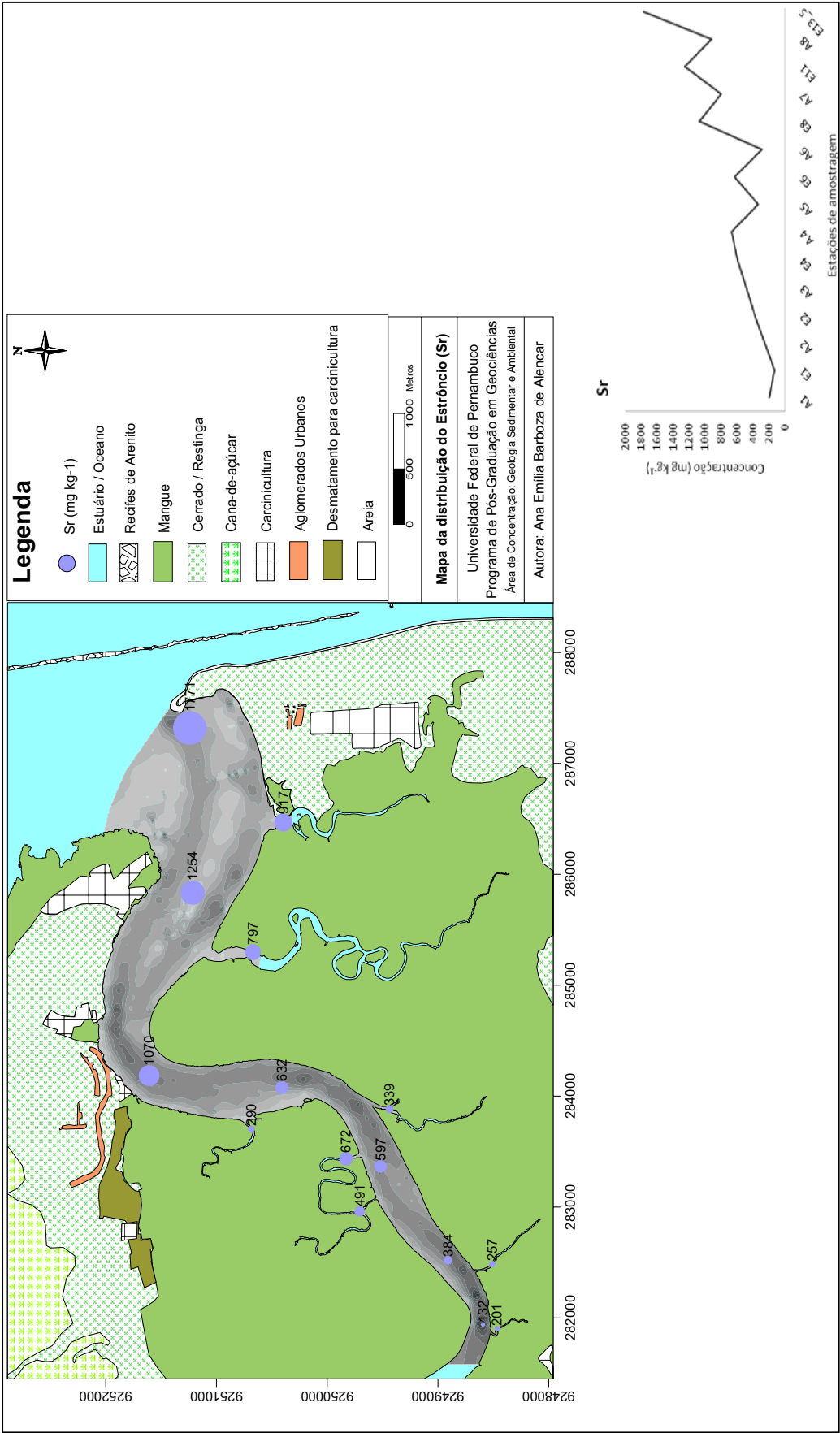


Figura 60 Mapa de distribuição espacial e gráfico das concentrações do Sr (mg kg⁻¹) no sedimento de fundo do estuário do rio Mamanguape.

APÊNDICE 4

Tabela 10. Concentrações certificadas e medidas para os elementos químicos no material de referência certificado SRM 1640 (todos em µg L⁻¹ exceto Na, Mg, K, Ca, Mn e Fe mg L⁻¹), e exatidão das análises calculada (%) para os respectivos elementos.

Elemento Químico	Concentração certificada	Concentração medida	Média	Desvio Padrão (σ)	σ (%)
Na	29.4	28.4	28.90	0.50	1.73
Mg	5.8	5.4	5.60	0.20	3.57
K	1.0	0.9	0.95	0.05	5.26
Ca	7.1	7.8	7.45	0.35	4.70
Mn	0.1	0.1	0.13	0.01	4.00
Fe	0.03	0.04	0.04	0.00	4.23
Li	50.8	48	49.6	1.18	2.38
Be	34.99	33	34.07	0.92	2.70
Al	52.1	53	52.8	0.67	1.27
V	13.01	13.3	13.1	0.13	0.99
Cr	38.7	40	39.5	0.81	2.05
Co	20.31	22	21.06	0.75	3.56
Ni	27.4	30	28.9	1.54	5.34
Cu	85.3	94	89.8	4.50	5.01
Zn	53.3	54	53.5	0.17	0.32
As	26.71	28	27.45	0.74	2.68
Se	21.99	24	22.9	0.89	3.91
Rb	2.00	2	2.1	0.11	4.99
Sr	124.4	125	124.6	0.15	0.12
Mo	46.82	44	45.25	1.57	3.47
Ag	7.63	6	6.6	1.03	15.68
Cd	22.82	24	23.3	0.49	2.08
Sb	13.81	13	13.2	0.61	4.62
Ba	148.2	150	149.15	0.95	0.64
Tl	0.1	0.008	0.0	0.02	72.41
Pb	27.93	29.4	28.7	0.74	2.56
Th	17.40	18	17.70	0.30	1.69
U	–	–	–	–	–

Tabela 11. Concentrações certificadas e medidas para os elementos químicos no material de referência certificado SRM 1643e (todos em µg L⁻¹ exceto Na, Mg, K, Ca, Mn e Fe mg L⁻¹), e exatidão das análises calculada (%) para os respectivos elementos.

Elemento Químico	Concentração certificada	Concentração medida	Média	Desvio Padrão (σ)	σ (%)
Na	21	20	20.10	0.60	2.99
Mg	8	8	7.95	0.05	0.63
K	2	2	1.90	0.10	5.26
Ca	32.3	29	30.70	1.60	5.21
Mn	0.039	0.037	0.04	0.00	2.63
Fe	0.10	0.09	0.10	0.00	3.16
Li	17.4	17.7	17.6	0.16	0.91
Be	13.98	14.1	14.05	0.06	0.46
Al	141.8	153	147.6	5.80	3.93
V	37.86	35.4	36.6	1.22	3.33
Cr	20.40	20.0	20.2	0.21	1.07
Co	27.06	25.7	26.37	0.69	2.62
Ni	62.41	59.3	60.9	1.55	2.56
Cu	22.76	20.5	21.6	1.12	5.18
Zn	78.5	57.4	67.9	10.57	15.56
As	60.45	53.7	57.08	3.37	5.90
Se	11.97	11.5	11.8	0.22	1.83
Rb	14.14	14.4	14.3	0.14	0.98
Sr	323.1	315	318.9	4.20	1.32
Mo	121.4	116	118.85	2.55	2.15
Ag	1.062	1.0	1.0	0.03	2.51
Cd	6.568	6.4	6.5	0.06	0.95
Sb	58.30	52.9	55.6	2.72	4.89
Ba	544.2	526.5	535.35	8.85	1.65
Tl	7.445	7.0	7.2	0.20	2.75
Pb	19.63	18.7	19.2	0.45	2.35
Th	—	—	—	—	—
U	—	—	—	—	—

Tabela 12. Concentrações certificadas e medidas para os elementos químicos no material de referência certificado SLRS-4 (todos em µg L⁻¹ exceto Na, Mg, K, Ca, Mn e Fe mg L⁻¹), e exatidão das análises calculada (%) para os respectivos elementos.

Elemento Químico	Concentração certificada	Concentração medida	Média	Desvio Padrão (σ)	σ (%)
Na	2.4	2.3	2.35	0.05	2.13
Mg	1.6	1.7	1.65	0.05	3.03
K	0.7	0.7	0.70	0.00	0.00
Ca	6.2	6	6.10	0.10	1.64
Mn	0.003	0.004	0.00	0.00	14.29
Fe	0.103	0.102	0.10	0.00	0.49
Li	0.54	0.55	0.5	0.01	0.92
Be	0.007	0.004	0.01	0.00	27.27
Al	54	52.79	53.4	0.61	1.13
V	0.32	0.34	0.3	0.01	3.03
Cr	0.33	0.33	0.3	0.00	0.00
Co	0.033	0.04	0.04	0.00	9.59
Ni	0.67	0.75	0.7	0.04	5.63
Cu	1.81	1.69	1.8	0.06	3.43
Zn	0.93	1.1	1.0	0.09	8.37
As	0.68	0.83	0.76	0.07	9.93
Se	0.23	0.12	0.2	0.06	31.43
Rb	1.53	1.63	1.6	0.05	3.16
Sr	26.3	29.5	27.9	1.58	5.67
Mo	0.21	0.21	0.21	0.00	0.00
Ag	—	—	—	—	—
Cd	0.012	0.016	0.0	0.00	14.29
Sb	0.23	0.25	0.2	0.01	4.17
Ba	12.22	13.5	12.88	0.66	5.12
Tl	0.007	0.007	0.0	0.00	1.45
Pb	0.086	0.087	0.1	0.00	0.58
Th	0.018	0.021	0.0	0.00	7.69
U	0.05	0.052	0.1	0.00	1.96

Tabela 13. Concentrações certificadas e medidas para os elementos químicos no material de referência certificado BCR-2 (todos em µg L⁻¹ exceto Na, Mg, K, Ca, Mn e Fe mg L⁻¹), e exatidão das análises calculada (%) para os respectivos elementos.

Elemento Químico	Concentração certificada	Concentração medida	Média	Desvio Padrão (σ)	σ (%)
Na	23442	23500	23471.00	29.00	0.12
Mg	21645	22290	21967.50	322.50	1.47
K	14810	15980	15395.00	585.00	3.80
Ca	50886	52650	51768.00	882.00	1.70
Mn	1520	1685	1602.50	82.50	5.15
Fe	96520	94900	95710.00	810.00	0.85
Li	9	9.3	9.2	0.15	1.64
Be	2.3	2	2.15	0.15	6.98
Al	71446	72110	71778.0	332.00	0.46
V	416	456.5	436.3	20.25	4.64
Cr	15.1	17.1	16.1	1.00	6.21
Co	37	40.9	38.95	1.95	5.01
Ni	12.4	12.8	12.6	0.20	1.59
Cu	19	16.6	17.8	1.20	6.74
Zn	127	134.8	130.9	3.90	2.98
As	–	–	–	–	–
Se	–	–	–	–	–
Rb	46.9	49.8	48.4	1.45	3.00
Sr	340	357	348.3	8.25	2.37
Mo	248	267	257.65	9.65	3.75
Ag	–	–	–	–	–
Cd	–	–	–	–	–
Sb	–	–	–	–	–
Ba	677	682	679.45	2.45	0.36
Tl	–	–	–	–	–
Pb	11	11	11.0	0.00	0.00
Th	5.7	6.1	5.9	0.20	3.39
U	1.69	1.7	1.7	0.01	0.29

Tabela 14. Concentrações medidas e repetição da leitura em uma amostra de sedimento de fundo (AFLU 1) do estuário do rio Mamanguape (todos em mg kg⁻¹). O cálculo do desvio padrão e diferenças percentuais relativas são igualmente mostrados.

Elemento Químico	AFLU 1	Repetição da Leitura (AFLU 1)	Média	Desvio Padrão (σ)	σ (%)
Na	14040	14300	14170.00	130.00	0.92
Mg	4500	4538	4519.00	19.00	0.42
K	1424	1388	1406.00	18.00	1.28
Ca	20550	20980	20765.00	215.00	1.04
Mn	227	235	231.00	4.00	1.73
Fe	9243	9368	9305.50	62.50	0.67
Li	4.2	4.2	4.2	0.00	0.00
Be	0.8	0.7	0.75	0.05	6.67
Al	1930	1956	1943.0	13.00	0.67
V	30.1	30.1	30.1	0.00	0.00
Cr	9.6	9.8	9.7	0.10	1.03
Co	3.31	3.35	3.33	0.02	0.60
Ni	5.2	5.4	5.3	0.10	1.89
Cu	3.0	3.0	3.0	0.02	0.84
Zn	21.4	22.0	21.7	0.30	1.38
As	6.0	6.4	6.2	0.20	3.23
Se	0.7	0.8	0.8	0.05	6.67
Rb	2.3	2.3	2.3	0.00	0.00
Sr	201	205	203.0	2.00	0.99
Mo	0.17	0.17	0.17	0.00	0.00
Ag	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00
Cd	0.05	0.06	0.06	0.01	9.09
Sb	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
Ba	9.5	9.7	9.60	0.10	1.04
Tl	0.08	0.08	0.08	0.00	0.00
Pb	12.1	12.2	12.2	0.05	0.41
Th	0.77	0.76	0.8	0.01	0.65
U	2.61	2.62	2.6	0.01	0.19

Tabela 15. Concentrações medidas e repetição da preparação em uma amostra de sedimento de fundo (AFLU 1) do estuário do rio Mamanguape (todos em mg kg⁻¹). O cálculo do desvio padrão e diferenças percentuais relativas são igualmente mostrados.

Elemento Químico	AFLU 1	Repetição da Preparação (AFLU 1)	Média	Desvio Padrão (σ)	σ (%)
Na	14040	14720	14380.00	340.00	2.36
Mg	4500	4674	4587.00	87.00	1.90
K	1424	1453	1438.50	14.50	1.01
Ca	20550	22170	21360.00	810.00	3.79
Mn	227	242	234.50	7.50	3.20
Fe	9243	9550	9396.50	153.50	1.63
Li	4.2	4.3	4.3	0.05	1.18
Be	0.8	0.7	0.75	0.05	6.67
Al	1930	1955	1942.5	12.50	0.64
V	30.1	30.7	30.4	0.30	0.99
Cr	9.6	9.8	9.7	0.10	1.03
Co	3.31	3.44	3.38	0.06	1.93
Ni	5.2	5.3	5.3	0.05	0.95
Cu	3.0	3.0	3.0	0.02	0.84
Zn	21.4	18.7	20.1	1.35	6.73
As	6.0	6.3	6.2	0.15	2.44
Se	0.7	0.7	0.7	0.00	0.00
Rb	2.3	2.2	2.3	0.05	2.22
Sr	201	209	205.0	4.00	1.95
Mo	0.17	0.19	0.18	0.01	5.56
Ag	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00
Cd	0.05	0.06	0.06	0.01	9.09
Sb	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
Ba	9.5	8.5	9.00	0.50	5.56
Tl	0.08	0.08	0.08	0.00	0.00
Pb	12.1	12.2	12.2	0.05	0.41
Th	0.77	0.78	0.8	0.01	0.65
U	2.61	2.62	2.6	0.01	0.19

Tabela 16. Concentrações medidas e repetição da preparação em uma amostra de sedimento de fundo (AFLU 2) do estuário do rio Mamanguape (todos em mg kg⁻¹). O cálculo do desvio padrão e diferenças percentuais relativas são igualmente mostrados.

Elemento Químico	AFLU 2	Repetição da Preparação (AFLU 2)	Média	Desvio Padrão (σ)	σ (%)
Na	15680	15850	15765.00	85.00	0.54
Mg	4810	4825	4817.50	7.50	0.16
K	1308	1308	1308.00	0.00	0.00
Ca	24920	25590	25255.00	335.00	1.33
Mn	175	180	177.50	2.50	1.41
Fe	9466	9944	9705.00	239.00	2.46
Li	3.9	3.8	3.9	0.05	1.30
Be	0.7	0.7	0.70	0.00	0.00
Al	2017	2018	2017.5	0.50	0.02
V	20.8	22.0	21.4	0.60	2.80
Cr	8.1	8.2	8.2	0.05	0.61
Co	2.84	2.91	2.88	0.04	1.22
Ni	3.9	3.9	3.9	0.00	0.00
Cu	3.2	3.5	3.4	0.15	4.48
Zn	13.1	12.1	12.6	0.50	3.97
As	3.9	4.1	4.0	0.10	2.50
Se	0.7	0.8	0.8	0.05	6.67
Rb	2.1	2.9	2.5	0.40	16.00
Sr	257	259	258.0	1.00	0.39
Mo	0.07	0.08	0.08	0.01	6.67
Ag	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00
Cd	0.05	0.05	0.05	0.00	0.00
Sb	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
Ba	7.8	7.8	7.80	0.00	0.00
Tl	0.05	0.05	0.05	0.00	0.00
Pb	11.5	11.2	11.4	0.15	1.32
Th	0.65	0.62	0.6	0.02	2.36
U	1.61	1.57	1.6	0.02	1.26