

**JOÃO CARLOS CARRILHO**

**DINÂMICA SEDIMENTAR DO FUNDO ESTUARINO  
ADJACENTE AO PORTO DE PARANAGUÁ – PR**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geologia - Área de Concentração: Geologia Ambiental, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Geologia Ambiental.

**Orientador: Dr. Rodolfo José Angulo**

**Coorientador: Dr. Eduardo Marone**

**CURITIBA**

**2003**

BC / MUFPR

DOAÇÃO: DO AUTOR

R\$ 15,00

05 ps p 4  
\*\*\*\*\*

BC/MUFPR - MEMORIA DA UNIVERSIDADE F. DO PARANA  
AUTOR  
R\$ 15.00 - Doacao  
Termo No. 204/04 Registro: 356,757  
10/05/2004

UFPR - Sistema de Bibliotecas

Carrilho, João Carlos

Dinâmica sedimentar do fundo estuarino adjacente ao porto de Paranaguá-PR / João Carlos Carrilho. – Curitiba, 2003.

f. : il.; grafs., maps., tabs.

Orientador: Rodolfo José Angulo

Co-orientador: Eduardo Marone

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra.

1. Transporte de sedimentos – Paranaguá - (PR). 2. Correntes de maré.  
3. Estuários – Paranaguá - (PR). 4. Sedimentos em suspensão. I. Angulo, Rodolfo José. II. Marone, Eduardo. Título.

CDD 20 551.354

# TERMO DE APROVAÇÃO

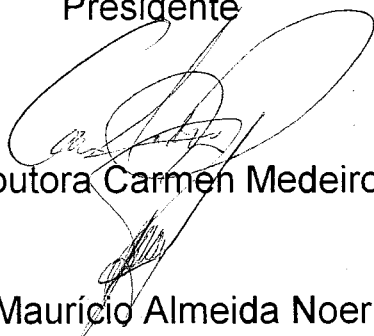
João Carlos Carrilho

## “DINÂMICA SEDIMENTAR DO FUNDO ESTUARINO ADJACENTE AO PORTO DE PARANAGUÁ-PR”.

Dissertação de Mestrado aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Geologia, área de concentração em Geologia Ambiental, da Universidade Federal do Paraná, Comissão formada pelos Professores:



Professor Doutor Rodolfo José Angulo - UFPR  
Presidente



Professora Doutora Carmen Medeiros - UFPE

Professor Doutor Maurício Almeida Noernberg - UFPR

Curitiba, 25 de Fevereiro de 2003.

*À l'inec e Dea*

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	I
RESUMO.....	II
ABSTRACT.....	III
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	IV
LISTA DE TABELAS.....	V
LISTA DE FIGURAS.....	VI
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. OBJETIVOS.....	02
3. CARACTERIZAÇÃO GERAL.....	03
3.1 Localização.....	03
3.2 A planície costeira no estado do Paraná.....	04
3.3 Variações relativas do nível do mar durante o Quaternário.....	07
3.4 O Complexo Estuarino de Paranaguá.....	08
3.4.1 Clima e hidrografia.....	09
3.4.2 Marés e correntes de marés.....	11
3.4.3 Sedimentos de fundo da Baía de Paranaguá.....	13
3.4.4 Características morfo-sedimentares do eixo Leste/Oeste do Complexo Estuarino de Paranaguá.....	14
3.4.5 Estratigrafia do eixo Leste/Oeste do Complexo Estuarino de Paranaguá.....	17
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
4.1 Introdução.....	22
4.2 Base cartográfica da área de estudo.....	22
4.3 Caracterização batimétrica.....	22
4.4 Comparação batimétrica.....	24
4.5 Caracterização dos sedimentos do FEAPP.....	26
4.5.1 Análise granulométrica.....	28
4.5.2 Análise do teor de Carbonato de Cálcio.....	28
4.5.3 Análise do teor de matéria orgânica.....	28
4.6 Caracterização das correntes de maré.....	28
4.6.1 Mapeamentos dos campos de correntes de maré enchente e vazante.....	28

4.6.2 Competência dos campos de correntes para realizar o transporte por tração dos sedimentos não coesivos no FEAPP.....	30
4.7 Caracterização das concentrações do MPS.....	33
4.7.1 Quantificação do material particulado em suspensão.....	35
4.7.2 Cálculo do aporte de MPS na bacia de evolução do Porto de Paranaguá.....	35
5 RESULTADOS.....	38
5.1 Batimetria.....	38
5.2 Variações de profundidades verificadas no FEAPP.....	41
5.2.1 Comparação dos levantamentos batimétricos realizados em 1959 e 1998.....	41
5.2.2 Comparação batimétrica dos levantamentos realizados em fevereiro e agosto de 2001 na bacia de evolução o porto de Paranaguá.....	44
5.3 Mapeamento dos sedimentos da superfície do fundo estuarino realizado em 2001 .....	45
5.3.1 Distribuição das classes texturais dos sedimentos segundo a classificação de Shepard (1954)	45
5.3.2 Parâmetros estatísticos de Folk e Ward (1957) dos sedimentos da área de estudo.....	47
5.3.2.1 Diâmetro médio.....	47
5.3.2.2 Grau de seleção.....	50
5.3.2.3 Grau de assimetria.....	52
5.3.2.4 Curtose.....	55
5.3.2.5 Distribuição das porcentagens de areia,silte e argila	57
5.3.3 Teores de matéria orgânica.....	57
5.3.4 Teores de Carbonato biodetrítico.....	61
5.4 Material particulado em suspensão.....	63
5.4.1 Distribuição das concentrações de MPS.....	63
5.4.2 Balanço do aporte de MPS na bacia de evolução do Porto de Paranaguá.....	63
5.5 Campos de correntes de maré medidos a um metro acima do fundo estuarino.....	66

5.6 Intensidades de correntes e seu potencial para realizar o transporte dos sedimentos no FEAPP.....	69
6 DISCUSSÃO.....	73
6.1 Morfologia do FEAPP.....	73
6.2 Modificações morfológicas do FEAPP.....	73
6.3 Os sedimentos da superfície do FEAPP.....	74
6.4 Dinâmica sedimentar no FEAPP.....	75
6.5 Identificação dos locais com tendência à erosão ou não erosão/assoreamento no FEAPP.....	76
7 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	81
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83

## AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Rodolfo J. Angulo pelo privilégio de ter sua orientação e pela oportunidade de conhecer sua generosidade humana.

Ao Dr. Eduardo Marone pela competente orientação e disposição para discutir e corrigir inúmeras questões ao longo de todo o trabalho.

Ao muito estimado amigo Prof. Carlos Soares, chefe do LOGEO, a quem devo o privilégio de trabalhar no Centro de Estudos do Mar.

À Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina - APPA pelo suporte financeiro dado a esta pesquisa.

À Dra. Carmen Medeiros e ao Dr. Mauricio Noernberg, membros da banca, pelos questionamentos e ensinamentos trazidos por ocasião da defesa desta dissertação.

À Prof<sup>a</sup>. Déa Carrilho Campos pelo auxílio na revisão do texto deste trabalho.

Aos companheiros de laboratório, Marcelo, Lydio e Alfredo, com quem divido muito trabalho, muito bom papo e muito boas piadas.

Ao Dr Mauricio Camargo pela amizade e pelo desenvolvimento do programa SysGran, um sistema integrado para análises granulométricas que facilitou sobremaneira este e inúmeros trabalhos.

À Dra. Eunice Machado por permitir o uso da estrutura do Laboratório de Oceanografia Química.

Aos demais professores do Centro de Estudos do Mar por sua atenção.

Aos colegas da Física Marinha, Clécio e Georgina pelo agradável convívio.

Ao Joaquim, Rangel, Murillo e Abo pela ajuda no mar.

À Ghuisi, Rafaela Zem, Orestes, Cleber e Nilva pelo processamento laboratorial das amostras.

Aos marinheiros José, Josias e Abraão pela pilotagem das embarcações e auxílio na coleta de sedimentos.

Ao Sr Lima ("Baiano") pelos excelentes serviços xerográficos.

À Mari, Vilma, Elair e Rutinha, pelo suporte administrativo.

À minha família pela paciência e carinho.

A todos que de alguma forma colaboraram para o êxito deste trabalho.

## RESUMO

O presente estudo, denominado DINÂMICA SEDIMENTAR DO FUNDO ESTUARINO ADJACENTE AO PORTO DE PARANAGUÁ, tem como principal objetivo reconhecer aspectos da dinâmica dos sedimentos na baía de Paranaguá, Estado do Paraná. A compreensão dos processos locais de erosão, transporte e deposição pode contribuir para o planejamento de obras portuárias e minimizar o impacto ambiental dessas intervenções. Um modelo detalhado da batimetria da área foi elaborado para descrever suas principais características e compará-las com levantamentos pretéritos, visando observar modificações num período de 39 anos. O mapeamento dos sedimentos da superfície de fundo elaborado a partir de dados coletados em campanhas realizadas entre Maio e Novembro de 2001, revelou que aproximadamente 70% da área é coberta por sedimentos finos ( $<0,062$  mm), sendo que o restante possui médias granulométricas entre areia fina e muito fina. Uma análise espacial foi elaborada em ambiente SIG utilizando-se: 1) as informações das modificações históricas da batimetria; 2) o mapa de diâmetro médio dos sedimentos; 3) as velocidades críticas de correntes de maré (enchente e vazante) calculadas para o limiar de transporte dos sedimentos incoesivos; 4) e as velocidades de cisalhamento medidas num ciclo de maré de sizígia no inverno de 2001. Como resultado dessa análise foram identificados três locais com tendência à erosão e quatro locais com tendência ao assoreamento, nas proximidades e junto ao Porto de Paranaguá. O cálculo do balanço de circulação do material particulado em suspensão, e a comparação batimétrica entre levantamentos recentes (pós e pré dragagens), parecem confirmar os resultados da análise espacial na área defronte ao porto.

## ABSTRACT

This study aims to characterize the sedimentary dynamics of Paranaguá Bay estuary, Paraná State. The knowledge about local sedimentary processes such as erosion, transport and deposition of sediments can contribute for a better planning of Paranaguá Harbor activities as well as decrease environmental impacts. A detailed model of the actual bathymetry was obtained and compared to data from circa 40 years ago. Grain-size analyses indicate that 70% of the area is fine sediment ( $< 0.062$  mm) whereas 30% presents medium fine and very fine sand. A GIS platform was used to integrated: 1) historical changes in bathymetry; 2) distribution of the mean grain-size; 3) threshold velocities of flood and ebb tides calculated for the transport of the non-cohesive sediments; and 4) shear velocities calculated throughout a spring tidal cycle in the winter of year 2001. Those data were applied to perform a spatial analysis in order to verify preferential areas of erosion and shoaling. With the results it was possible to identifies near the Paranaguá Harbor, 3 areas which present a tendency for erosion whereas 4 areas present a tendency for shoaling. A budget of the suspended sediment and a bathymetric comparison between surveys before and after dredging activities seem to support the results of the spatial analysis which was done in a region in front of Paranaguá Harbor.

## ABREVIATURAS

A. P.	Antes do Presente
APA	Área de Proteção Ambiental
APPA	Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina
CEM	Centro de Estudos do Mar
CIEG	Centro Integrado de Estudos em Geoprocessamento
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
FEAPP	Fundo Estuarino Adjacente ao Porto de Paranaguá
LECOST	Laboratório de Estudos Costeiros
LOCC	Laboratório de Oceanografia Costeira e Geoprocessamento
LOGEO	Laboratório de Oceanografia Geológica
MPS	Material Particulado em Suspensão
PROCEs	Laboratório de Processos Costeiros e Estuarinos
UFPR	Universidade Federal do Paraná

## SÍMBOLOS

$u^*$	velocidade de cisalhamento
$\nu$	viscosidade cinemática
$\rho_s$	densidade do sedimento em $\text{g.cm}^{-3}$
$\rho$	densidade do fluido em $\text{g.cm}^{-3}$
$g$	aceleração da gravidade em $\text{cm.s}^{-2}$
$D$	diâmetro médio do sedimento em cm
$(\Xi)$	Parâmetro de <i>Yalin</i>
$U$	velocidade de corrente de maré medida
$\theta$	Critério de <i>Shields</i>
$k$	constante de <i>Von Karmam</i>

## LISTA DE TABELAS

	pg	
TAB. 3.4.2	DEFASAGEM TEMPORAL APROXIMADA PARA PREAMARES E BAIXA-MARES DURANTE MARÉS DE SIZÍGIA E QUADRATURA (CANAL DA GALHETA É A REFERÊNCIA DE TEMPO), TEMPO MÉDIO DE VAZANTE E ENCHENTE DURANTE MARÉS DE SIZÍGIA E MÉDIA DAS ALTURAS EM SIZÍGIA E QUADRATURA EM QUATRO PONTOS DO ESTUÁRIO (MARONE <i>ET AL.</i> , 1997).....	11
TAB. 5.3.2.1	DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES GRANULOMÉTRICAS NO FEAPP.....	48
TAB. 5.3.2.2	VALORES DE DISTRIBUIÇÃO DO GRAU DE SELEÇÃO.....	50
TAB. 5.3.2.3	CLASSES DE ASSIMETRIA E RESPECTIVAS ÁREAS.....	54
TAB. 5.3.2.4	VALORES DE CURTOSE E RESPECTIVAS ÁREAS DE COBERTURA..	55
TAB. 5.3.3	DIMENSÕES DE ÁREAS COM DIFERENTES TEORES DE M.O. ....	57
TAB. 5.3.4	DIMENSÕES DE ÁREAS COM DIFERENTES TEORES DE CaCO <sub>3</sub> .....	61
TAB. 5.4.2A	CARGA TRANSPORTADA POR UNIDADE DE ÁREA NA MARÉ ENCHENTE.....	63
TAB. 5.4.2B	CARGA TRANSPORTADA POR UNIDADE DE ÁREA NA MARÉ VAZANTE.....	63
TAB. 5.4.2C	TRANSPORTE LÍQUIDO DO MPS POR UNIDADE DE ÁREA NAS SEÇÕES A,B E C NA BACIA DE EVOLUÇÃO DO CAIS COMERCIAL DO PORTO DE PARANAGUÁ.....	63
TAB. 5.5	VELOCIDADES DE CORRENTES MEDIDAS NA CAMADA DE UM METRO DE ESPESSURA, UM METRO ACIMA DO FUNDO ESTUARINO.....	66

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	Mapa de localização da área de estudo.....	03
Figura 3.2.1	Imagem LandSat (TM) da região da planície costeira paranaense (centro); Serra do Mar (Oeste); Complexo Estuarino da Baía de Paranaguá (Norte); Baía de Guaratuba (Sul) e Oceano Atlântico (Leste).....	05
Figura 3.2.2	Mapa das barreiras e facies estuarinas do Quaternário da planície costeira paranaense (LESSA et al., 2000).....	07
Figura 3.3	Curva de Variação do nível relativo do mar no litoral paranaense durante o Holoceno (ANGULO&LESSA,1997.....	07
Figura 3.4	Imagem LanSat TM (07.05.2000) da região do Complexo Estuarino da Baía de Paranaguá.....	08
Figura 3.4.1	Média mensal da precipitação total de 29 anos (1961-1990) em Paranaguá. (Fonte: DNM).....	10
Figura 3.4.2	Precipitações anuais na Baía de Paranguá (estação meteorológica de Morretes) entre 1966 e 1995.....	10
Figura 3.4.2.a	Carta de correntes máximas de enchente do Complexo Estuarino de Paranaguá (APPA/CEM, 2000).....	12
Figura 3.4.2.b	Carta de correntes máximas de vazante do Complexo Estuarino de Paranaguá (APPA/CEM, 2000).....	12
Figura 3.4.3	Mapa de classificação textural dos sedimentos de fundo no Estuário da Baía de Paranaguá (BIGARELLA et al., 1978).....	14
Figura 3.4.4	Zonas morfo-sedimentares do Estuário da Baía de Paranaguá segundo LESSA et al. (1998).....	16
Figura 3.4.5.1a	Localização dos perfis transversais e longitudinal do estuário da Baía de Paranaguá (LESSA et al., 1998).....	18
Figura 3.4.5.1b	Perfil longitudinal do estuário da Baía de Paranaguá mostrando o preenchimento do paleovale inciso pelas fácies sedimentares (LESSA et al., 1998).....	19

Figura 3.4.5.1c	Seções transversais H e I com as fácies sedimentares localizadas próximo ao Porto de Paranaguá (LESSA <i>et al.</i> , 1998)	20
Figura 4.3	Localização dos pontos batimétricos dos levantamentos de 1998 e 2001 realizados no FEAPP.....	23
Figura 4.4	Localização dos pontos batimétricos de 1959 na área de estudo..	25
Figura 4.5	Localização dos pontos de coleta de sedimentos do FEAPP.....	27
Figura 4.6.1	Localização dos perfis percorridos com equipamento Acoustic Doppler Profiler no FEAPP.....	29
Figura 4.6.2a	Gráfico de Yalin (1972) mostrando a curva do limiar de movimentação dos grãos. Acima da curva, teoricamente, ocorre o transporte.....	31
Figura 4.6.2b	Gráfico de ajuste logarítmico dos valores da $U^*$ teórica para os sedimentos não coesivos da área de estudo.....	32
Figura 4.7a	Localização das estações de coleta de MPS na área de estudo...	34
Figura 4.7b	Mapa de localização das seções A, B e C sobre o canal principal	36
Figura 4.7c	Velocidades e direções de correntes do perfil "B" obtidas com o equipamento ADP.....	37
Figura 5.1a	Histograma de freqüência de áreas com diferentes profundidades no FEAPP.....	38
Figura 5.1b	Mapa de profundidades e compartimentos do FEAPP.....	39
Figura 5.1c	Mapa de declividades do FEAPP.....	40
Figura 5.2.1a	Modelo digital do FEAPP baseado na carta náutica N <sup>o</sup> 1823 editada em 1959.....	41
Figura 5.2.1b	Modelo digital do FEAPP baseado no levantamento de 1998.....	42
Figura 5.2.1c	Histograma de freqüências de áreas relativas às diferenças de profundidades entre os levantamentos de 1959 e 1998.....	42
Figura 5.2.1d	Mapa de diferenças de profundidades calculadas entre os levantamentos batimétricos realizados em 1959 e 1998 no FEAPP.....	43

Figura 5.2.2	Mapa de diferenças de profundidades calculadas entre os levantamentos batimétricos de fevereiro e de agosto de 2001 na bacia de evolução do cais comercial de Paranaguá.....	44
Figura 5.3.1.1	Sedimentos de fundo do FEAPP segundo a classificação de SHEPARD (1954).....	45
Figura 5.3.1.2	Classes texturais segundo a classificação de SHEPARD (1954) dos sedimentos de fundo do FEAPP.....	46
Figura 5.3.1.3	Histograma de frequência em área das classes texturais dos sedimentos do fundo estuarino das adjacências do Porto de Paranaguá (FEAPP).....	47
Figura 5.3.2.1.1	Histograma de frequência de áreas das classes granulométricas no FEAPP.....	48
Figura 5.3.2.1.2	Mapa de distribuição de diâmetro médio das classes granulométricas no FEAPP.....	49
Figura 5.3.2.2.1	Mapa de distribuição das classes do grau de seleção dos sedimentos no FEAPP.....	51
Figura 5.3.2.2.2	Histograma de frequência de áreas das classes do grau de seleção no FEAPP.....	52
Figura 5.3.2.3.1	Mapa de distribuição das classes do grau de assimetria no FEAPP.....	53
Figura 5.3.2.3.2	Histograma de áreas do grau de assimetria no FEAPP.....	54
Figura 5.3.2.4.1	Mapa de distribuição de valores de curtose no FEAPP.....	56
Figura 5.3.2.4.2	Histograma de frequências de curtose no FEAPP.....	57
Figura 5.3.2.5 a	Mapa de distribuição das porcentagens de silte e areia no FEAPP.....	58
Figura 5.3.2.5 b	Mapa de distribuição das porcentagens de argila no FEAPP.....	59
FIGURA 5.3.3.1	Mapa de distribuição de áreas com diferentes teores de matéria orgânica.....	60

FIGURA 5.3.3.2	Histograma de freqüência de áreas com diferentes teores de matéria orgânica.....	61
FIGURA 5.3.41	Histograma de freqüência de áreas com diferentes teores de Carbonato de Cálcio.....	61
FIGURA 5.3.4.2	Mapa de distribuição de áreas com diferentes teores de Carbonato biodetrítico.....	62
Figura 5.4.1.1	Mapa de distribuição das concentrações de material particulado em suspensão durante a maré enchente (sizígia de inverno em 2001).....	64
Figura 5.4.1.2	Mapa de distribuição das concentrações de material particulado em suspensão durante a maré vazante (sizígia de inverno em 2001).....	65
Figura 5.5.1	Campo de correntes de maré enchente medidas um metro acima do fundo estuarino.....	67
Figura 5.5.2	Campo de correntes de maré vazante medidas um metro acima do fundo estuarino.....	68
Figura 5.6a	Velocidades de cisalhamento necessárias para o limiar de transporte calculadas para os sedimentos não coesivos do FEAPP.....	69
Figura 5.6 b	Velocidades de cisalhamento calculadas a partir das medições realizadas durante a maré enchente.....	70
Figura 5.6 c	Velocidades de cisalhamento calculadas a partir das medições realizadas durante a maré vazante.....	70
Figura 5.6d	loais onde as correntes são potencialmente capazes de realizar transporte por tração durante a maré enchente.....	71
Figura 5.6e	Histograma de áreas onde potencialmente ocorre (vermelho) ou não (azul) o transporte por tração dos sedimentos durante a maré enchente.....	71
Figura 5.6f	loais onde as correntes são potencialmente capazes de realizar transporte por tração durante a maré vazante.....	72

Figura 5.6g	Histograma de áreas onde potencialmente ocorre (vermelho) ou não (azul) o transporte por tração dos sedimentos durante a maré vazante.....	72
Figura 6.3	Correlação entre os sedimentos mapeados em 2001 e as facies sedimentares propostas por LESSA <i>ET AL</i> (1998).....	75
Figura 6.4a	Mapa de polígonos dos locais onde as correntes não são potencialmente capazes de realizar transporte por tração no FEAPP.....	77
Figura 6.4b	Mapa de polígonos dos locais onde as correntes são potencialmente capazes de realizar transporte por tração no FEAPP.....	77
Figura 6.5 a	Mapa de correntes de maré <u>enchente</u> e locais com tendência à erosão e assoreamento no FEAPP.....	79
Figura 6.5 b	Mapa de correntes de maré <u>vazante</u> e locais com tendência à erosão e assoreamento.....	80

## 1 – INTRODUÇÃO

O Complexo Estuarino da Baía de Paranaguá, localizado na costa paranaense, se estende por uma região de grande importância sócio-econômica e ambiental pois ali localiza-se a APA de Guaraqueçaba; o Parque Nacional do Superagui; a Estação Ecológica da Ilha do Mel; a Cidade de Paranaguá e seu porto, o maior exportador de grãos da América Latina.

Obras de ampliação têm sido exigidas para melhorar a qualidade de operação do Porto de Paranaguá e dragagens sistemáticas são necessárias para a manutenção da profundidade dos canais e fundeadouros, garantindo uma navegação segura. Grandes somas de recursos são aplicadas nessas intervenções, no entanto, ainda pouco se sabe sobre os mecanismos locais que concorrem para a recomposição do equilíbrio daquele ambiente, tais como os repetidos assoreamentos nas vias de navegação.

A compreensão dos processos de transporte em estuários e águas costeiras é de vital importância para o manejo desses ambientes. Por essa razão e por sua importância, a área de estudo, denominada “Fundo Estuarino Adjacente ao Porto de Paranaguá” (FEAPP), foi escolhida para o presente trabalho, que tem por objetivo reconhecer aspectos da dinâmica sedimentar do local.

Num ambiente de sistema de informações geográficas (SIG) foi elaborada uma análise espacial da área utilizando-se dados batimétricos, hidrodinâmicos e geológicos. Isto permitiu a identificação de locais com tendência à erosão ou assoreamento devido ao transporte dos sedimentos por tração. Além disso fez-se um balanço do material particulado em suspensão (MPS) que circula no canal principal da área, visando caracterizar sua influência no assoreamento da bacia de evolução do Porto de Paranaguá.

Os resultados obtidos poderão servir como subsídio no planejamento de obras portuárias na área.

## **2 - OBJETIVOS**

### **2.1 - OBJETIVO GERAL**

Este trabalho tem por objetivo reconhecer aspectos da dinâmica sedimentar do fundo estuarino adjacente ao Porto de Paranaguá.

### **2.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Modelagem batimétrica do fundo estuarino;
- b) Identificação de variações morfológicas do fundo estuarino através de comparações batimétricas;
- c) Mapeamento dos parâmetros granulométricos dos sedimentos da superfície do fundo estuarino;
- d) Caracterização da distribuição do material particulado em suspensão;
- e) Balanço do aporte de material particulado em suspensão na bacia de evolução do Porto de Paranaguá
- f) Caracterização dos campos de correntes de maré enchente e vazante que atuam próximas ao fundo estuarino;
- g) Avaliação do potencial das correntes para realizar transporte por tração.

### **2.3 – RESULTADOS ESPERADOS**

A integração dos objetivos acima propostos possibilitará conhecer os efeitos da dinâmica local, tais como as tendências de assoreamento ou erosão na área investigada. Essas informações poderão servir como subsídio para o planejamento de obras e operações portuárias.

### 3 - CARACTERIZAÇÃO GERAL

#### 3.1 – LOCALIZAÇÃO

A área de estudo, denominada “fundo estuarino adjacente ao porto de Paranaguá” (FEAPP), possui uma superfície de aproximadamente 35 Km<sup>2</sup>. Localiza-se no Complexo Estuarino da Baía de Paranaguá - PR, entre as latitudes 25<sup>o</sup> 27' e 25<sup>o</sup> 30' Sul e longitudes 48<sup>o</sup> 29' e 48<sup>o</sup> 34' Oeste. Limita-se a Norte pelo Saco da Boquera e a praia da Vila Amparo e a Sul desde a Ponta da Cruz, passando pelo cais acostado do Porto de Paranaguá, até o mangue da desembocadura do rio Emboguaçu (Fig. 3.1).

#### 3.2 - A PLANÍCIE COSTEIRA NO ESTADO DO PARANÁ

A planície costeira paranaense (Fig. 3.2.1) constitui uma das cinco “zonas de paisagem natural” ou “regiões geográficas naturais” propostas por MAAK (1968) como compartimentos geomorfológicos que compõem o Estado do Paraná, ou sejam, o Litoral, os três planaltos paranaenses e a Serra do Mar. Possui em torno de 55 Km de largura na latitude da Cidade de Paranaguá, e 90 km de extensão de litoral atlântico onde predominam longos arcos praias (Fig. 3.2.1).

No mesmo trabalho MAAK dividiu a região “Litoral” em duas subzonas: “planícies litorâneas” e “montanhosa litorânea”. BIGARELLA *et al.* (1978) consideraram a subzona montanhosa litorânea como níveis escalonados de elevações mais baixos pertencentes ao conjunto montanhoso da Serra do Mar, cuja proposição foi adotada por ANGULO (1992).

A planície é constituída principalmente por dois sistemas de terraços marinhos costeiros formados durante os períodos de grande flutuação do nível relativo do mar, que ocorreram no Pleistoceno superior e no Holoceno. Em quase toda a sua extensão, os terraços possuem altitudes inferiores a 10 m, entretanto, em suas porções mais interiores, chegam a atingir até 20 m (BIGARELLA, *op cit.*).

Vários morros formados por rochas do embasamento cristalino se destacam no relevo, alcançando dezenas e até centenas de metros de altitude.

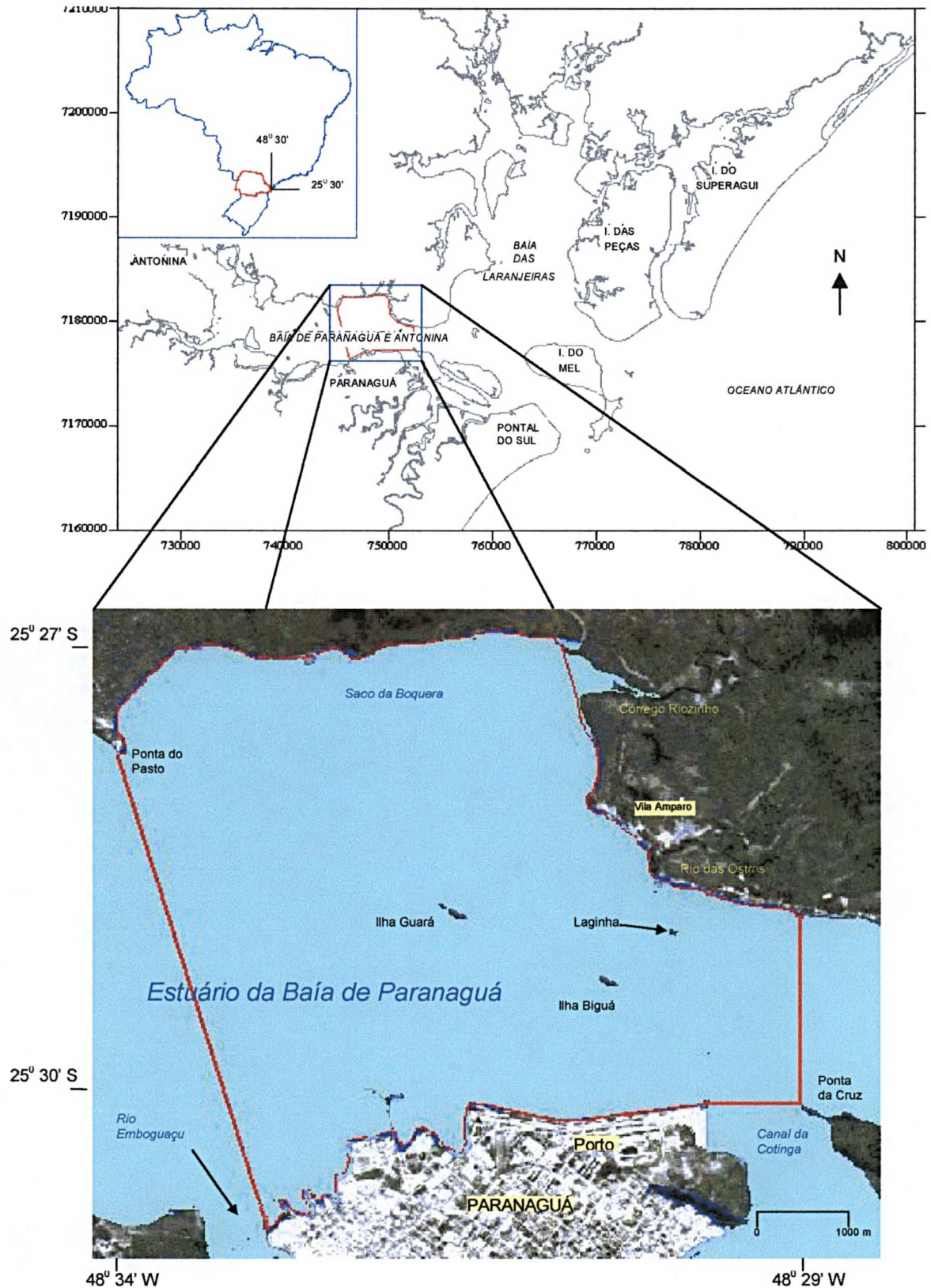


Figura 3.1 – Mapa de localização da área de estudo no Complexo Estuarino da Baía de Paranaguá.

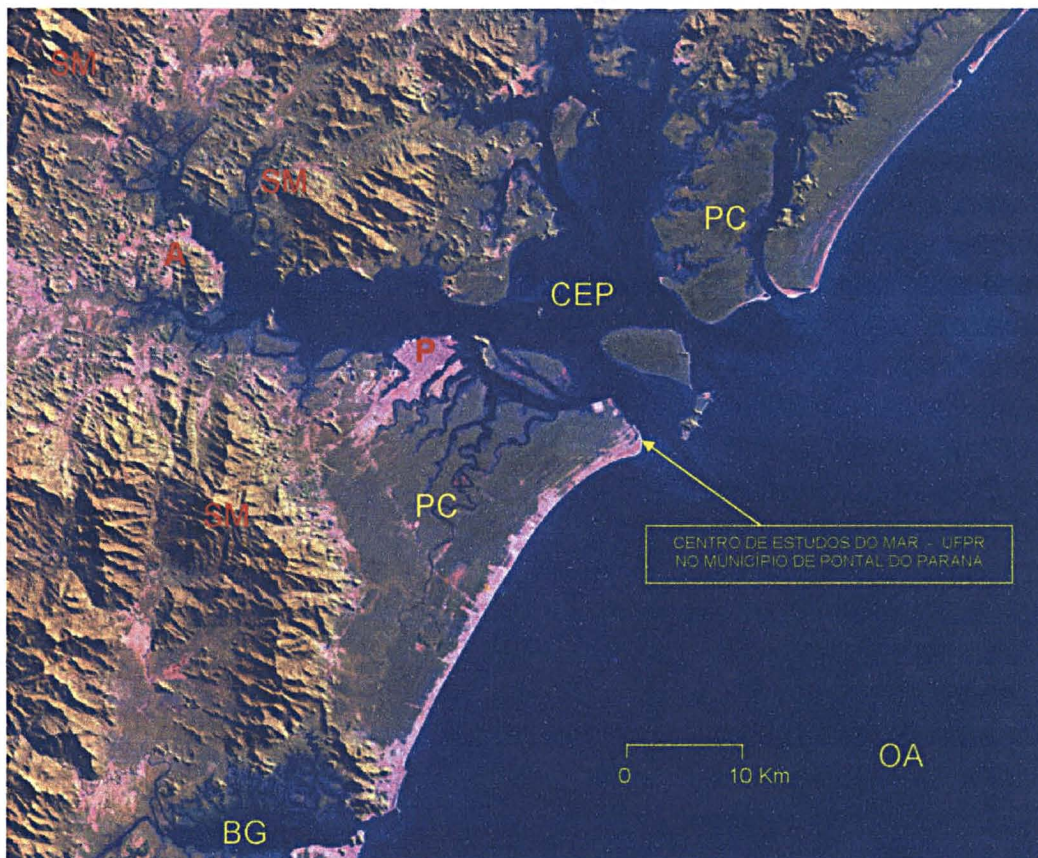


Figura 3.2.1 – Imagem *LandSat* ETM+ (7 de maio de 2000) da região da planície costeira paranaense (PC); Serra do Mar (SM); Complexo Estuarino da Baía de Paranaguá (CEP); Cidade de Paranaguá (P); Cidade de Antonina (A); Baía de Guaratuba (BG) e Oceano Atlântico (OA) (processamento: Dr. MAURICIO NOERNBERG do Grupo de Física Marinha do CEM-UFPR).

O estuário da baía de Paranaguá, baía das Laranjeiras, baía dos Pinheiros e baía de Guaratuba recortaram a planície dando origem a numerosas ilhas, algumas delas de grande extensão como a Ilha do Mel, das Peças, Rasa, da Cotinha e Rasa da Cotinha (ANGULO, 1992).

Os mapeamentos geológicos da planície iniciaram-se com os trabalhos de BIGARELLA *et al.* (1946; 1957; 1963), seguidos de RIVEREAU *et al.* (1968; 1969a, b, c, d; 1970), MARTIN *et al.* (1988b), MINEROPAR (1989), culminando com o mapeamento realizado por ANGULO (1992), intitulado “Geologia da Planície Costeira do Estado do Paraná”, onde o autor definiu unidades de mapeamento de acordo com as facies sedimentares, considerando também os ambientes de sedimentação e a cronologia.

Segundo o mapeamento realizado pela MINEROPAR (1989), a planície está localizada no bloco costeiro do escudo paranaense, cujos principais tipos litológicos presentes na área são: a) metamórficas de alto grau e granitóides pré-Cambrianos; b) granitos alcalinos e subalcalinos do Cambriano (Batólito Marumby e Graciosa); c) vulcanitos e rochas sedimentares da Formação Guaratubinha (Cambriano); d) rochas intrusivas básicas e intermediárias mesozóicas, na forma de diques; e) sedimentos cenozóicos. Dentre as rochas pré-Cambrianas com maior expressão em área destaca-se o Batólito Granítico Paranaguá, descrito por BASEI *et al.* (1990). A cobertura cenozóica se estende por quase a totalidade da superfície da planície, formando depósitos de sedimentos continentais e costeiros. Os sedimentos continentais estão representados por cones e leques aluviais; talus e colúvios; e sedimentos fluviais em geral. Os tipos costeiros são principalmente de cordões litorâneos de planície costeira; de praias e dunas frontais; e sedimentos estuarinos (ANGULO, 1992).

LESSA & ANGULO (1995); ANGULO *et al.* (1999); LESSA *et al.* (2000), utilizando dados de mapeamento e de sondagens, propuseram como modelo evolutivo para a planície costeira paranaense dois sistemas barreira/laguna, controlados pelas duas últimas grandes transgressões interglaciais do Quaternário (Transgressão Cananéia a 120.000 anos A.P., e Transgressão Santos a 5.100 anos A.P.), identificando as seguintes unidades: barreira holocênica transgressiva; barreira holocênica regressiva; estuário holocênico; canal estuarino holocênico; sedimentos continentais cenozóicos; estuário pleistocênico e barreira pleistocênica (Fig. 3.2.2).

Os principais lineamentos tectônicos presentes na planície têm direção NE-SW e N-S sobre as rochas pré-Cambrianas (FUCK *et al.*, 1969) e direção NW no enxame de diques do Arco de Ponta Gossa (Stanford & Lange, 1960). Recentemente MANCINI *et al.* (1999) descreveram padrões de fraturamentos (NE e NW) nas piçarras dos depósitos costeiros quaternários, aos quais atribuíram uma provável dissipação de esforços atuais controlados por antigas zonas de fraqueza crustal.

Em relação ao Sistema *Rift* do Leste Brasileiro (CHANG *et al.*, 1992), o litoral do Paraná se localiza na borda de uma bacia de margem continental denominada Bacia de Santos.

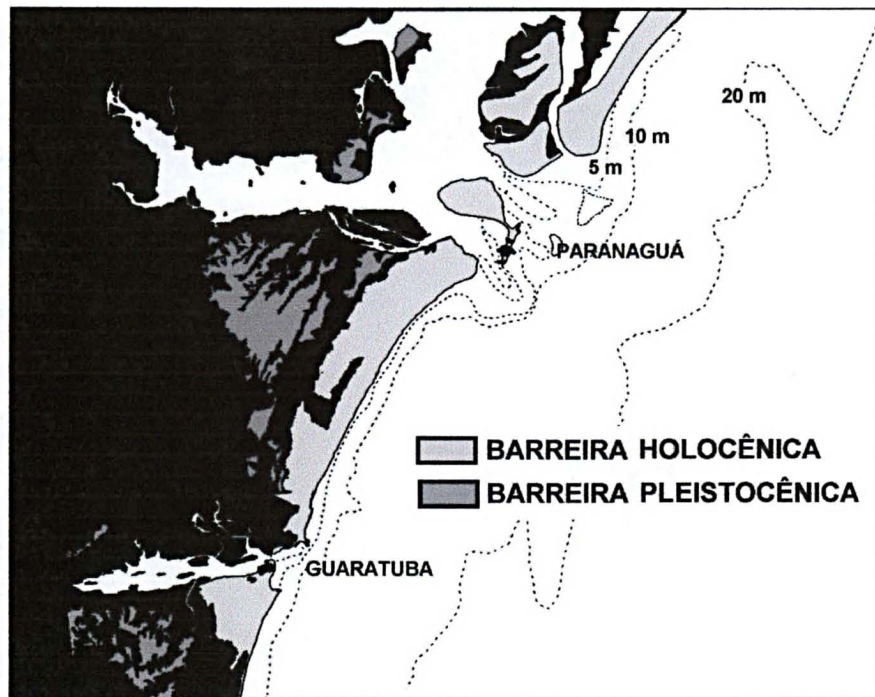


Figura 3.2.2 – Mapa esquemático das barreiras do Quaternário da planície costeira paranaense (LESSA *et al.*, 2000).

### 3.3 – VARIAÇÕES RELATIVAS DO NÍVEL DO MAR DURANTE O QUATERNÁRIO

No litoral paranaense as flutuações do nível relativo do mar (NM) durante o Quaternário foram avaliadas por BIGARELLA (1946, 1971), MARTIN *et al.* (1988), ANGULO (1992), ANGULO & SUGUIO (1995) e ANGULO & LESSA (1997) (Fig. 3.3).

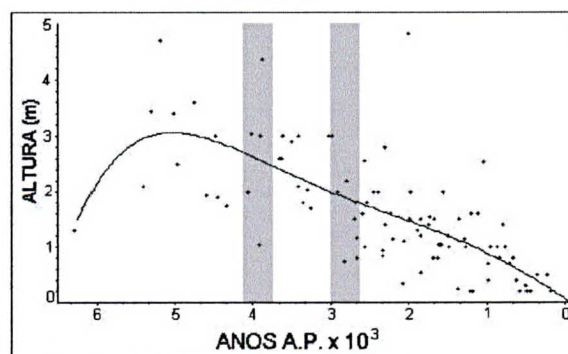


Figura 3.3 – Curva de Variação do nível relativo do mar no litoral paranaense durante o Holoceno (ANGULO & LESSA, 1997)

Duas elevações máximas do nível do mar ocorreram a aproximadamente 120.000 anos A.P. (antes do presente) e a 5100 anos A.P., atingindo + 8 metros ( $\pm 2$  m) e + 3,5 metros ( $\pm 0,5$  m), respectivamente. Foram denominadas por SUGUIO & MARTIN (1978) de transgressão Cananéia e transgressão Santos. Segundo SUGUIO et al. (1985) e ANGULO & LESSA (1997) entre o Holoceno médio e Holoceno tardio, a cerca de 6500 anos A.P., o nível do mar se elevou ultrapassando o nível atual. A partir de 5100 A.P. (máximo nível do mar do pós-glacial holocênico) a curva do nível relativo do mar decaiu continuamente até o presente (ANGULO & LESSA, 1997).

#### 3.4 - O COMPLEXO ESTUARINO DA BAÍA DE PARANAGUÁ

A Baía de Paranaguá, com uma área de aproximadamente 612 Km<sup>2</sup> e volume aquoso de  $2 \times 10^9$  m<sup>3</sup> (KNOPPERS *et al.*, 1987), é um complexo formado por dois sistemas estuarinos principais: a Baía das Laranjeiras, disposta num eixo Norte/Sul, e a baía de Antonina e Paranaguá propriamente dita, orientadas na direção Leste/Oeste (ANGULO, 1992) (Fig.3.4).



Figura 3.4 – Imagem *LandSat* ETM+ (7 de maio de 2000) da região do Complexo Estuarino da Baía de Paranaguá (processamento: Dr. MAURICIO NOERNBERG do Grupo de Física Marinha do CEM-UFPR).

O eixo Leste/Oeste, conhecido como estuário da baía de Paranaguá, possui uma área de aproximadamente 258,4 Km<sup>2</sup> e volume aquoso de 1,4 x 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> (KNOPPERS et al., 1987).

#### 3.4.1 – Clima e hidrografia

O clima da região depende do deslocamento do anti-ciclone do Atlântico Sul e da passagem de massa polares no inverno. É do tipo Cfa, na classificação de Köppen, isto é, clima pluvial temperado (C); sempre úmido e com chuvas todos os meses (f) (Fig. 3.4.1) ; e com temperatura média do mês mais quente acima de 22<sup>o</sup> C (a).

Como médias anuais apresenta temperaturas de 21<sup>o</sup> C, 1900 mm de precipitação (Fig. 3.4.2) e humidade relativa do ar em torno de 85 %. A estação chuvosa tem início no final da primavera, perdurando por quase todo o verão, enquanto que a estação seca começa no fim do outono até atingir o fim do inverno (LANA et al., 2001).

São muito freqüentes os ventos dos quadrantes ENE, E, ESE e SE, com intensidade média de 4 ms<sup>-1</sup>, podendo ultrapassar 25 ms<sup>-1</sup> durante as tempestades vindas de sudeste (FUNPAR, 1977).

As bacias de drenagem litorâneas possuem um elevado potencial erosivo devido ao acentuado declive entre a Serra do Mar e a planície costeira (ANGULO, 1992; OKA-FIORI & CANALI, 1998).

Segundo MANTOVANELLI (1999), o Complexo estuarino recebe a drenagem de aproximadamente 70 % da área da bacia hidrográfica litorânea do Estado do Paraná. Desse total, 54 % drena para o Estuário da Baía de Paranaguá.

O rio Cachoeira apresenta-se como a maior fonte de água doce e material particulado em suspensão (MPS) para a Baía de Paranaguá e Antonina. No estudo realizado por MANTOVANELLI (1999) em 1997 e 1998, o rio Cachoeira e rio Nhundiaquara somaram 82 % da carga total de MPS. Nesse período a vazão média foi de 182 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> no verão e 41 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> no inverno, e uma carga de 355 ton/dia de MPS no verão e 88 ton/dia no inverno.

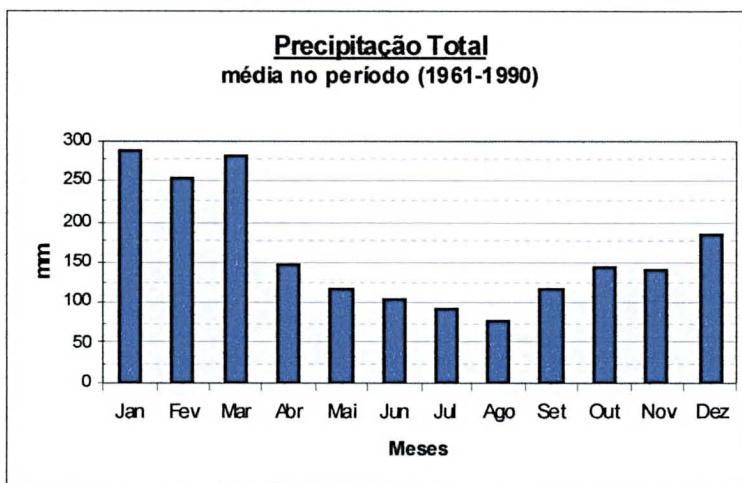


Figura – 3.4.1 - Média mensal da precipitação total de 29 anos (1961-1990) em Paranaguá. (Fonte: Divisão Nacional de Meteorologia)

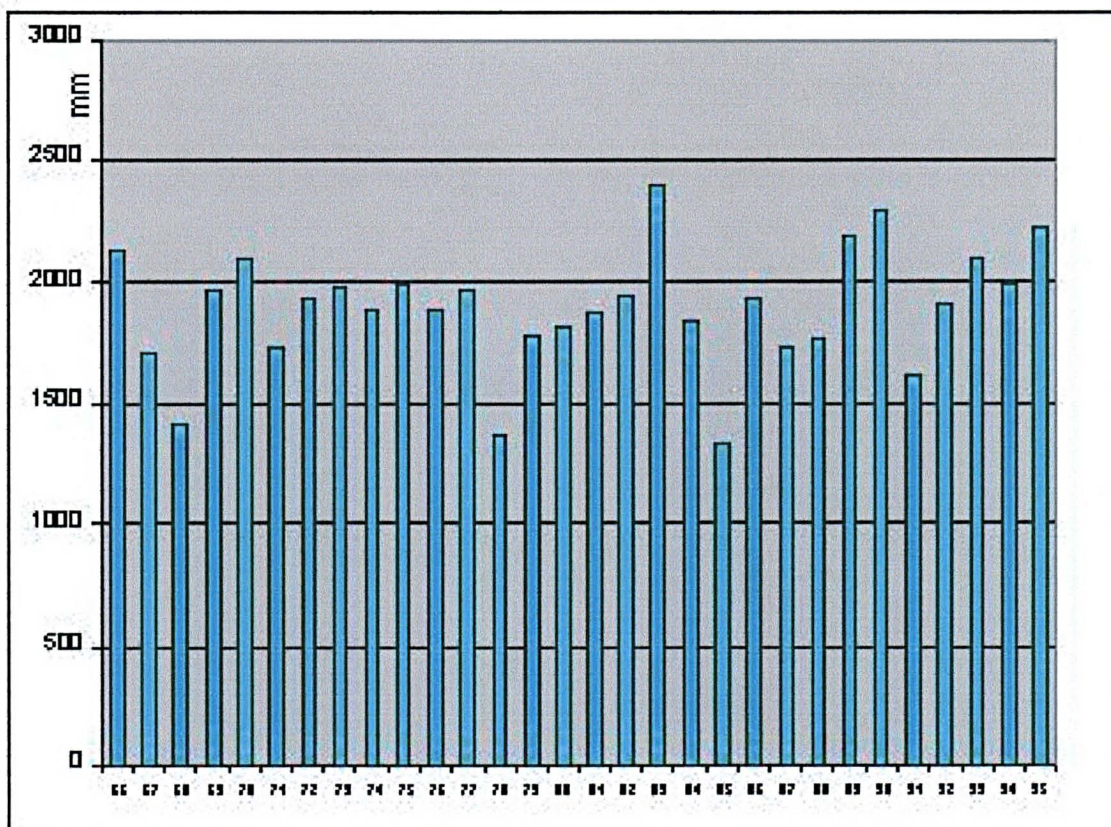


Figura 3.4.2 – Precipitações anuais na Baía de Paranguá (estação meteorológica de Morretes - SIMEPAR) entre 1966 e 1995.

### 3.4.2 – Marés e correntes de marés

Segundo MARONE & JAMAIYANAA (1997) no Complexo Estuarino de Paranaguá predomina o regime de micromarés.

A maré no eixo Leste/Oeste é semidiurna com desigualdades diurnas ao longo de todo o estuário, apresentando no entanto uma amplificação especialmente durante as marés de sizígia. Nestes períodos a altura da maré aumenta de 1,7 m, na entrada do estuário, para 2,7 m em Antonina. Durante as marés de quadratura a altura de maré é cerca de 80% daquela em sizígia, e fortes interações não lineares entre as componentes de maré promovem o aparecimento de até 6 preamares e baixa-mares, no período de 1 dia (MARONE & CAMARGO 1994). A maré sofre ainda um aumento do grau de assimetria para montante, caracterizado por longos períodos de enchente e curtos períodos de vazante. A defasagem temporal entre preamares dentro do estuário chega a alcançar 1,5 horas entre Antonina e Ilha da Galheta.

Tabela 3 - Defasagem temporal aproximada para preamares e baixa-mares durante marés de sizígia e quadratura (canal da Galheta é a referência de tempo), tempo médio de vazante e enchente durante marés de sizígia e média das alturas em sizígia e quadratura em quatro pontos do estuário (MARONE *et al.*, 1997).

Local	Defasagem sizígia (min.)		Defasagem quad.(min.)		Tempo (horas) Enchente	Tempo (horas) Vazante	Altura (m)	
	alta	baixa	alta	baixa			Sizígia	Quadratura
Galheta	-	-	-	-	6,8	5,5	1,74	1,30
Cobras	69	55	91	75	-----	-----	2,07	1,68
Paranaguá	88	68	106	93	7,5	4,8	2,09	1,70
Antonina	100	110	132	151	8,1	4,2	2,74	2,02

Através da realização de fundeios e perfilagens principalmente na frente do Porto de Paranaguá, nas proximidades do Porto de Antonina e no setor externo do Canal da Galheta, o Laboratório de Física Marinha (LFM) do Centro de Estudos do Mar produziu nos últimos anos cartas de correntes do Complexo Estuarino de Paranaguá (APPA/CEM, 2000). As dimensões menores dos vetores de correntes de

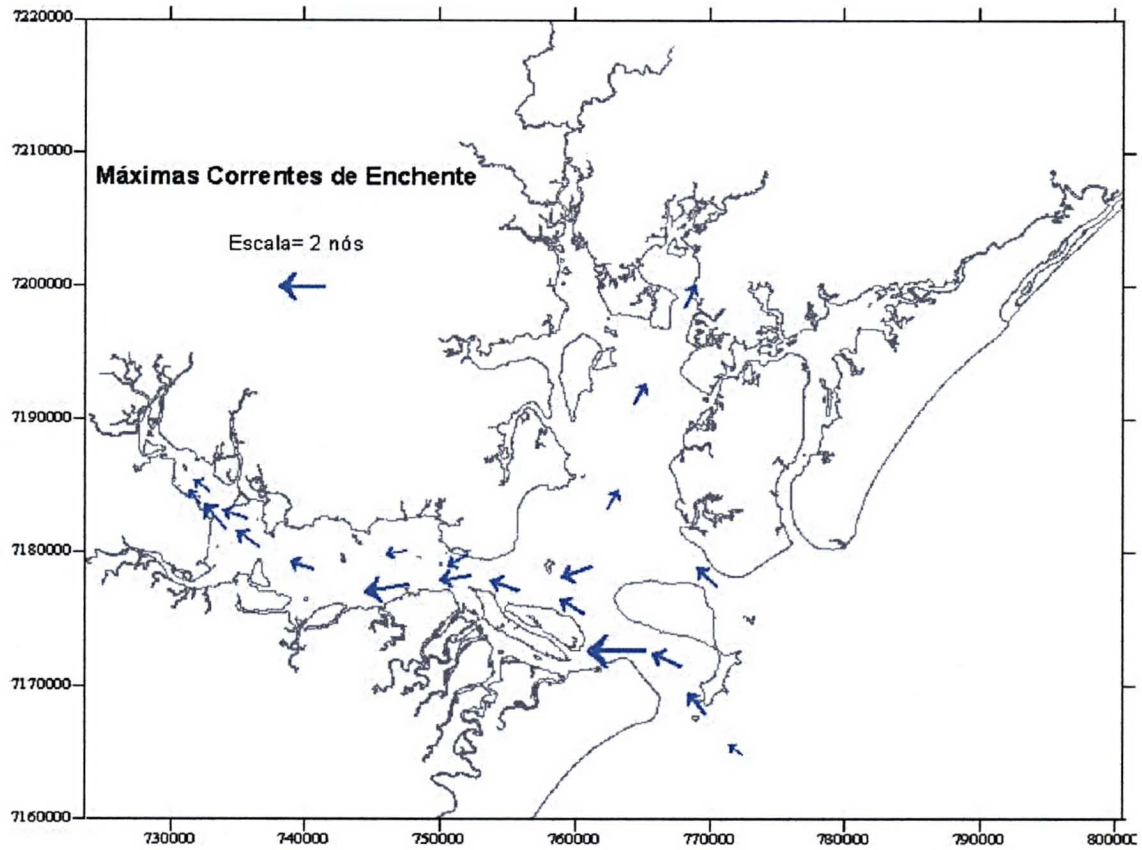


Figura 3.4.2.a – Carta de correntes máximas de enchente do Complexo Estuarino de Paranaguá (APPA/CEM, 2000)

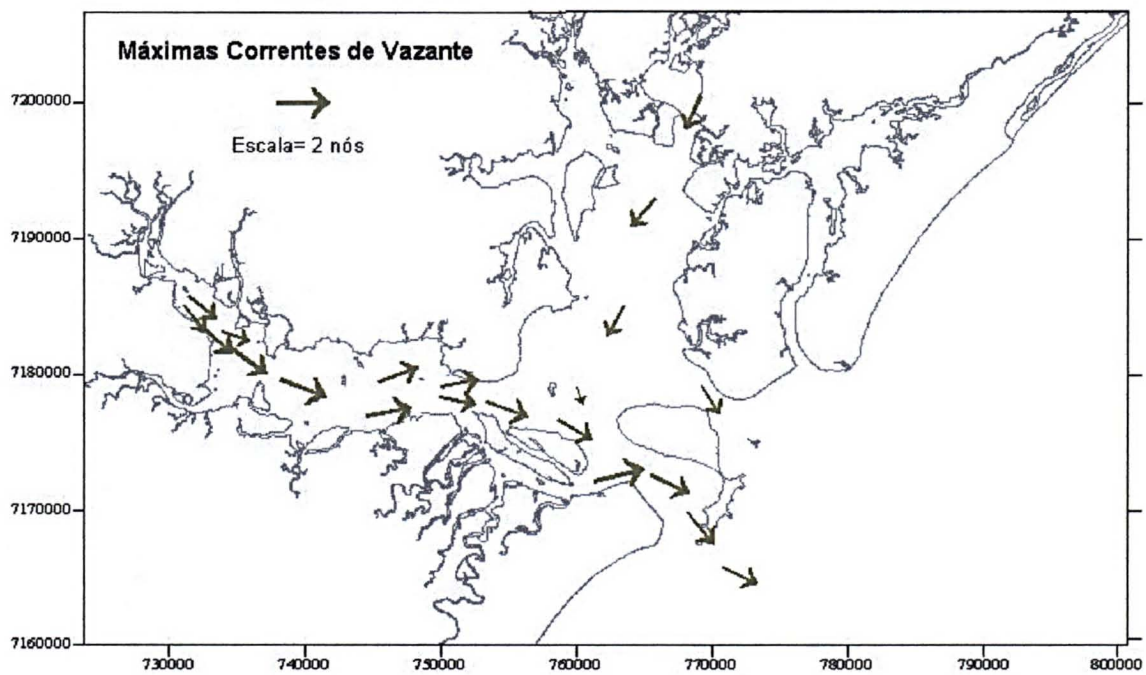


Figura 3.4.2.b – Carta de correntes máximas de vazante do Complexo Estuarino de Paranaguá (APPA/CEM, 2000).

enchente em relação aos de vazante evidenciam a assimetria de maré que ocorre no Complexo Estuarino de Paranaguá (Fig. 3.4.2.a e 3.4.2.b).

### 3.4.3 – Sedimentos de fundo da Baía de Paranaguá

BIGARELLA *et al.* (1970; 1978) analisaram e descreveram 429 amostras de sedimentos de fundo, mapeando o estuário da Baía de Paranaguá. Segundo os autores, os sedimentos da baía consistem de uma mistura de material detrítico terrígeno, com material biogênico produzido dentro do ambiente de deposição. Entre os primeiros encontram-se os produtos derivados da erosão, sedimentos da Formação Alexandra (BIGARELLA *et al.*, 1959) e dos feixes de restinga (cordões). A distribuição das médias granulométricas analisadas revelou que, a jusante de Paranaguá, predominam areia fina a muito fina, bem selecionada, sendo que o diâmetro médio e o grau de seleção tendem a diminuir em direção ao interior do estuário (Fig. 3.4.3).

Ao descrever a natureza dos sedimentos das baías das Laranjeiras e Guaraqueçaba, SOARES (1990) destacou diferenças entre este sistema estuarino e o Estuário da Baía Paranaguá, no que se refere a sua dinâmica e área fonte de sedimentos. Observou também, na Baía das Laranjeiras, três compartimentos distintos quanto aos sedimentos que, de Sul para Norte, decresciam em granulometria e nos teores de carbonato e matéria orgânica.

No projeto “Estudos Ambientais em Áreas Oceânicas e Costeiras no Sul do Brasil” elaborado pelo Centro de Estudos do Mar e a Petrobras, realizou-se um novo levantamento dos sedimentos de fundo do Estuário da Baía de Paranaguá, onde foram analisadas 353 amostras.

SOARES *et al.* (1996; 1997) e ODRESKI *et al.* (2001) verificaram importantes mudanças ocorridas na distribuição dos sedimentos da superfície de fundo, comparando os levantamentos realizados por BIGARELLA em 1966 e PETROBRAS, em 1995. Segundo esses autores houve um aumento generalizado do diâmetro médio da distribuição dos sedimentos, além do melhoramento do grau de seleção. Atribuíram a essas mudanças as atividades de dragagens e desmatamentos ocorridos ao longo de 30 anos, e também à construção da usina hidroelétrica que ligou as bacias hidrográficas dos rios Capivari e Cachoeira, introduzindo neste último um aporte de sedimentos provindos do planalto.

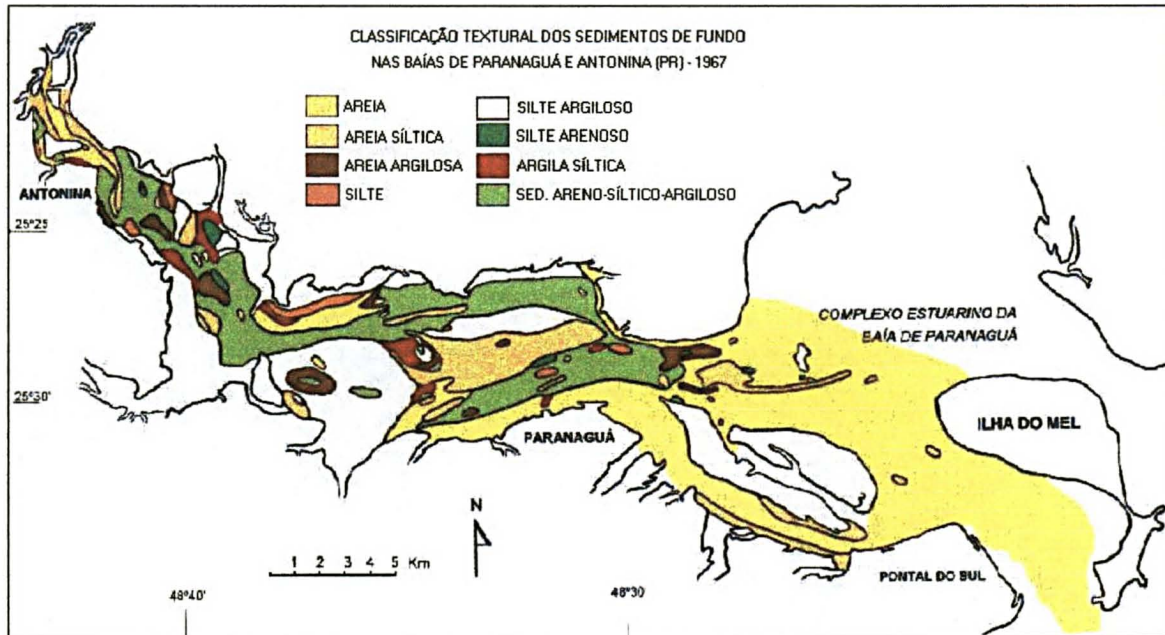


Figura 3.4.3 – Mapa de classificação textural dos sedimentos de fundo no Estuário da Baía de Paranaguá (BIGARELLA *et al.*, 1978)

LAMOUR (2000) e ARAÚJO (2001) mapearam detalhadamente os sedimentos de fundo do Canal da Galheta e do Saco do Limoeiro, respectivamente, em estudos da dinâmica sedimentar e da evolução paleogeográfica daquelas áreas do estuário.

Num estudo comparativo de batimetrias dos anos de 1901 e 1979, entre a ilha do Teixeira e Antonina, ODRESKI (2002) constatou que as áreas assoreadas coincidiam em grande parte com as áreas que apresentavam aumento do diâmetro médio granulométrico. No mesmo estudo ODRESKI calculou uma taxa de assoreamento da ordem de 2,6 cm/ano, que representaria um preenchimento de 2,1 m do estuário nos últimos 78 anos.

A partir de datações de sedimentos de planície de maré, SOUZA *et al.* (2001) estimaram que o Estuário de Paranaguá estaria sofrendo assoreamento a uma taxa de 1,22 cm/ano.

#### 3.4.4 – Características Morfo-sedimentares do Estuário da Baía de Paranaguá

Elevações relativas do nível do mar, seguidas de duas regressões forçadas, deram origem a duas regiões geomorfológicas sobre a planície costeira. Uma zona superior, a Oeste de Paranaguá, que constitui o atual paleovale afogado, e a zona

inferior, a Leste de Paranaguá, que é caracterizada pela extensa planície de cordões litorâneos (ANGULO, 1992; LESSA & ANGULO, 1995; LESSA *et al.*, 2000). A Ilha do Mel, localizada na boca da baía, é parte da fragmentação da planície costeira e, junto com os deltas de maré vazante, protegem a parte interna da baía da ação de ondas de alta energia.

Ao observarem as características morfológicas e sedimentares do Estuário da Baía de Paranaguá, LESSA *et al.* (1998) o dividiram em três compartimentos (Fig. 3.3.4), similares aos encontrados em outros estuários de barreira ou de planície costeira (DALRYMPLE *et al.*, 1992; NICHOLS *et al.*, 1991; 1994; ALLEN & POSAMENTIER, 1993). Os compartimentos são:

a. Zona de meandros;

Compreende uma área estreita e alongada dos 5 Km iniciais a montante no estuário, com canais rasos (< 4m) sob forte influência fluvial. Seus sedimentos de fundo são em geral compostos de areia fina a média, pobremente selecionada, com menos de 40 % de conteúdo de finos e apresentando freqüentemente frações granulométricas maiores que 2 mm. Várias ilhas vegetadas (rasas) aparecem no limite jusante desta zona, próximo a desembocadura de pequenos rios, e provavelmente representam um delta fluvial.

b. Funil do estuário;

É a maior seção do estuário, estendendo-se de Paranaguá a Antonina. Suas profundidades naturais máximas estão em torno de 15 m em frente à Paranaguá, mas geralmente variam entre 10 m e 4 m, decrescendo para montante.

Predominam no funil do estuário sedimentos lamosos, com menos de 50 % de areia (BIGARELLA *et al.*, 1978). Esta seção consiste de um paleovale afogado, margeado por extensas planícies de maré e manguesais. A área de planícies de maré é circundada por rampas de baixa inclinação de depósitos continentais e abruptas elevações de encostas cobertas por colúvios. Rochas cristalinas afloram dentro do estuário e ao longo de suas margens. A zona de funil do estuário se estreita gradativamente para montante onde, nas proximidades de Antonina, aparecem barras de maré formadas por lama escura

com conteúdos variáveis de bivalves e gastrópodes. Estas barras representam um delta de cabeceira de baía, típico de ambientes dominados por maré (LESSA *et al.*, 1998.).

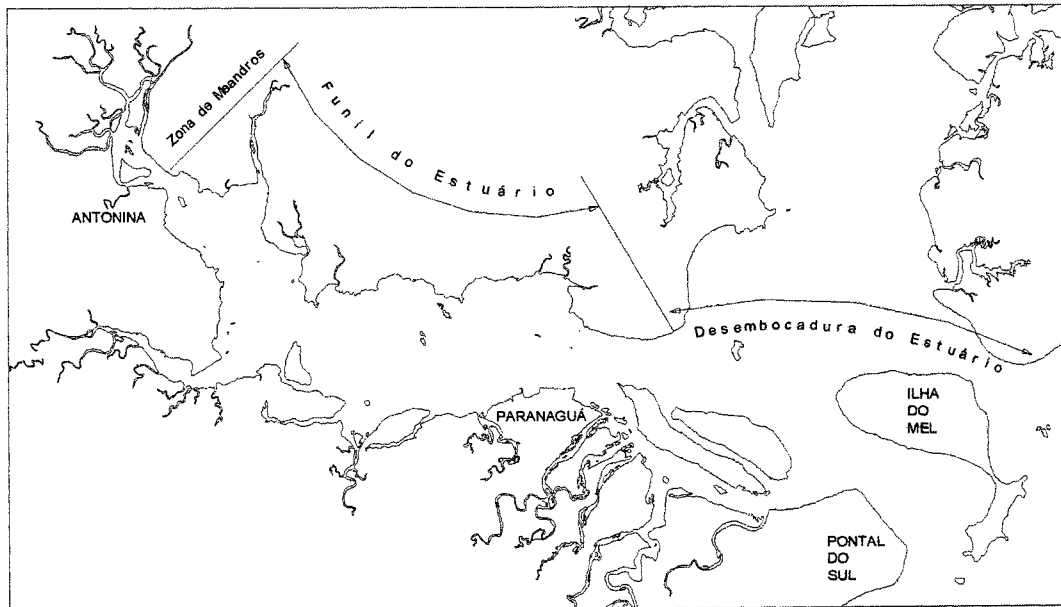


Figura 3.4.4 – Zonas morfo-sedimentares do Estuário da Baía de Paranaguá segundo LESSA *et al.* (1998)

c. Desembocadura do estuário;

Esta zona está localizada na parte baixa do estuário e circundada pela planície de cordões litorâneos. Lá o canal principal apresenta profundidades predominantemente superiores a 10 m e os sedimentos da superfície de fundo são caracterizados por areia fina a muito fina, bem selecionada e conteúdo de finos variando de zero % (a Leste) a 40 % ( a Oeste) (BIGARELLA *et al.*, 1978.). A Ilha Rasa e Rasa da Cotinga, duas grandes ilhas da boca de baía, são formadas em grande parte por áreas de baixio estuarino emerso e extensivamente cobertas por fósseis de *Anomalocardia brasiliiana* (ANGULO, 1992). Amostras dessas conchas retiradas da superfície de depósitos na ilha Rasa foram datadas para  $3480 \pm 70$  anos A. P. (antes do presente), indicando um paleonível marinho no mínimo a 0,9 m acima do nível presente (ANGULO, *op.cit.*).

### 3.4.5 – ESTRATIGRAFIA DO EIXO LESTE/OESTE DO ESTUÁRIO DA BAÍA DE PARANAGUÁ

Vários estudos têm sido empreendidos na geologia de superfície do estuário da Baía de Paranaguá e da planície costeira circunvizinha, porém poucas pesquisas se direcionaram à investigação das unidades sedimentares subjacentes. BIGARELLA *et al.* (1978) foram dos poucos autores que pesquisaram a geologia de subsuperfície nesse estuário, publicando os registros de oito testemunhos de *jet-probe* de uma área próxima ao porto de Paranaguá. LESSA *et al.* (1998) reuniram informações geológicas e oceanográficas referentes ao estuário da Baía de Paranaguá, tais como: descrição de testemunhos; dados de amostras de sedimentos da superfície do fundo; levantamentos sísmicos e batimétricos. A partir destes dados apresentaram uma análise das fácies sedimentares observadas, interpretando-as de acordo com os conceitos de estratigrafia de seqüências e de modelos de fácies (VAN WAGONER *et al.* 1988), comparando-as com a arquitetura de sucessões de outros estuários de barreira.

#### 3.4.5.1 – Fácies sedimentares

LESSA *et al.* (1998) identificaram cinco fácies sedimentares preenchendo o paleo vale inciso do estuário da Baía de Paranaguá. Essas fácies foram representadas em seções transversais e longitudinal ao estuário (Fig. 3.4.5.1a e Fig.3.4.5.1b). As fácies são as seguintes:

##### FÁCIES 1 – Depósitos fluviais e continentais pré-Holocênicos:

Esta fácies está presente na maior parte do estuário e constitui o substrato para os sedimentos mais recentes. Esta fácies parece preencher o paleo vale entalhado no leito rochoso nas seções H e I com uma espessura superior a 20 metros (Fig.3.4.5.1c.).

Os depósitos fluviais e continentais pré-Holocênicos foram identificados por BIGARELLA *et al.* (1978) como sendo a Formação Alexandra, e o retrabalhamento de seu material. Afloramentos dessa formação no entorno da Baía de Paranaguá foram atribuídos ao Mioceno através da análise de dados paleontológicos. Compreendem uma sucessão de areias arcozeanas, camadas de lama e, secundariamente, cascalhos

(ANGULO, 1995). Sua cor varia entre o verde acinzentado e laranja. Esta Formação tem sido interpretada como depósitos de fluxo de detritos (*debris flow*) (ANGULO, *op.cit.*).

Os sedimentos retrabalhados da Formação Alexandra, diferenciados pela menor quantidade de silte e argila, podem ser correlacionados com depósitos de leques aluviais de idade Plio-Pleistocênica que se distribuem próximos às montanhas que limitam a planície costeira (ANGULO, 1995).

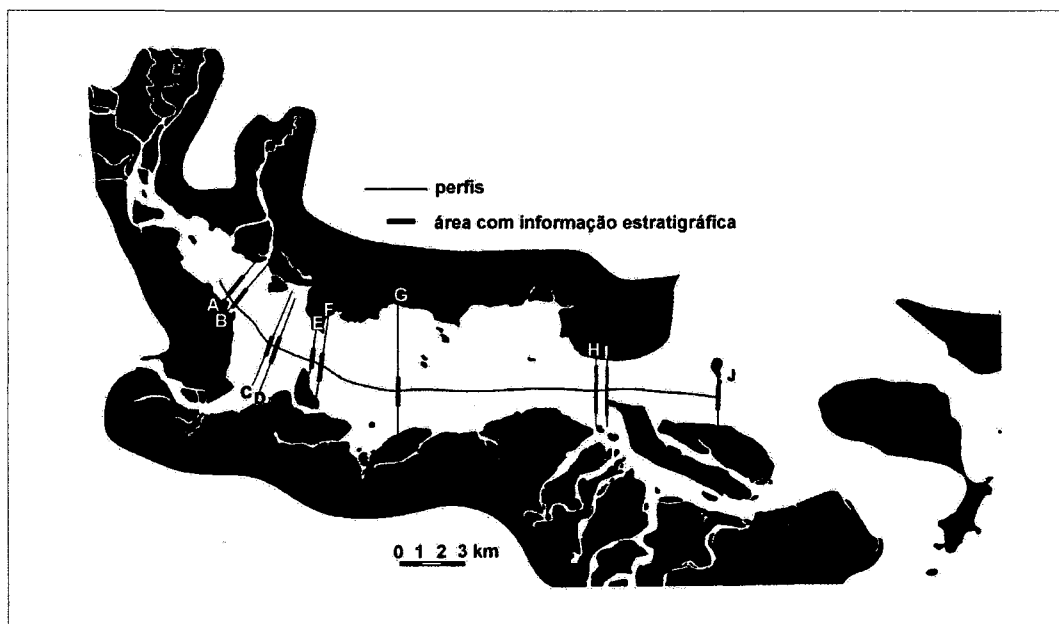


Figura 3.4.5.1a – Localização dos perfis transversais e longitudinal do estuário da Baía de Paranaguá (LESSA *et al.*, 1998)

#### Fácies 2 - Lama transgressiva

Esta fácies é caracterizada por uma lama cinza escura com alto conteúdo orgânico. É composta por mais de 80 % de finos (< 0,062 mm) com pequenas quantidades de areia fina e fragmentos de conchas. A fácies 2 é geralmente encontrada subjacente à fácies 3 (areia transgressiva), e sobrepondo-se à Fácies 1 ou localmente ao leito rochoso do estuário (Fig. 3.4.5.1b). Segundo LESSA *et al.* (1998) não há indicação da presença desta lama transgressiva a oeste de Paranaguá. Esta ausência

pode ser relacionada à erosão causada pelo intenso ravinamento da maré devido a forte velocidade do fluxo em seções estreitas do estuário e, possivelmente, estar associada ao adelgaçamento do depósito devido ao pequeno espaço de acomodação. A fácies 2 aumenta de espessura em direção ao mar alcançando aproximadamente 20 m a leste da Ilha das Cobras. Esta unidade é provavelmente relacionada com os depósitos de lama orgânica, de idade holocênica, encontrados num nível inferior dos depósitos da barreira que circundam o estuário (LESSA & ANGULO, 1995).

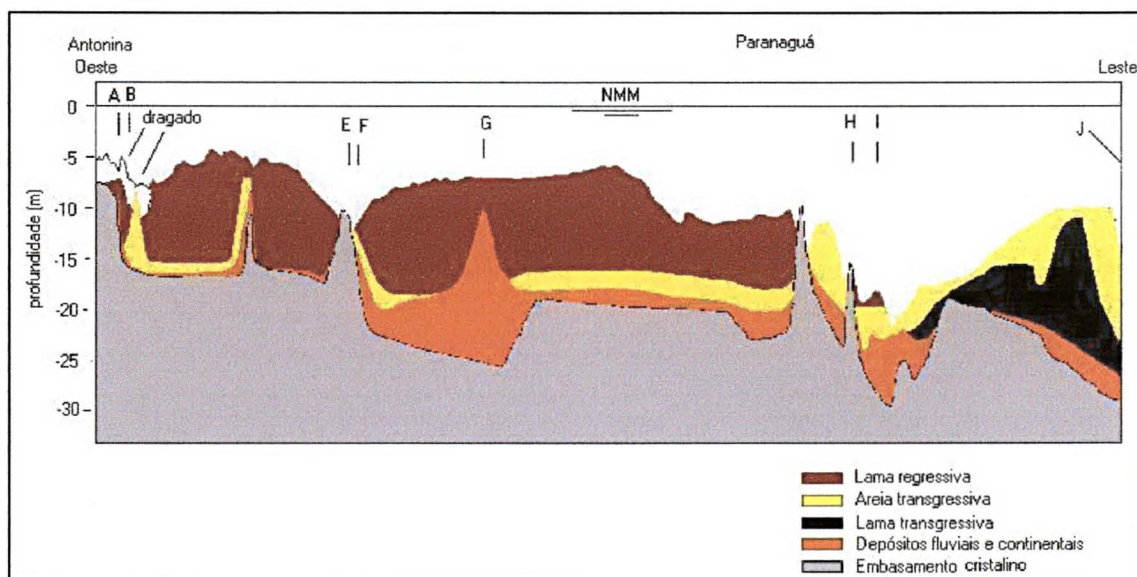


Figura 3.4.5.1b – Perfil longitudinal do estuário da Baía de Paranaguá mostrando o preenchimento do paleovale inciso pelas fácies sedimentares (LESSA *et al.*, 1998).

### Fácies 3 – Areia transgressiva

Esta unidade é caracterizada por areia fina a muito grossa, bem a moderadamente selecionada, com grãos arredondados a subangulosos e granulometria média em torno de 0,4 mm. A proporção de finos varia entre 0% e 39%, com uma média em torno de 15%. O teor de carbonato (fragmentos de conchas) é em média de 3% porém localmente pode atingir 25%. Estão presentes também fragmentos vegetais. Esses sedimentos apresentam tons de cinza variando conforme o conteúdo de matéria orgânica que, no entanto, parecem não exceder 4%. Na parte leste do estuário esta

unidade recobre ou a fácies Lama Transgressiva ou se dispõe sobre os depósitos pré-Holocênicos onde a fácies 2 foi completamente erodida. Por outro lado o contato entre a fácies Areia Transgressiva e a fácies subjacente é provavelmente erosivo. A montante de Paranaguá a fácies Areia Transgressiva aparece sempre recobrendo a fácies 1. Na maior parte do estuário a fácies Areia Transgressiva é sobreposta pela fácies 4 (Lama Regressiva) (LESSA *et al.*, 1998).

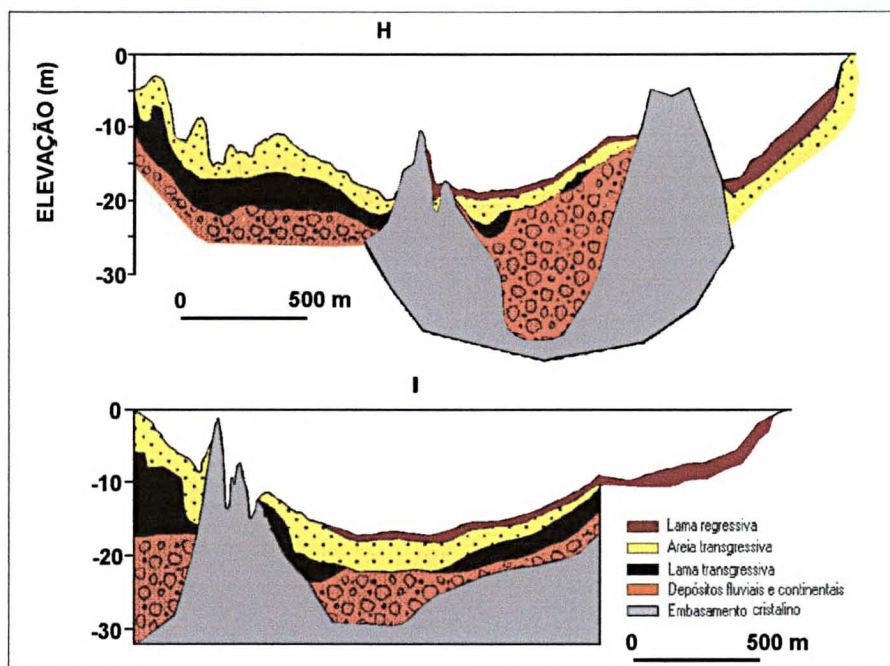


Figura 3.4.5.1c – Seções transversais H e I com as fácies sedimentares localizadas próximo ao Porto de Paranaguá (LESSA *et al.*, 1998) (para localização ver figura 3.4.5.1a).

A fácies 3 é interpretada como uma areia marinha transgressiva derivada de face de praia, e talvez do retrabalhamento de antigos depósitos (fácies 1). Parte dos sedimentos atribuídos a fácies Areia Transgressiva, na parte proximal, podem na verdade ser areia fluvial. O arredondamento dos grãos de areia indica que o retrabalhamento de depósitos fluviais deve ter ocorrido. Apesar de não haver dados cronológicos é proposto que a fácies 3 está associada com o completo afogamento (*span time*) do estuário entre 7000 e 5100 anos A.P., quando o nível do mar pode ter

ultrapassado o atual nível médio do mar pela primeira vez por volta de 6.300 anos A.P.(LESSA *et al.*, 1998).

#### Fácies 4 – Lama Regressiva

Uma lama arenosa, rica em matéria orgânica e com fragmentos de conchas, cobre quase a totalidade do estuário a montante de Paranaguá. Os teores de matéria orgânica variam de 2,2% a 20%, enquanto o conteúdo de finos varia entre 30% e 91%, sendo mais comum valores acima de 70%. A quantidade relativa de carbonato de cálcio no sedimento fica em torno de 15%. Esta unidade se distribui em concordância sobre a fácies Areia Transgressiva e somente localmente é encontrada recobrindo o fundo rochoso. A espessura máxima da fácies 4 ocorre a montante a Ilha do Teixeira onde supera dez metros. Esta unidade apresenta grano-decrescência ascendente (*fine upward*) ao longo da qual há um grande aumento da concentração de conchas e material orgânico, que refletiria o decréscimo gradual do nível de energia das correntes de maré através do tempo. Este depósito é interpretado como uma fácies de lama regressiva estuarina depositado ao longo do funil estuarino, e associado com a queda do nível do mar nos últimos 5100 anos (LESSA *et al.*, *op. cit.* ).

#### FÁCIES 5 – Areia Regressiva

Uma camada de areia moderadamente a pobremente selecionada é observada próxima à cabeceira do estuário, a montante de Antonina. O diâmetro médio e o grau de seleção apresentam valores de 0,23 – 1,8 mm e 0,15 – 2,4 mm, respectivamente. Sua cor é acinzentada e seu conteúdo de finos varia de 9% 35%, com 22% de valor médio. Esta unidade pode recobrir a Lama Regressiva (fácies 4) com um possível contato erosivo. Esta fácies é interpretada como um depósito fluvial recente (LESSA *et al.*, 1998).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 INTRODUÇÃO

Para atingir os objetivos propostos neste trabalho, além da pesquisa bibliográfica, foram feitas: a) consultas no banco de dados do Centro de Estudos do Mar - UFPR; b) executado o mapeamento dos sedimentos de fundo da área de estudo; c) realizadas medições de correntes de maré e quantificação do material particulado em suspensão (MPS). Os dados e amostras coletados foram processados no Laboratório de Oceanografia Geológica, Laboratório de Processos Costeiros e Estuarinos e Laboratório de Biogeoquímica (CEM). Os resultados obtidos foram reunidos num sistema de informações geográficas no *software ArcView* (ESRI), que possibilitou sua análise espacial. As licenças do referido software pertencem ao Centro Integrado de Estudos em Geoprocessamento – CIEG / UFPR.

### 4.2 BASE CARTOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO

A base cartográfica do FEAPP foi obtida pela digitalização da carta náutica N°1824, intitulada “Da Barra de Paranaguá e Antonina”, editada pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN, 1995) da Marinha do Brasil, no *software AutoCAD* (Autodesk, Inc). A linha de costa dessa base foi atualizada por levantamentos feitos pelo LOGEO com equipamento GPS diferencial.

O Datum da carta náutica foi convertido para WGS-84 após a migração para o ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas) ArcVIEW (ESRI).

### 4.3. CARACTERIZAÇÃO BATIMÉTRICA

A Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil realizou em agosto de 1998 um levantamento hidrográfico por batimetria que recobriu todo o setor que abrange a área de estudo.

A partir de 10345 pontos de profundidades elaborou-se um modelo batimétrico do fundo estuarino (MBE), através do interpolador TIN (*Triangulated*

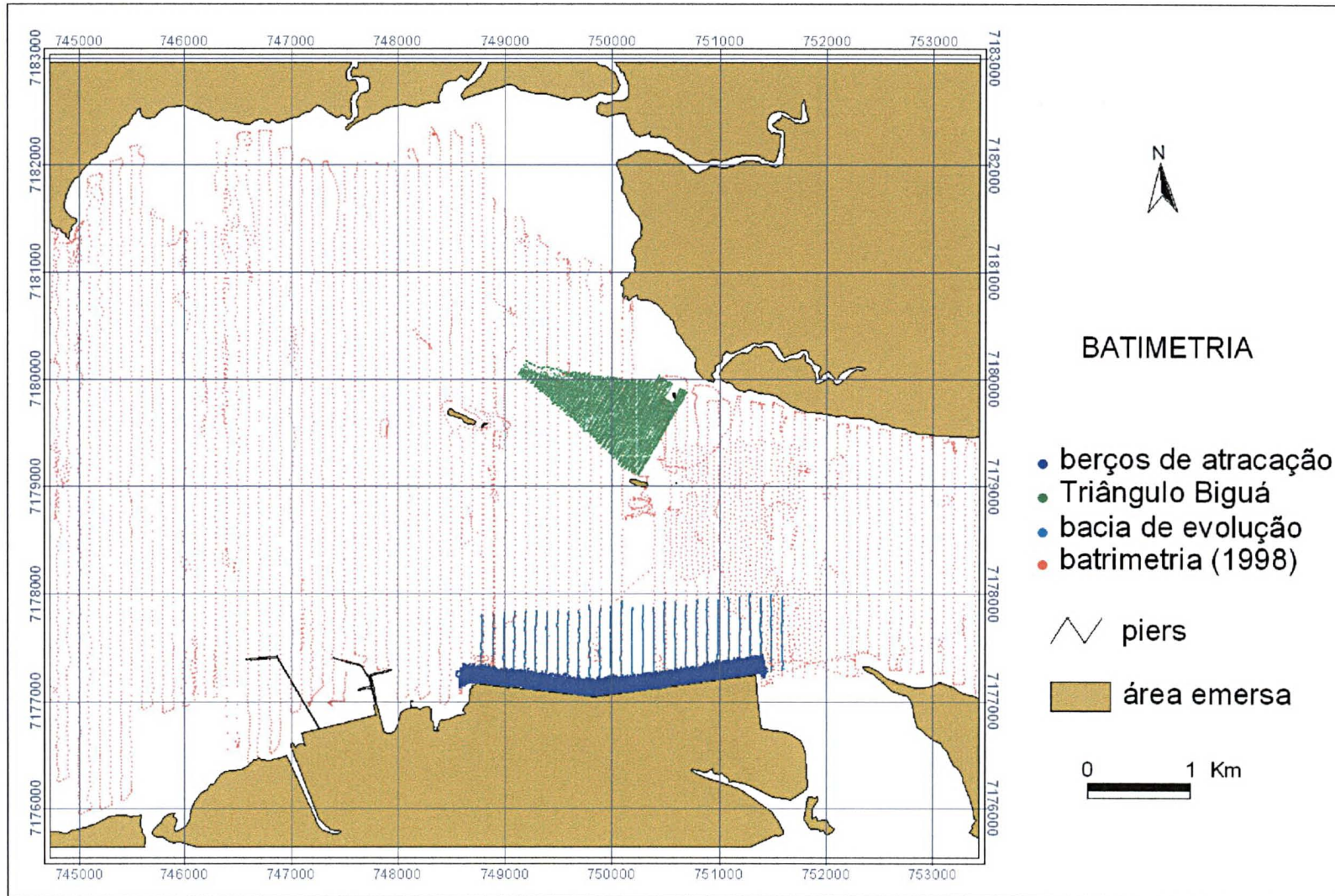


Figura 4.3 – Localização dos pontos batimétricos dos levantamentos de 1998 e 2001 realizados no FEAPP

*Irregular Networks*), da extensão *3D-ANALYST*, no software *ArcVIEW*. Este interpolador representa superfícies usando facetas de triângulo contíguas e não sobrepostas. Pode-se estimar o valor da superfície em qualquer lugar na triangulação pela média dos valores dos nós de triângulos vizinhos, atribuindo-lhes mais peso e influência àqueles mais próximos. A resolução de um TIN pode variar, isto é, ele pode ser

mais detalhado em áreas onde a superfície é mais complexa e menos detalhado em áreas simples. As coordenadas (N, E, Z) da fonte dos dados são mantidas como parte da triangulação, mesmo após a interpolação. Nenhuma informação é perdida (ESRI, 1997).

Levantamentos subsequentes de detalhe foram executados em locais como a bacia de evolução, berços de atracação e no Triângulo do Biguá, dos quais foram incorporados cerca de 18000 pontos ao MBE, visando sua atualização (Fig. 4.3).

Através da ferramenta de análise de superfície *slope*, do *ArcView* produziu-se um mapa para a caracterização das declividades do fundo do estuário.

#### 4.4 COMPARAÇÃO BATIMÉTRICA

O primeiro levantamento hidrográfico por batimetria mais abrangente em seu recobrimento, realizado na área de estudo, foi publicado pela DHN na Carta Náutica No 1823, no ano de 1959. Apenas em 1998 esse mesmo órgão repetiu um levantamento semelhante em área do local, cujo documento encontra-se ainda na forma de uma Folha de Bordo. Devido a sua maior quantidade de informações foram esses os levantamentos escolhidos para a comparação batimétrica.

As bacias de evolução e berços do cais comercial e de inflamáveis são locais de manobras dos navios e, portanto, onde são executadas dragagens sistemáticas. Por essa razão essas áreas foram excluídas da comparação geral do FEAPP, que pretende detectar variações de profundidade ocorridas em locais que supostamente não sofreram impacto antrópico. Uma análise comparativa da batimetria da bacia de evolução do cais comercial foi realizada separadamente onde se aplicou o mesmo método abaixo descrito, porém, utilizando-se folhas de bordo digitais de dois levantamentos realizados pela empresa MICROARS em fevereiro e agosto de 2001.

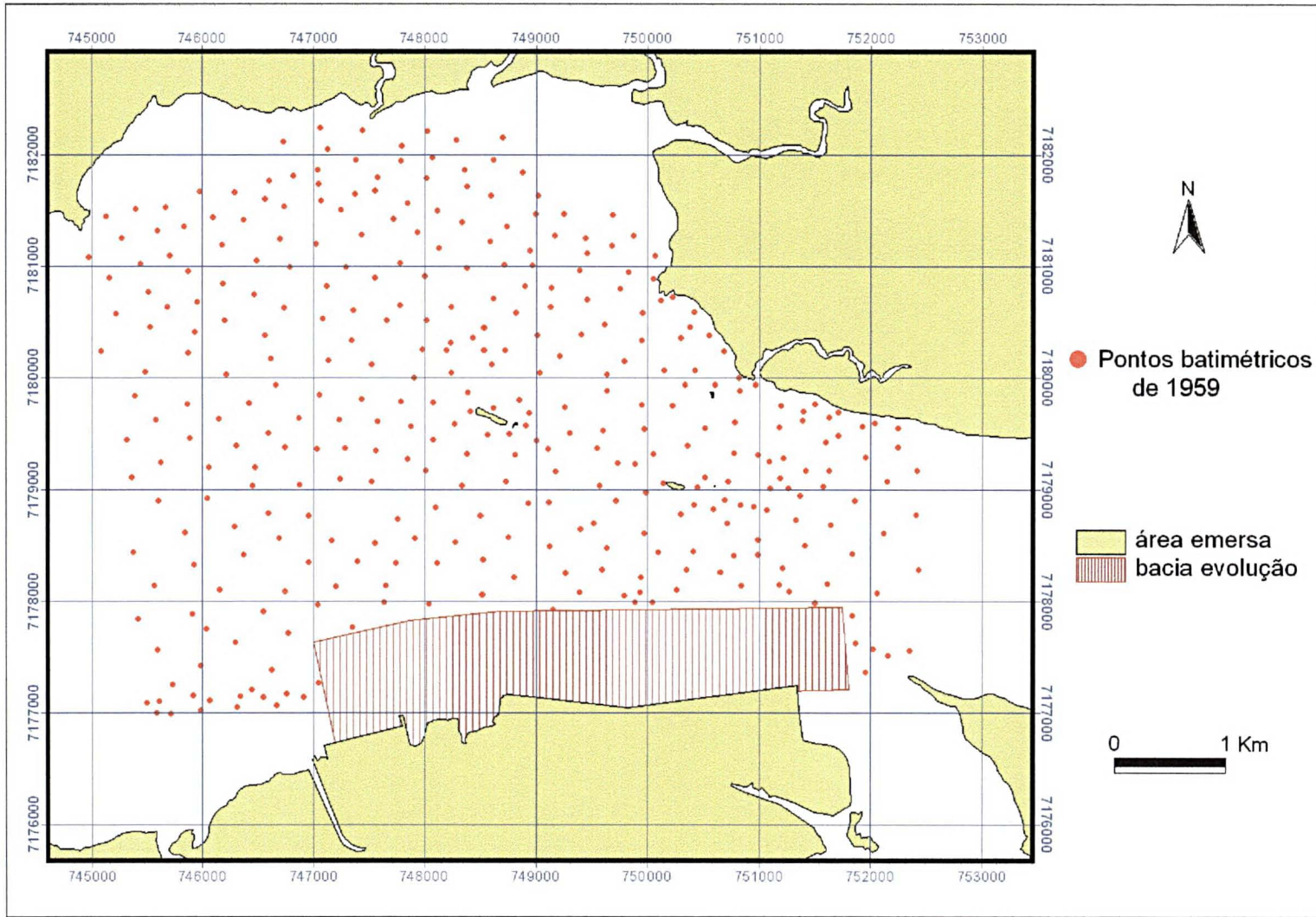


Figura 4.4 – Localização dos pontos batimétricos do levantamento de 1959 no FEAPP

Após o georreferenciamento desses mapas em meio digital, procedeu-se a representação da superfície do fundo estuarino, elaborando-se os modelos batimétricos de 1959 e de 1998, com a sobreposição de 362 pontos de profundidade, utilizando-se a interpolação TIN (*Triangulated Irregular Networks*) anteriormente descrita.

Para se obter as variações de profundidade ocorridas entre esses dois momentos, os modelos foram convertidos em *grid* onde se efetuou a diferença entre eles ((*GRID1998*) – (*GRID1959*)), utilizando-se a extensão *SPATIAL ANALYST* no *software ArcVIEW*.

Os lugares onde as diferenças de profundidades excederam dois metros ( $\pm 2\text{m}$ ) foram também descartados da análise, por situarem-se em locais de maior declividade e, portanto, sujeitos a erros grosseiros ocasionados por imprecisões de posicionamento.

#### 4.5 CARACTERIZAÇÃO DOS SEDIMENTOS DO FEAPP

Entre os meses de abril e setembro de 2001 foram coletadas pelo LOGEO 231 amostras de sedimento de fundo (Fig. 4.5), utilizando-se equipamento GPS autônomo, uma draga portátil do tipo “busca fundo” marca Petite Ponar e uma embarcação de 16 pés.

A malha de pontos de coleta de sedimentos foi implantada visando-se o recobrimento de diferentes feições do fundo como canais, fundos rasos e declividades diversas, e a melhor distribuição espacial possível.

As amostras foram processadas segundo o método adotado pelo LOGEO, descrito a abaixo, onde se determinou sua granulometria e teores de carbonato e matéria orgânica (MO). A partir dos pesos das frações do peneiramento e pipetagem, foram calculados os parâmetros estatísticos definidos por FOLK & WARD (1957), empregando-se o *software* SYSGRAN (CAMARGO, 1999).

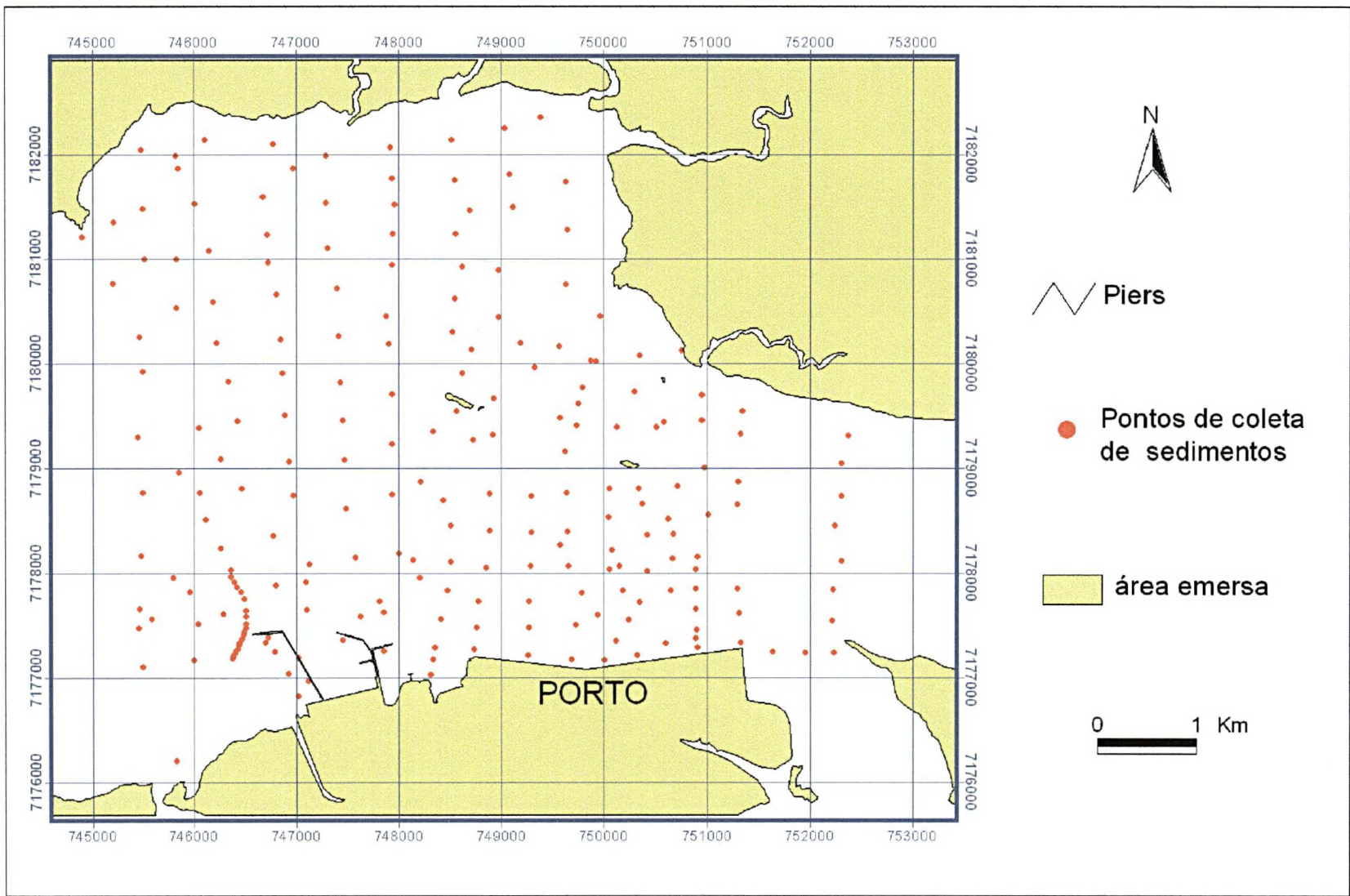


Figura 4.5 – Localização dos pontos de coleta de sedimentos no FEAPP

#### 4.5.1. Análise Granulométrica

As amostras foram secas em estufa a 60° C. Após serem maceradas, eliminou-se a MO pela imersão em solução de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a 30%. Para se obter as granulometrias de silte e argila as amostras foram lavadas com água destilada sobre a peneira de 0,062 mm e drenadas através de funil para uma proveta contendo defloculante Pirofosfato de Sódio. Passou-se a pipetagem desta solução conforme procedimento descrito em Carver (1971). As frações retidas na peneira de 0,062mm foram novamente secas e, posteriormente, levadas ao peneiramento (1/2 φ) por equipamento “rot-up” durante aproximadamente 15 minutos.

#### 4.5.2. Análise do teor de Carbonato de Cálcio

A percentagem de Carbonato presente nas amostras foi calculada através da diferença entre os pesos inicial (10g) e final, após o ataque com Ácido Clorídrico (10%).

#### 4.5.3. Análise do teor de matéria orgânica

O teor de matéria orgânica foi obtido também pela diferença entre os pesos inicial (5g) e final, após a calcinação da amostra em mufla a 550° C, durante sessenta minutos.

### 4.6. CARACTERIZAÇÃO DAS CORRENTES DE MARÉ

#### 4.6.1 Mapeamento dos campos de correntes de maré vazante e enchente

Para a caracterização das correntes de maré que atuam na área estudada procedeu-se suas medições num ciclo de maré de sizígia, no inverno de 2001, em momentos de máxima energia (maiores velocidades) durante as enchentes e vazantes.

O equipamento empregado nesses levantamentos foi o medidor ADP (ACOUSTIC DOPPLER PROFILER) desenvolvido pela empresa SONTEK INC (USA), que é utilizado principalmente em medições de descarga líquida (Fig. 4.6.1)

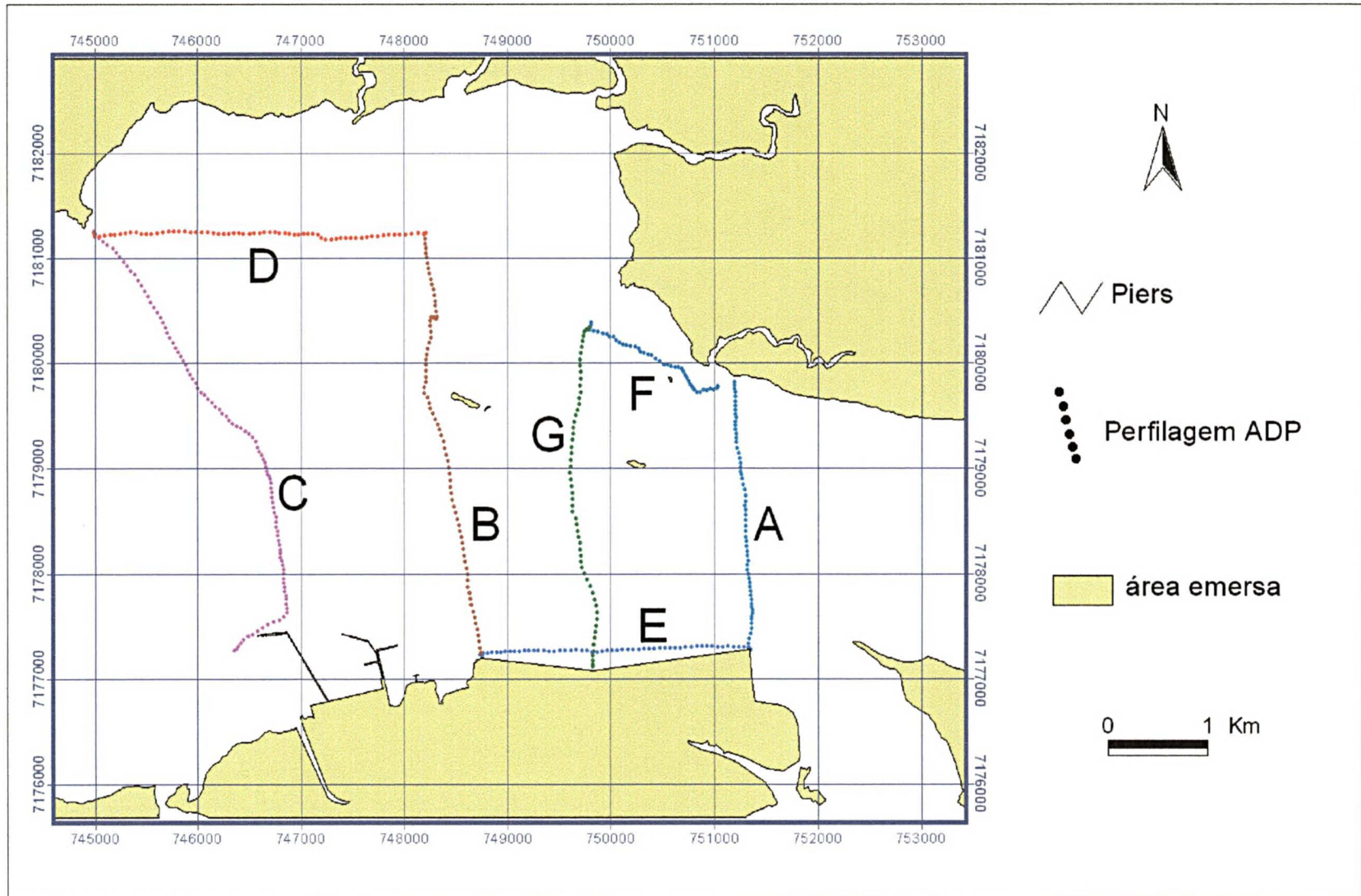


Figura 4.6.1 – Localização dos perfis percorridos com equipamento *Acoustic Doppler Profiler* no FEAPP

Seu funcionamento baseia-se no efeito Doppler que consiste na mudança observada na frequência de uma onda, resultante do movimento relativo do sensor.

A velocidade do escoamento é calculada a partir da frequência de sinais acústicos emitidos pelo aparelho e que retornam refletidos pelas partículas sólidas naturalmente presentes na água (GORDON, 1989). Os componentes básicos do ADP são: a) um transdutor que emite e recebe os pulsos sonoros; b) um processador que calcula e armazena as informações. É necessário acoplar um microcomputador para o monitoramento dos dados em tempo real e um equipamento GPS para o posicionamento.

Em cada etapa do levantamento (maré enchente ou vazante) foram realizados perfis sobre a área perfazendo-se uma malha de aproximadamente 20 Km, num intervalo de três horas aproximadamente, tempo este em que as correntes permaneceriam com sua velocidade máxima. A embarcação manteve uma velocidade de aproximadamente 3m/s para evitar a deterioração na qualidade dos dados.

Configurou-se o ADP para dividir os perfis em células de um metro de profundidade, sendo a extensão destas calculada a intervalos de 20 segundos de navegação. Para cada célula o equipamento gerou valores médios de direção, intensidade de corrente, área, profundidade e valores de interferência produzidos pelo material em suspensão.

Através do software *ViewADP* as informações obtidas foram exportadas em forma de tabelas. Isto permitiu a elaboração de planilhas com valores (módulo da velocidade e direção de corrente) da célula mais profunda da coluna d'água. Em seguida, as velocidades foram decompostas em suas componentes X e Y para serem interpoladas e representadas na forma de mapas de campos de correntes de maré enchente e vazante, utilizando-se o software SURFER 7.1 (Golden Software, 1999).

#### 4.6.2 Competência dos campos de correntes para o transporte por tração dos sedimentos não coesivos no FEAPP

Primeiramente foram delimitadas as regiões da área de estudo onde os sedimentos são considerados não coesivos, ou seja, com diâmetro médio superior a

30 μm (entre 20μm e 40μm segundo MEHTA (1988)) e com percentagem de argila inferior a 7,5 % (PANAGIOTOPOULOS *et al.*, 1997).

Para o cálculo do transporte dos sedimentos por tração foram utilizados o gráfico de Yalin e a “universal law of the wall” de Middletown & Southard abaixo descritos.

Conforme o gráfico proposto por Yalin (1972) a relação entre seus parâmetros permite determinar a velocidade de fluxo necessária para iniciar o movimento de um grão de sedimentos não-coesivo (ou incoesivo) (Fig. 4.7.2a).

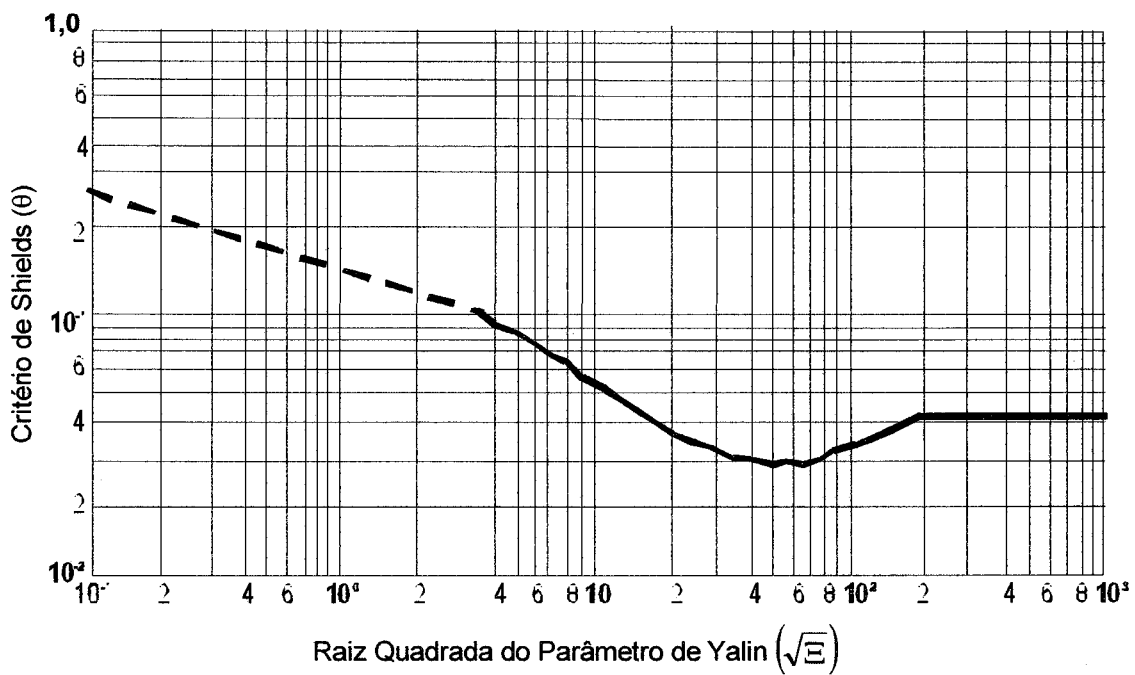


Figura 4.6.2a - Gráfico de Yalin (1977) mostrando a curva do limiar de movimentação dos grãos. Acima da curva, teoricamente, ocorre o transporte.

No gráfico o eixo das abcissas é representado pela raiz quadrada do Parâmetro de Yalin (Ξ) expresso por,

$$\Xi = \frac{(\rho_s - \rho)gD^3}{\rho\nu^2} \quad (1)$$

onde ρ<sub>s</sub> é a densidade do sedimento em g.cm<sup>-3</sup>, ρ é a densidade do fluido em g.cm<sup>-3</sup>, ν é a viscosidade cinemática do fluido em cm<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>, g é a aceleração da gravidade em cm.s<sup>-2</sup>, e D é o diâmetro médio do sedimento em cm.

No eixo das ordenadas consta o valor do limiar de movimentação segundo o Critério de Shields ( $\theta$ ) expresso por

$$\theta = \frac{\rho u_{* \text{Limiar}}^2}{(\rho_s - \rho)gD} \quad (2)$$

onde  $\rho_s$  é a densidade do sedimento em  $\text{g.cm}^{-3}$ ,  $\rho$  é a densidade do fluido em  $\text{g.cm}^{-3}$ ,  $g$  é a aceleração da gravidade em  $\text{cm.s}^{-2}$ , e  $D$  é o diâmetro médio do sedimento em  $\text{cm}$  e  $u_{* \text{Limiar}}$  é a velocidade de cisalhamento (shear velocity ou friction velocity) em  $\text{cm.s}^{-1}$  para o início de movimentação do grão.

A velocidade de cisalhamento ( $U_*$ ) que atua sobre os sedimentos da área, num ciclo de sizígia, foi calculada aplicando-se a “universal law of the wall” (3) proposta por MIDDLETOWN & SOUTHARD (1984),

$$\frac{U}{U_*} = \frac{1}{K} \ln\left(\frac{y}{D_{50}}\right) + 8,5 \quad (3)$$

onde  $U$  é a velocidade da corrente medida;  $k$  é a constante de Von Karmam ( $k=0,4$ );  $y$  é a altura de medição da corrente sobre o fundo (100cm) e  $D_{50}$  é o diâmetro médio dos sedimentos.

O cálculo da velocidade de cisalhamento teórica necessária para o limiar de transporte foi realizado utilizando-se os valores extremos do intervalo de diâmetro médio e suas respectivas velocidades obtidas do gráfico de Yalin. A partir desses valores se fez o ajuste logarítmico de  $U_*$  versus  $D$ , já que a relação no gráfico da Fig. 4.6.2a é desse tipo, obtendo-se os valores para os diversos locais (Fig. 4.6.2b).

As diferenças entre as velocidades de cisalhamento medidas ( $U_*$ ) e as velocidades do limiar teórico de cisalhamento ( $U_{* \text{Limiar}}$ ) fornecem, na forma de mapas, os locais onde as correntes de maré são competentes ou não para mobilizar os sedimentos.

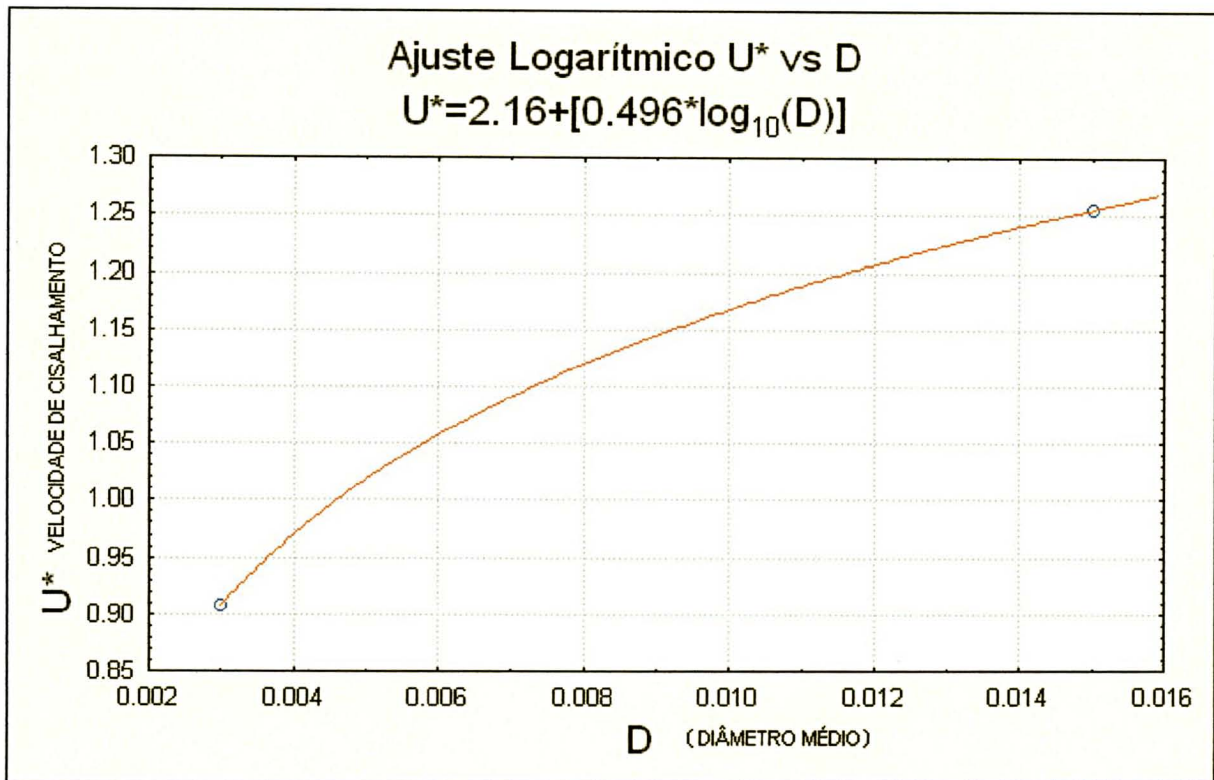


Figura 4.6.2b – Gráfico de ajuste logaritmico da curva de valores da velocidade de cisalhamento teórica necessária para o limiar de transporte dos sedimentos não coesivos do FEAPP

#### 4.7. CARACTERIZAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DO MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO (MPS)

Nas mesmas campanhas de medição de correntes, no inverno de 2001, realizou-se as coletas de material particulado em suspensão (MPS) em três perfis orientados segundo a direção N-S, aproximadamente (Fig. 4.7a). Em cada perfil foram definidas quatro estações e, em cada uma delas, coletou-se água a uma

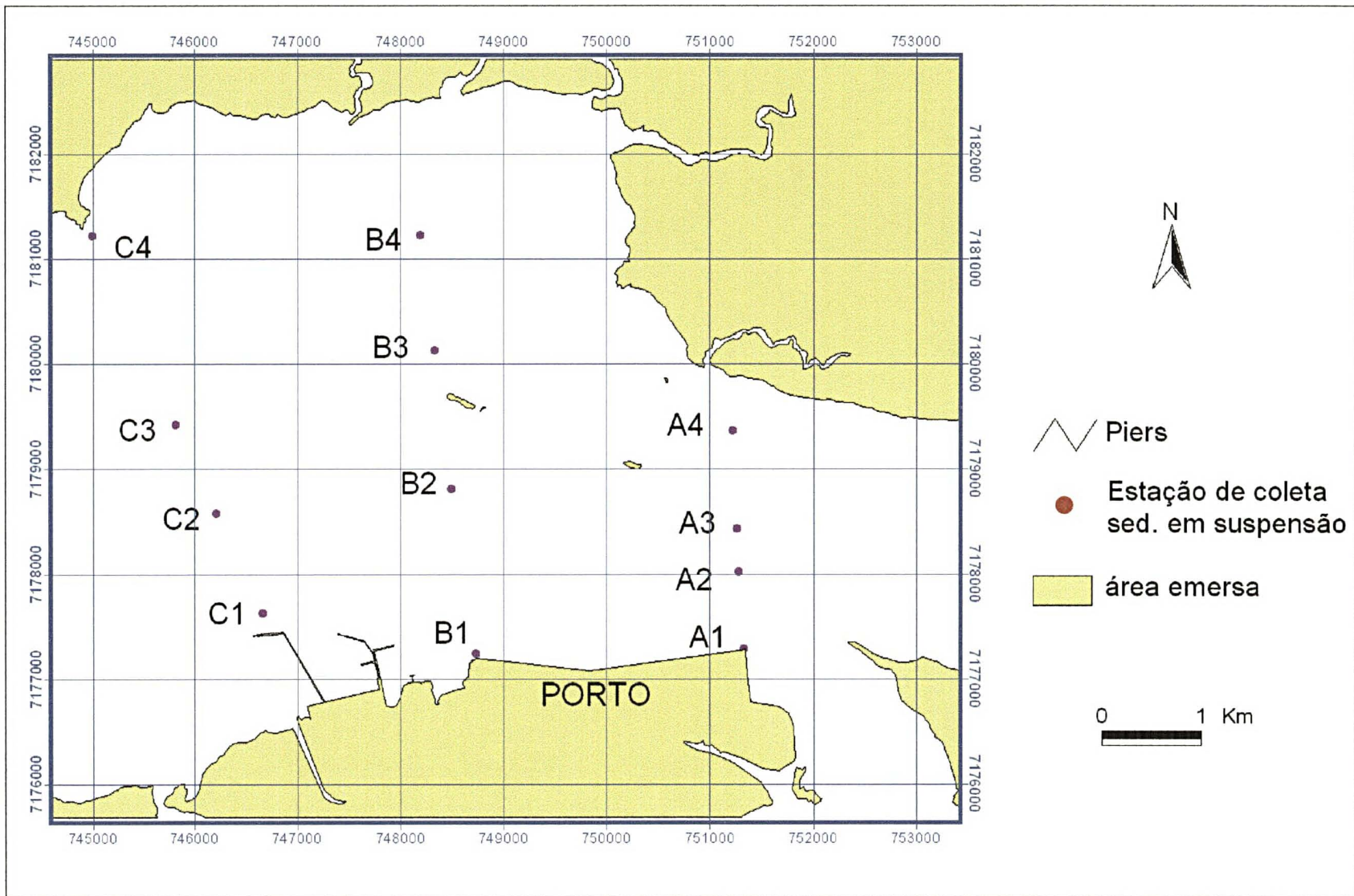


Figura 4.7a – Localização das estações de coleta de material particulado em suspensão no FEAPP.

distância de 1/3 de profundidade a partir do fundo, e a 1/3 de profundidade a partir da superfície. Empregou-se uma garrafa de *Van Dorn*.

#### 4.7.1. Quantificação do material particulado em suspensão

A quantificação do MPS ( mg / litro) da água estuarina foi determinada pelo método descrito por STRICKLAND & PARSONS ( 1972 ). Neste método a quantidade de material em suspensão é medida pela diferença entre o peso do filtro vazio e o peso após a filtração de um volume conhecido de amostra.

Foram utilizados filtros de fibra de vidro da marca Whatman GF/F, de 47 mm de diâmetro, e com capacidade para reter partículas maiores que 0,7  $\mu\text{m}$ .

Os filtros foram lavados com pequenas quantidades de água destilada e secos em estufa a 65° C durante três horas. Em seguida foram acondicionados em dessecador para a estabilização do peso. Quatro filtros brancos (sem material filtrado) foram usados como padrão para a correção de oscilações de peso devido a umidade do ambiente, os quais foram pesados no início e no final de cada série de pesagens de dez filtros (antes e após a filtração).

As amostras de água foram homogeneizadas por movimentos circulares de agitação e filtradas. Após a filtração os filtros foram lavados com pequenas quantidades de água destilada a fim de eliminar os sais. Em seguida foram novamente secados, acondicionados e pesados em balança analítica com precisão de 10<sup>-5</sup> g. As concentrações do MPS foram calculadas em planilha eletrônica e plotadas em mapas de contornos de iso-valores .

#### 4.7.2. Cálculo do aporte de material particulado em suspensão na bacia de evolução do porto de Paranaguá

Para o cálculo do aporte de MPS foram definidas três seções transversais na região da bacia de evolução do Porto de Paranaguá, correspondendo a segmentos dos perfis A, B e C, sobre o canal principal do FEAPP (Fig. 4.7.b).

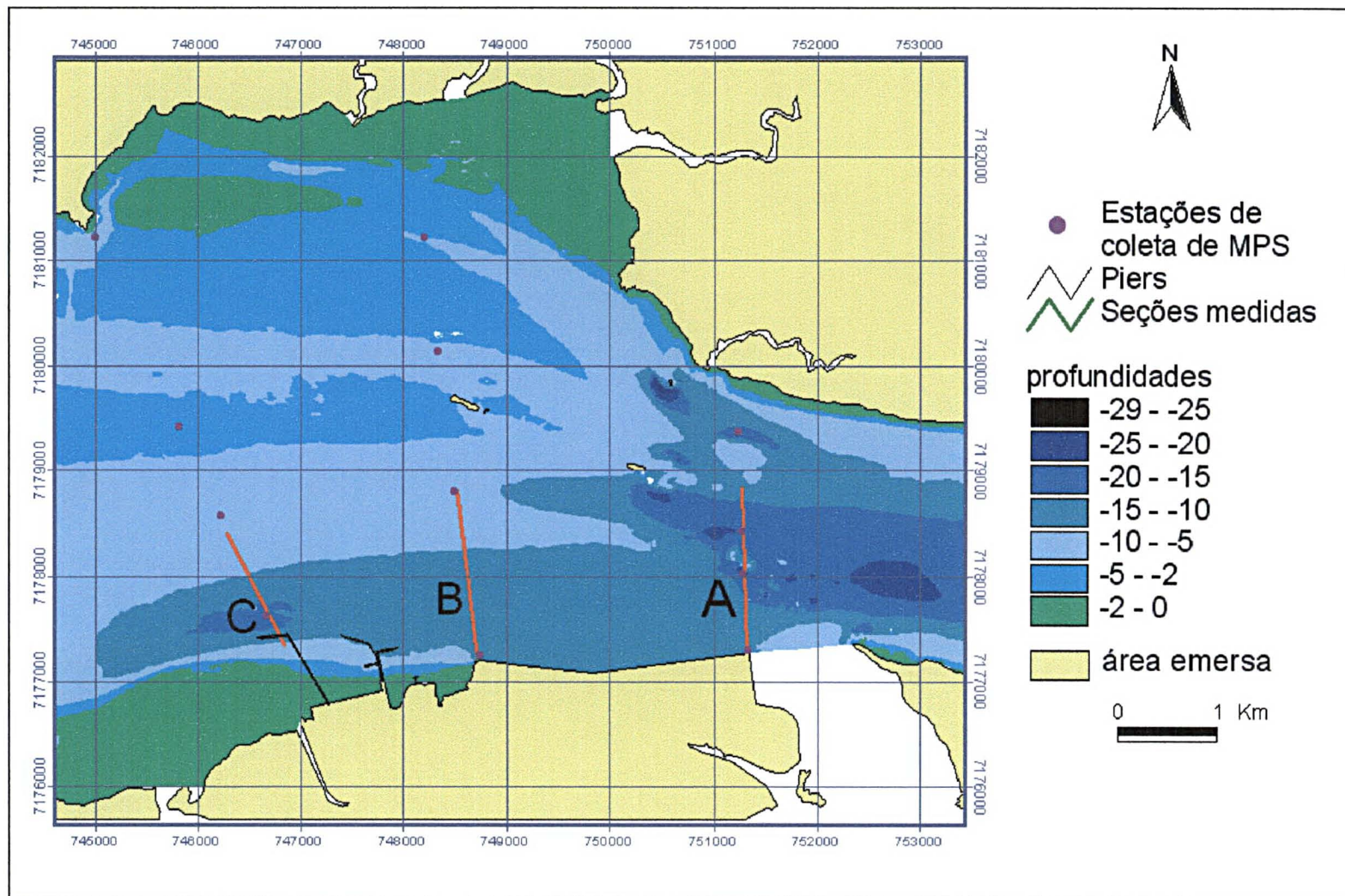


Figura 4.7b – Localização das seções A, B e C onde foram medidas as concentrações do material particulado em suspensão no canal principal do FEAPP

Através do *software River Surveyor* (SONTEK) foram obtidas as vazões de maré enchente e vazante para as seções. Em seguida, multiplicou-se os valores das vazões pelas respectivas concentrações médias de MPS, resultando na carga transportada através das seções. Sendo essas de diferentes dimensões, foi necessário dividir a carga transportada pela área das seções, para se obter os valores por unidade de área, possibilitando assim o cálculo do balanço de aporte de MPS para aquele setor do estuário.

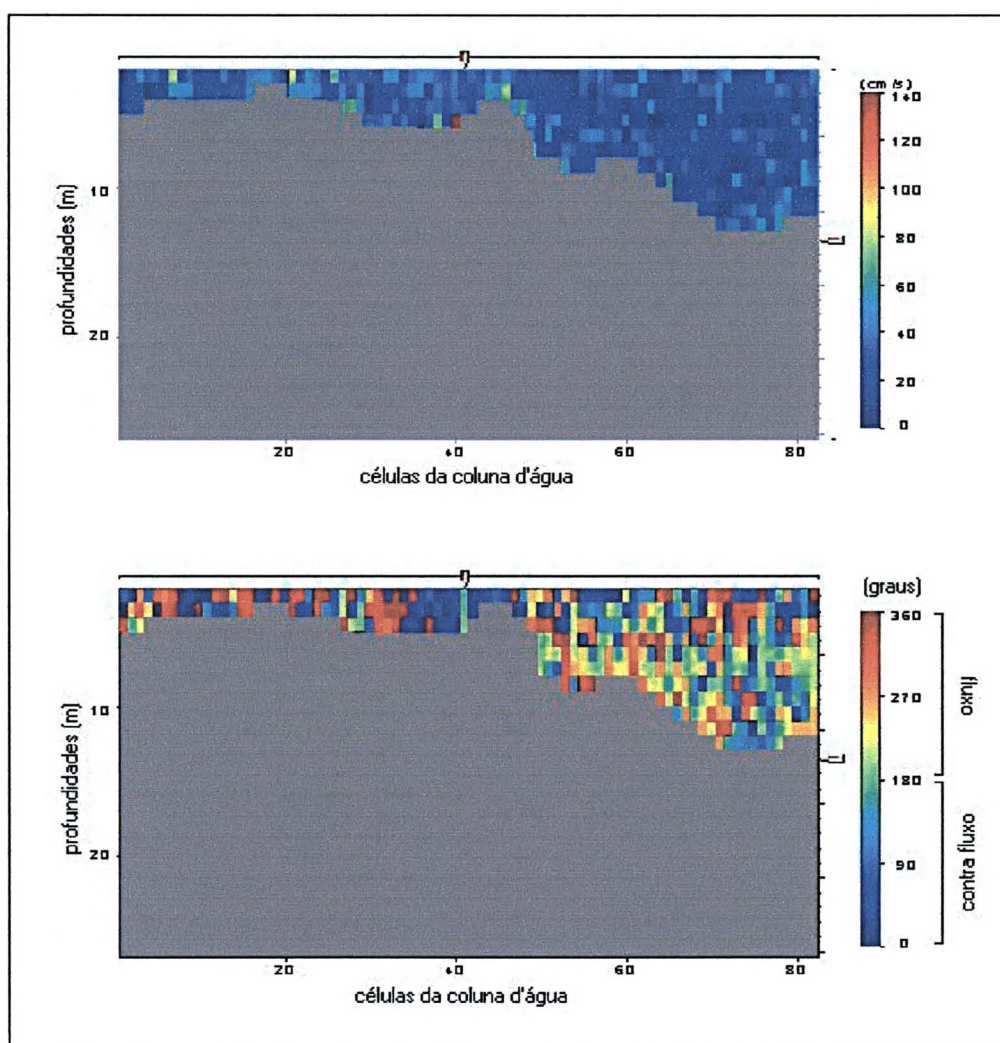


Figura 4.7c - Velocidades e direções de correntes do perfil "B" obtidas com o equipamento ADP.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 BATIMETRIA

Cerca de 70 % da área de estudo possui profundidades naturais inferiores a 10 m. Os fundos médios (-5 m a -10 m) (Fig. 5.1a e Fig. 5.1b) ocupam a maior extensão do FEAPP, seguidos dos fundos rasos (-2 m a -5 m) e das planícies de maré (-2 m a 0m). As profundidades superiores a 10 m correspondem à região ocupada pelo canal subaquático principal (< -10 m). A profundidade máxima medida foi de -29,7 m.

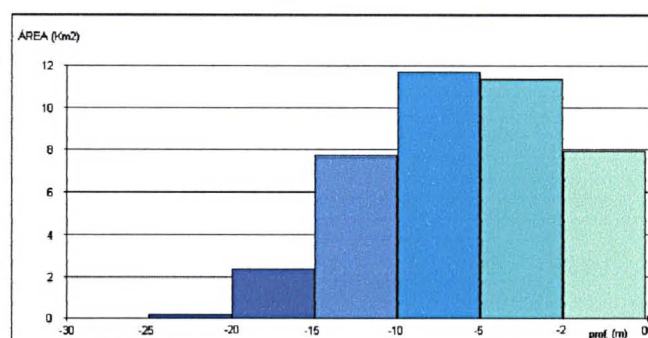


Figura 5.1 a – Histograma de frequência de áreas com diferentes profundidades

A área pode ser dividida em três compartimentos (Fig.5.1a ) de acordo com as profundidades presentes: (CN) centro-norte; (CS) centro-sul e (SO) sudoeste.

O compartimento CN compõe-se de uma planície de maré (0 a -2 m de profundidade), com largura variando entre 200 a 1200 metros e um fundo raso (-2 a -5 m) com gradiente de declividade suave (< 5%), estendendo-se para sul até a profundidade de 5 metros. Outra importante feição que aparece neste setor é um canal de maré (canal subaquático secundário) que se estende em forma de arco desde a Ponta do Pasto até as proximidades da praia da Vila Amparo, de onde se dirige para o canal principal do estuário. Possui em média 3 m de profundidade.

O compartimento CS compreende o canal subaquático principal do estuário disposto na direção Leste/Oeste, onde se localiza o Porto de Paranaguá, com profundidades predominantes entre 5 e 20 metros, alcançando 29,7m próximo à Pedra da Laginha.

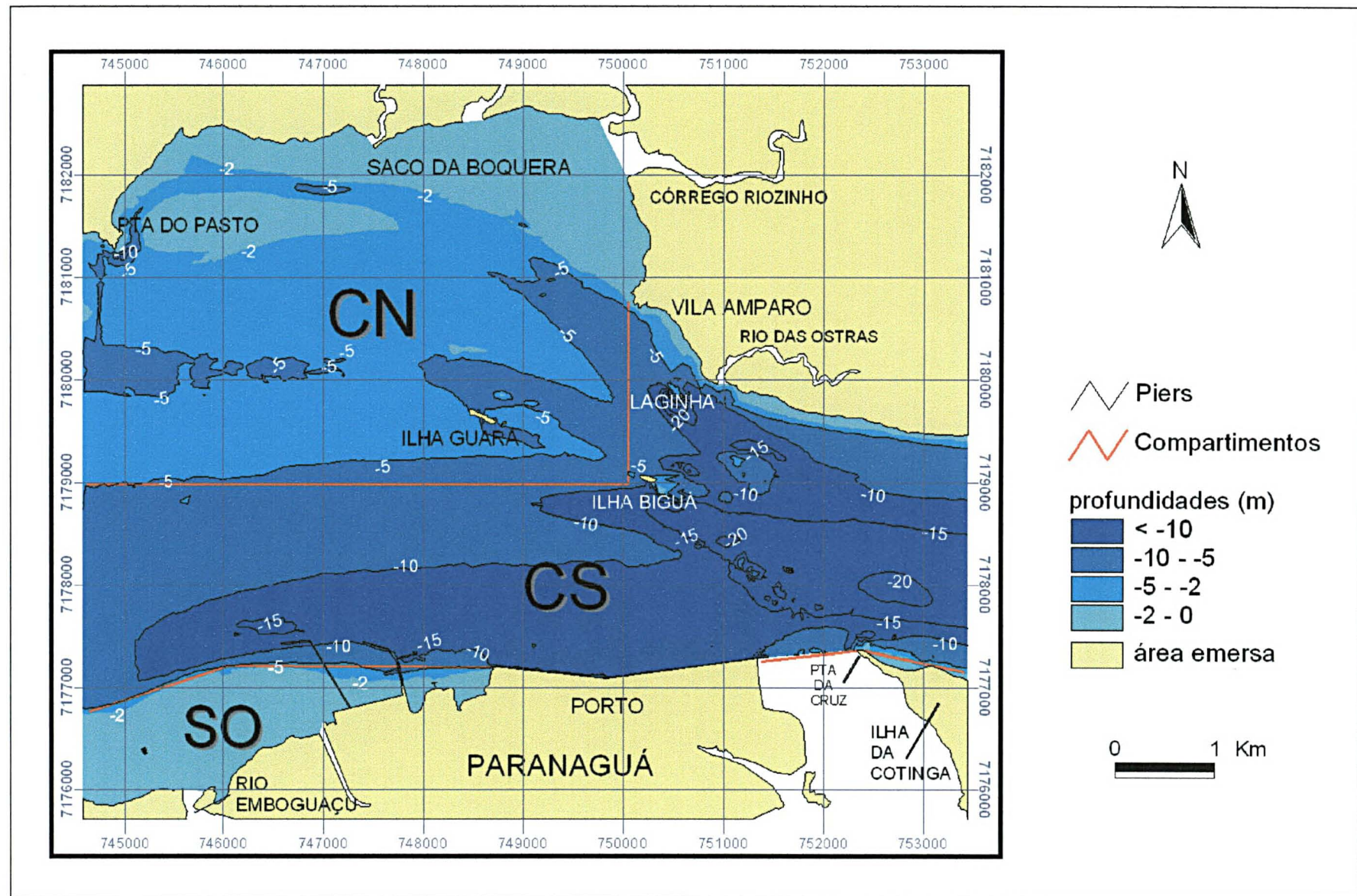


Figura 5.1a – Mapa de profundidades e compartimentos do FEAPP

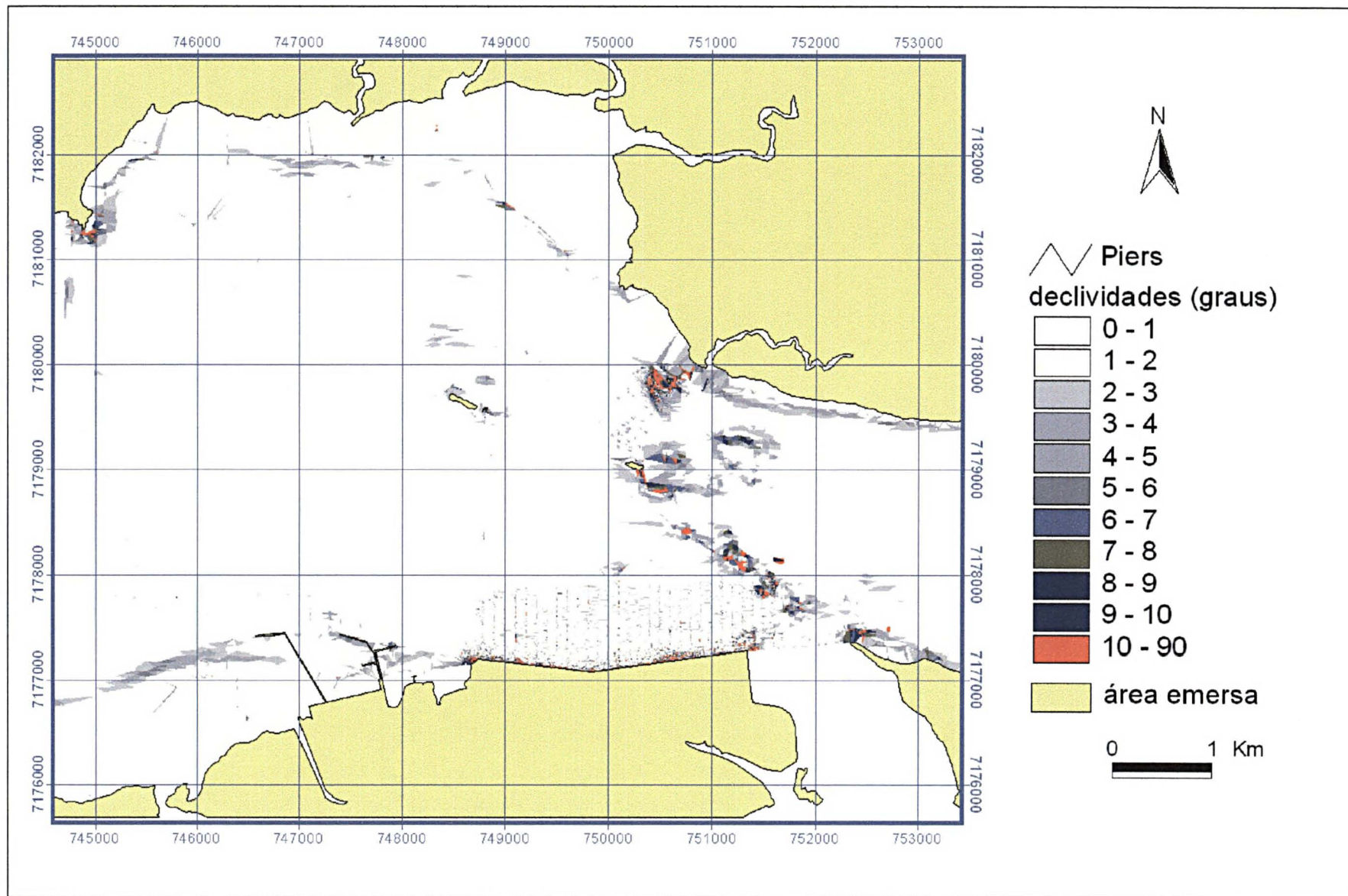


Figura 5.1b – Mapa de declividades do FEAPP

O compartimento SO delimita uma planície de maré com largura de 150 a 1000 metros, que termina abruptamente no encontro com o canal principal.

O fundo do estuário no FEAPP, quase todo formado por sedimentos, possui em geral um relevo aproximadamente plano, com declives inferiores a  $1^\circ$  (Fig. 5.1b). Em locais como nos taludes de canais são observadas declividades entre  $1^\circ$  e  $8^\circ$  e nos fundos rochosos as declividades podem atingir mais de  $80^\circ$  (Fig. 5.1b).

## 5.2 - VARIAÇÕES DE PROFUNDIDADES VERIFICADAS NO FEAPP

### 5.2.1 Comparação dos levantamentos batimétricos realizados em 1959 e 1998

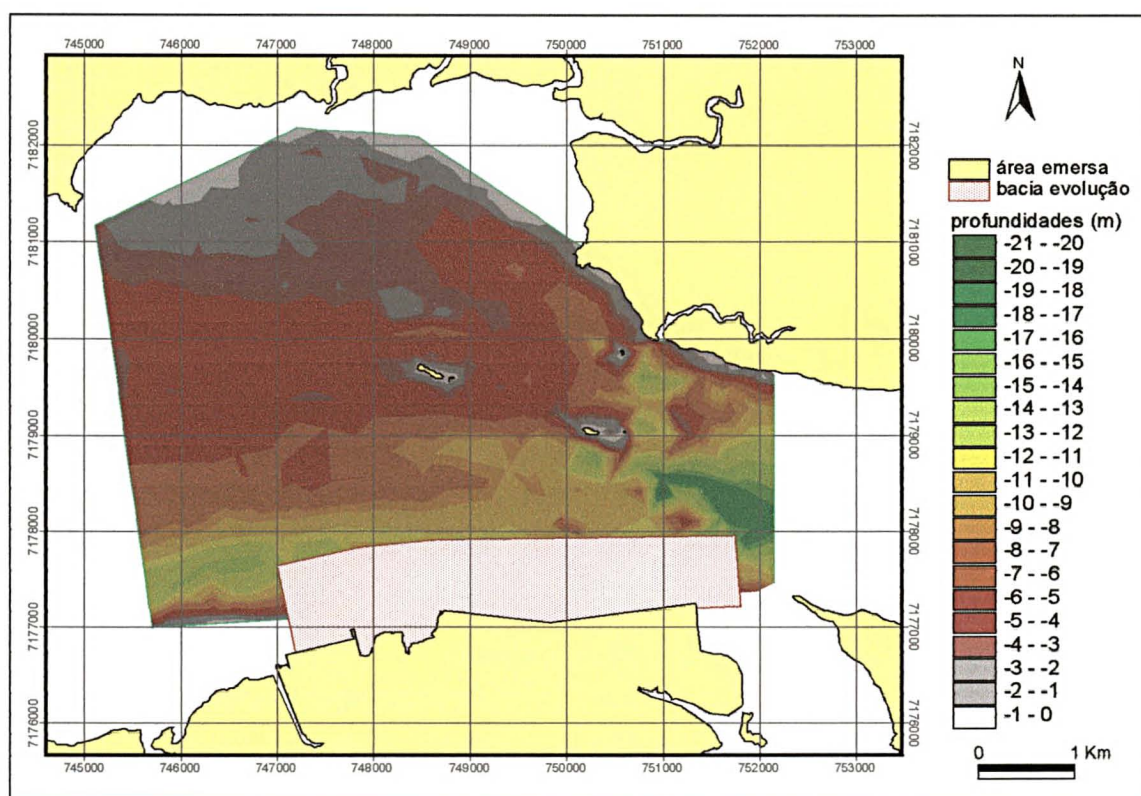


Figura 5.2.1a – Modelo digital do FEAPP baseado na carta náutica N° 1823 de 1959

De modo geral, as diferenças de profundidades no FEAPP se alternam na forma de feições alongadas de erosão e assoreamento, segundo um padrão Leste-Oeste.

A partir do Saco da Boquera, em direção à pedra da Laginha, observa-se uma feição erosiva contínua, de direção NO-SE, que parece acompanhar a direção do canal subaquático secundário (Fig. 5.2.1c).

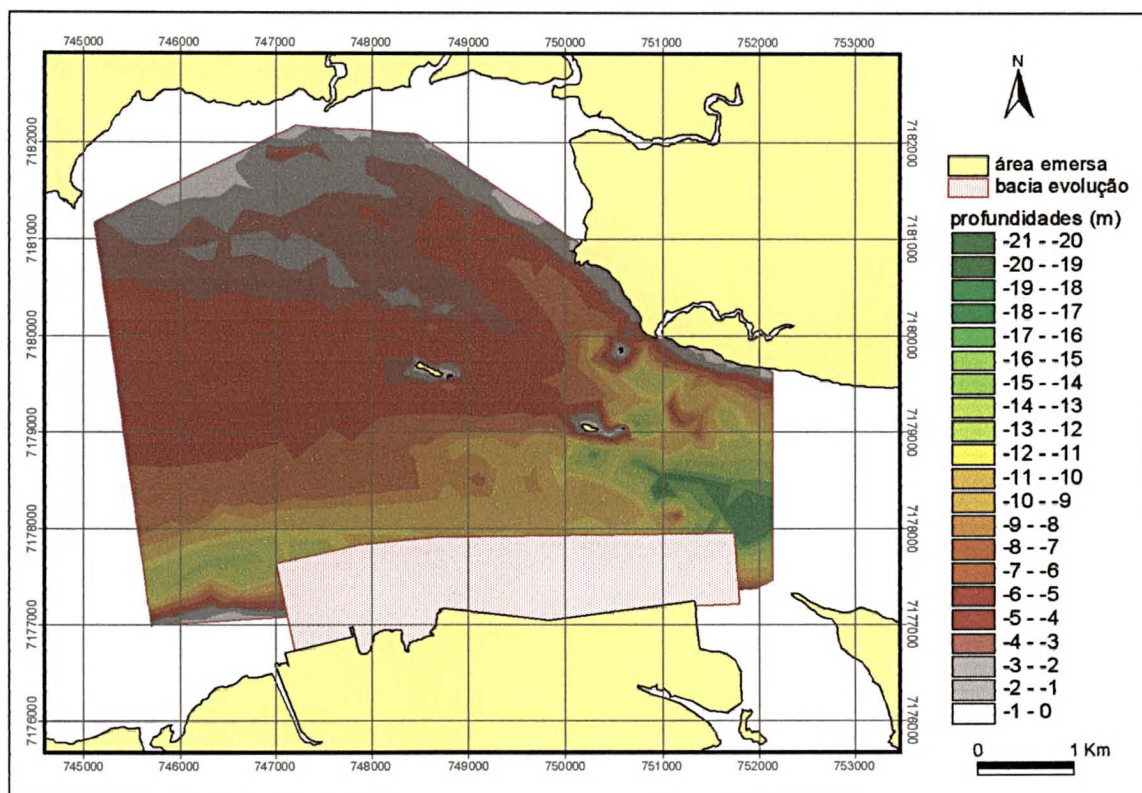


Figura 5.2.1b – Modelo digital do FEAPP baseado no levantamento de 1998

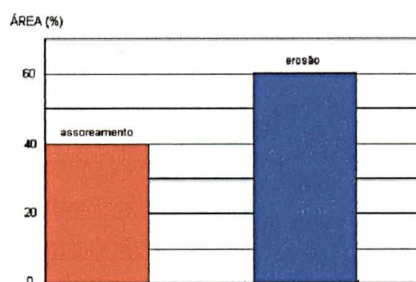


Figura 5.2.1c – Histograma de freqüências de áreas relativas às diferenças de profundidades entre os levantamentos de 1959 e 1998

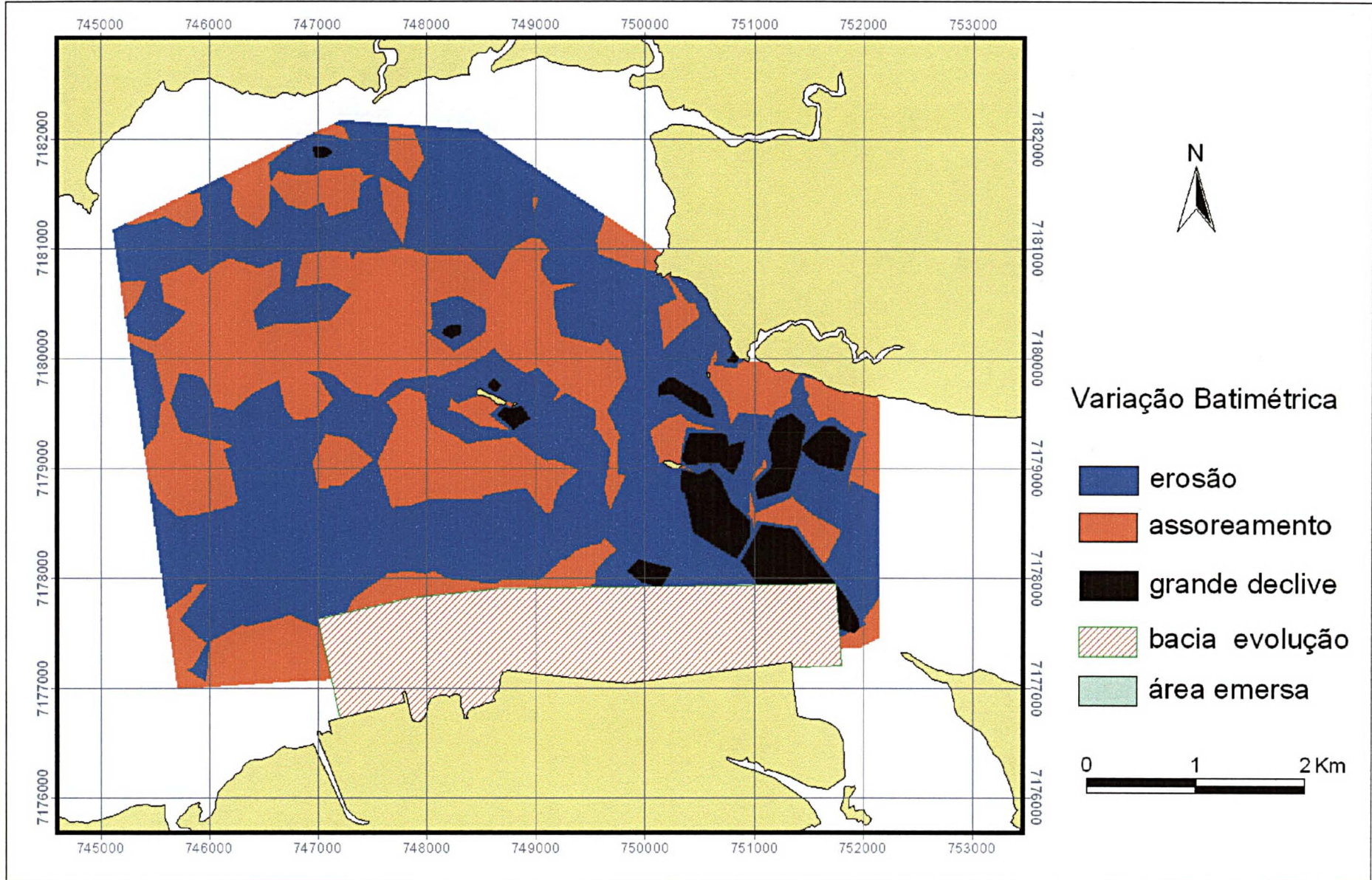


Figura 5.2.1d – Mapa de diferenças de profundidades entre os levantamentos batimétricos realizados em 1959 e 1998

Os locais com tendência a erosão cobrem 60% da área comparada, enquanto que locais com tendência ao assoreamento somam 40%, resultando num volume de aproximadamente 3473000 m<sup>3</sup> de sedimentos erodidos.

### 5.2.2 – Comparação batimétrica dos levantamentos realizados em fevereiro e agosto de 2001 na bacia de evolução do porto de Paranaguá

As variações significativas de profundidade verificadas na bacia de evolução atingiram entre +30 cm e -30 cm, resultando num acréscimo de volume de sedimentos de aproximadamente 153200 m<sup>3</sup>, num intervalo de seis meses (Fig. 5.2.2).

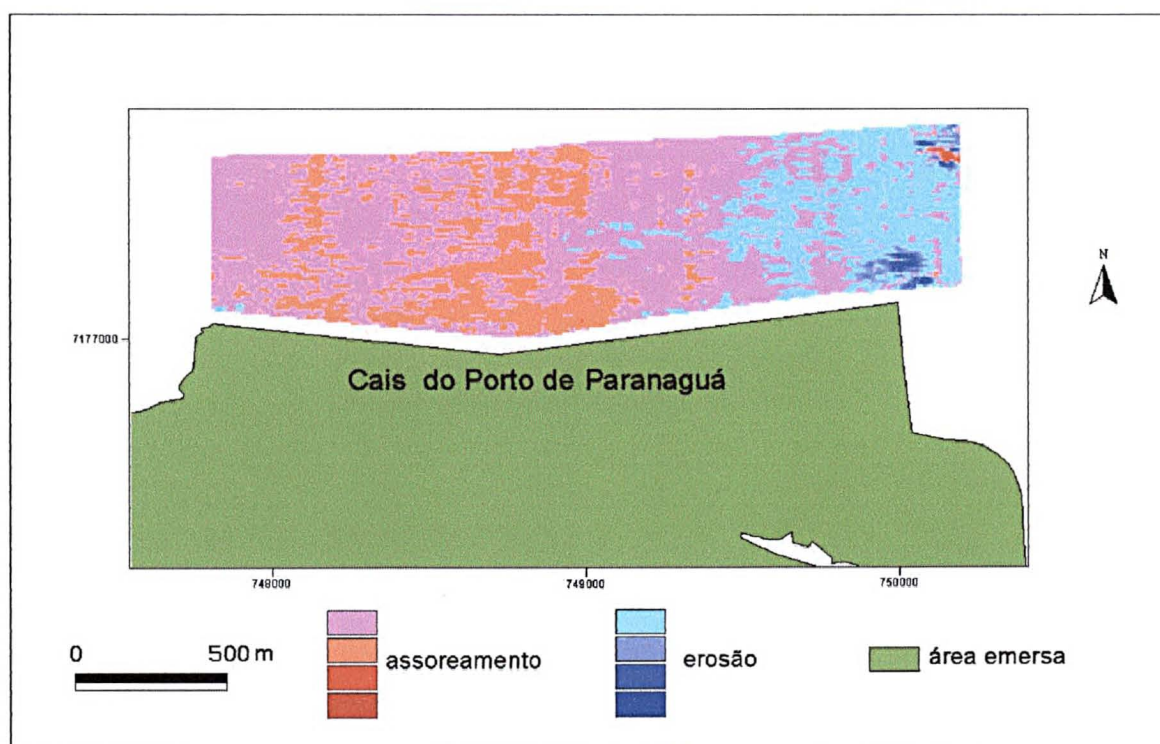


Figura 5.2.2 - Mapa de diferenças de profundidades calculadas entre os levantamentos batimétricos de fevereiro e de agosto de 2001 na bacia de evolução do cais comercial de Paranaguá.

### 5.3 – MAPEAMENTO DOS SEDIMENTOS DA SUPERFÍCIE DO FUNDO ESTUARINO REALIZADO EM 2001

#### 5.3.1 – Distribuição das Classes Texturais dos Sedimentos Segundo a Classificação de SHEPARD (1954)

A superfície do fundo estuarino nas adjacências do Porto de Paranaguá é composta por sedimentos das classes texturais areia; areia siltica; silte arenoso e silte, segundo a classificação de SHEPARD (1954) (Fig. 5.3.1.1).

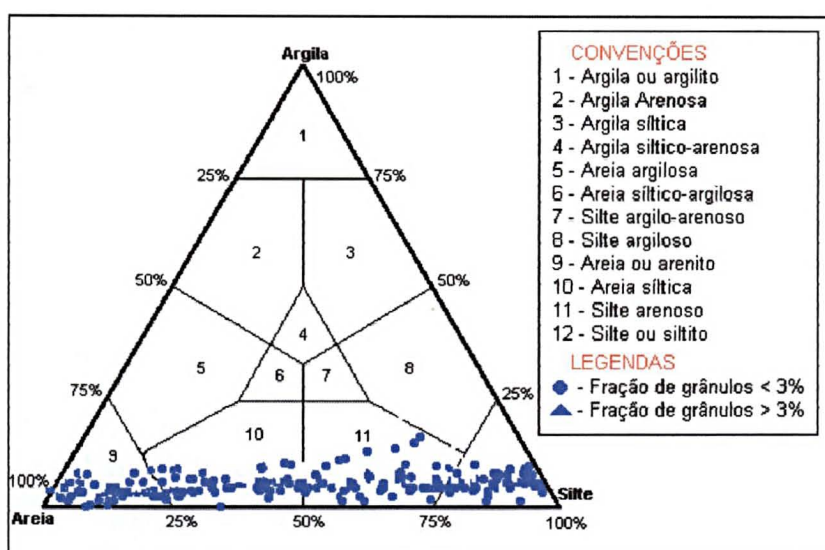


Figura 5.3.1.1 – Diagrama triangular de classificação dos sedimentos do FEAPP

A fração silte é a que recobre a maior área, cerca de 13,2 Km<sup>2</sup>, perfazendo 37,4 % de um total de aproximadamente 35,3 Km<sup>2</sup> (Fig. 5.3.1.2). Sua distribuição se faz na forma de corpos alongados preferencialmente na direção leste/oeste no setor centro/norte e na parte norte do afunilamento do estuário. Também aparece na forma de núcleos que gradam para silte arenoso no Norte da área e sobre o canal principal (Fig. 5.3.1.3).

A fração silte arenoso se estende por 12,4 Km<sup>2</sup> (35%) que, se somada à área de silte, recobrem mais de 70 % do local estudado. Está presente nos vários setores da área como feições amorfas que ora são intersectadas e ora englobam termos mais siltosos ou arenosos.

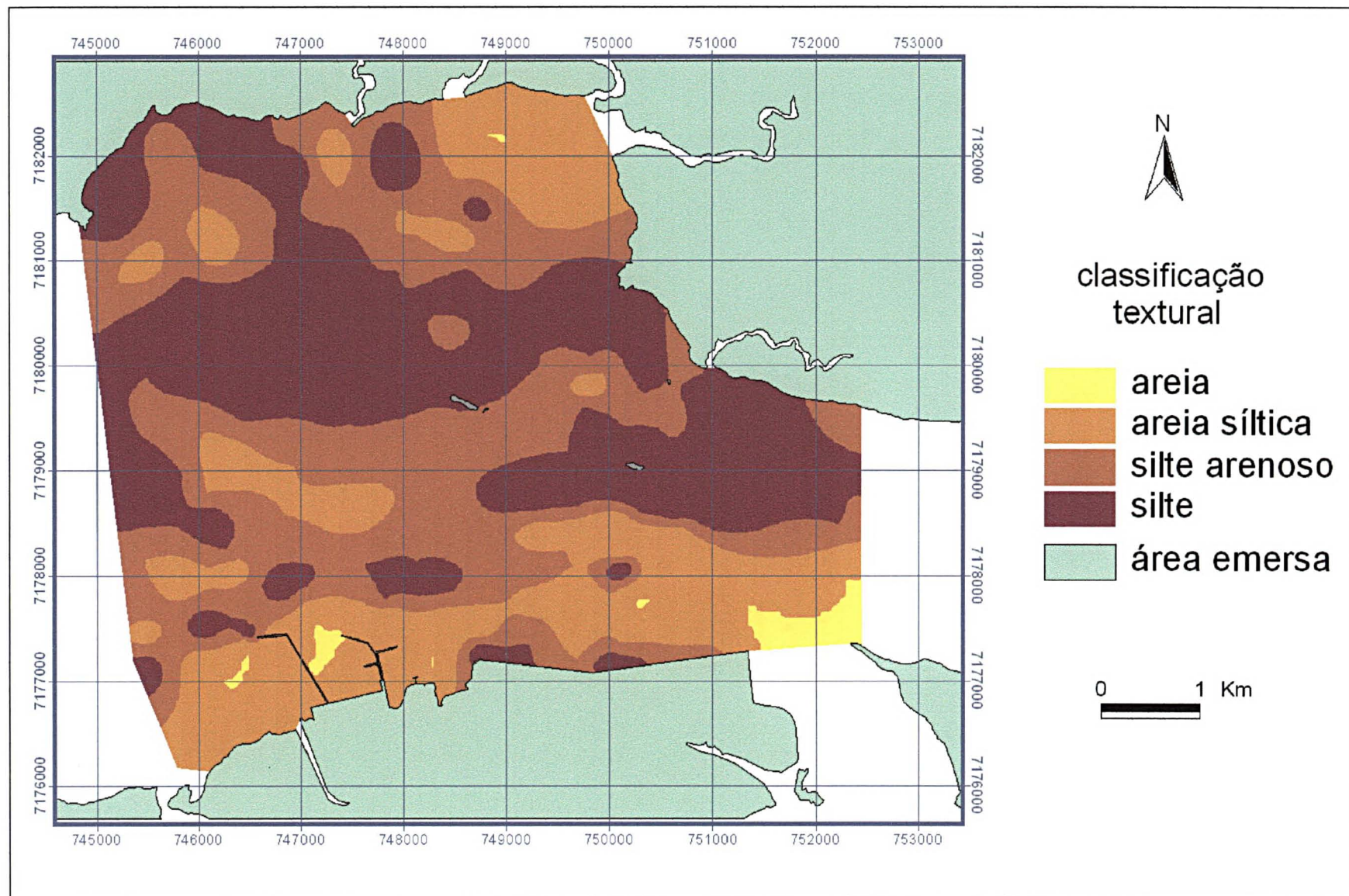


Figura 5.3.1.2 – Mapa de classificação textural dos sedimentos da superfície do FEAPP

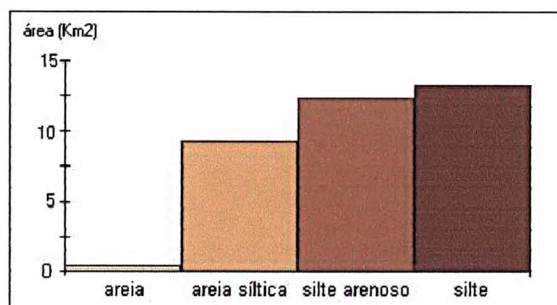


Figura 5.3.1.3 – Histograma de frequência em área das classes texturais dos sedimentos FEAPP

A areia siltica também apresenta uma expressiva área de recobrimento com aproximadamente 9,2 Km<sup>2</sup> (26 %). Estende-se notadamente ao longo do canal principal e sobre o setor sudoeste da área. Na margem norte do estuário aparece próxima às desembocaduras dos rios que ali deságuam, e na forma de núcleos dispersos em vários locais sobre as “manchas” de silte arenoso (Fig. 5.3.1.2 e Fig. 5.3.1.3)

O termo areia é o que aparece com menor distribuição espacial representando apenas 2 % (aproximadamente 0,5 Km<sup>2</sup>). Localiza-se no compartimento Sudoeste e no canal principal.

## 5.3.2 – PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DE FOLK E WARD (1957) DOS SEDIMENTOS DA ÁREA DE ESTUDO

### 5.3.2.1 – Diâmetro médio

O diâmetro médio ( $Mz$ ) é uma medida de tendência central que indica a ordem de grandeza granulométrica dos sedimentos. FOLK e WARD (1957) propuseram para o cálculo de  $Mz$  a seguinte fórmula:

$$Mz = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$$

Os valores dos percentis ( $\phi_x$ ) fornecem uma média razoável para o terço com granulometria mais grossa da amostra; para o terço intermediário e para o terço mais fino, na sua curva de distribuição granulométrica (SUGUIO, 1973).

O silte é a granulometria com maior distribuição espacial sobre a área. Tanto na sua moda, silte grosso (aproximadamente 17 Km<sup>2</sup>), que representa 48 % de um total de 35,6 Km<sup>2</sup>, como no somatório das parcelas (silte grosso + silte médio + silte fino = 27,1 Km<sup>2</sup>), recobre mais de 76 % da área (Tab. 1) (Fig. 5.3.2.1.1 e Fig. 5.3.2.1.2).

TABELA 5.3.2.1 – Distribuição das classes granulométricas no FEAPP

Classe granulométrica	área	
	(Km <sup>2</sup> )	%
areia fina	0.68	1.90
areia muito fina	8.82	21.99
silte grosso	17.03	47.86
silte médio	9.92	27.86
silte fino	0.14	0.39
total	35.59	100.00

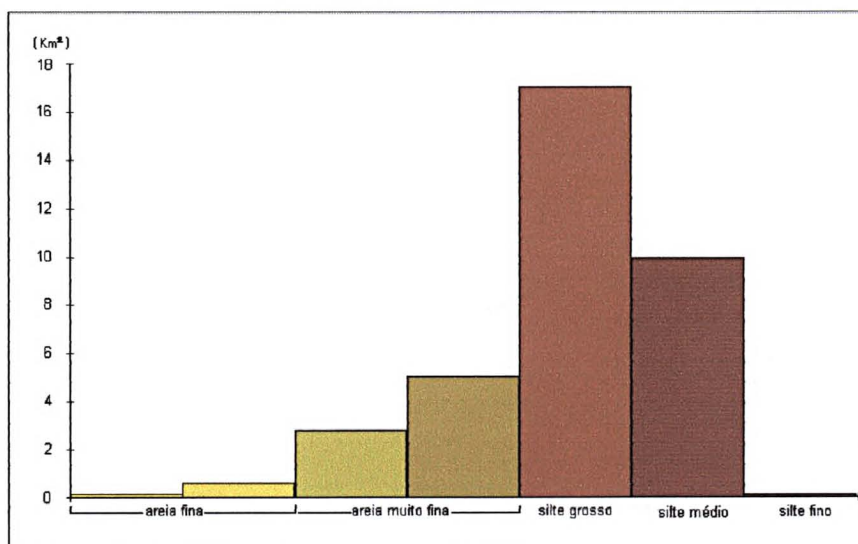


FIGURA 5.3.2.1.1 – HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA DE ÁREAS DAS CLASSES GRANULOMÉTRICAS

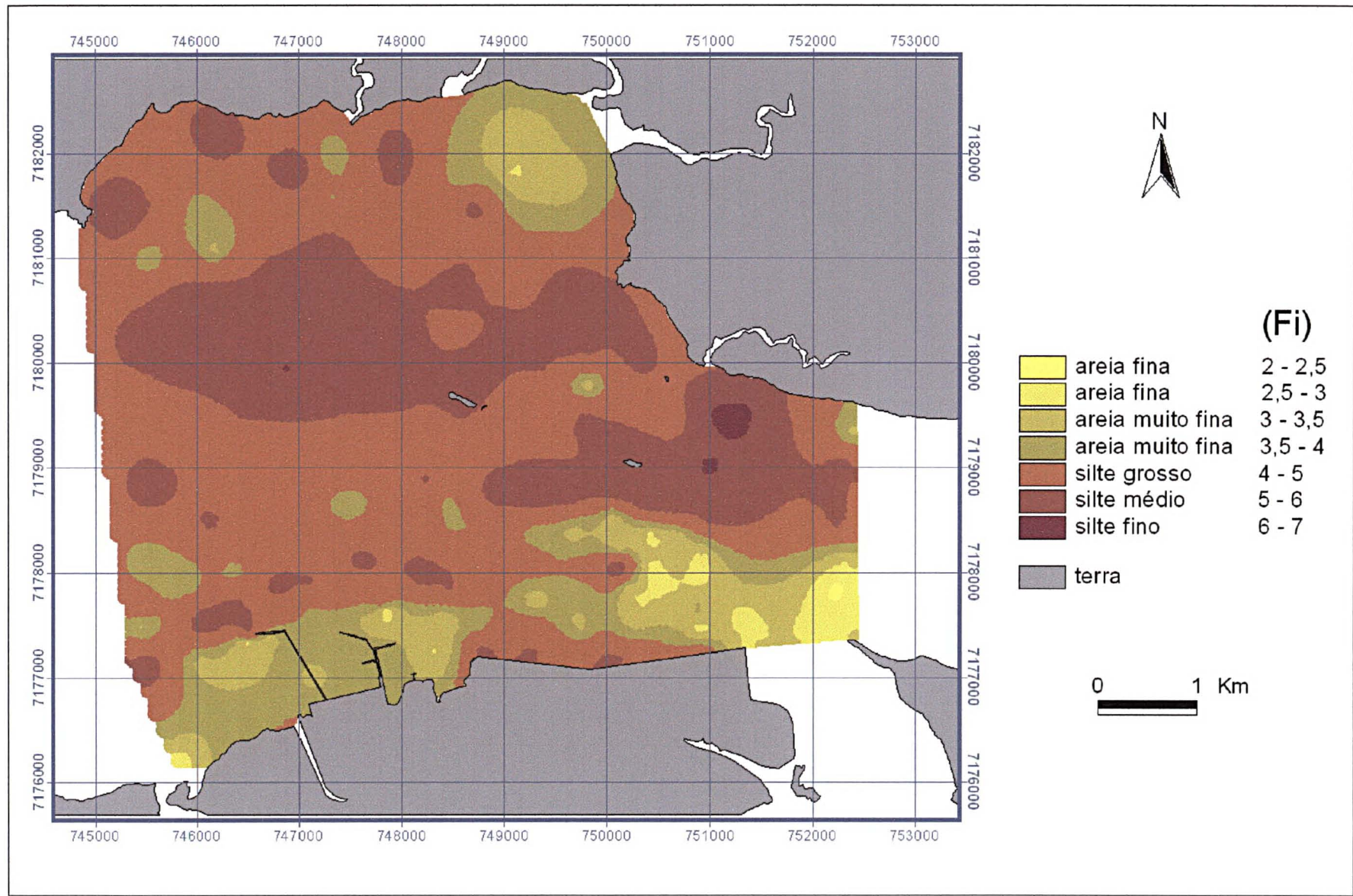


FIGURA 5.3.2.1.2 – MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DE DIÂMETRO MÉDIO DAS CLASSES GRANULOMÉTRICAS

### 5.3.2.2 – Grau de seleção

O desvio padrão é uma medida de dispersão ou espalhamento em torno da média ou diâmetro modal. Do ponto de vista geológico essa dispersão representa o grau de seleção granulométrica dos sedimentos, que pode refletir a atuação de agentes selecionadores como por exemplo as correntes.

FOLK & WARD (1957) sugeriram uma medida de seleção a qual denominaram de desvio padrão inclusivo, dado pela seguinte fórmula:

$$\sigma_I = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6,6}$$

Esta relação também utiliza os percentis da curva de frequência acumulada e apresenta um valor bastante aproximado do desvio padrão calculado matematicamente.

Mais de 90% da área é recoberta por sedimentos pobremente selecionados (Tab. 5.3.2.2) (Fig. 5.3.2.2.1 e Fig. 5.3.2.2.2).

TABELA 5.3.2.2 – VALORES DE DISTRIBUIÇÃO DO GRAU DE SELEÇÃO

grau de seleção	intervalo	área (Km <sup>2</sup> )	% de área
bem selecionado	0.35 a 0.50	0.09	0.25
moderadamente selecionado	0.5 a 1.0	1.56	4.38
pobremente selecionado	1.0 a 2.0	32,80	92,16
muito pobremente selecionado	2.0 a 4.0	1.14	3.20
total	*	35.59	100.00

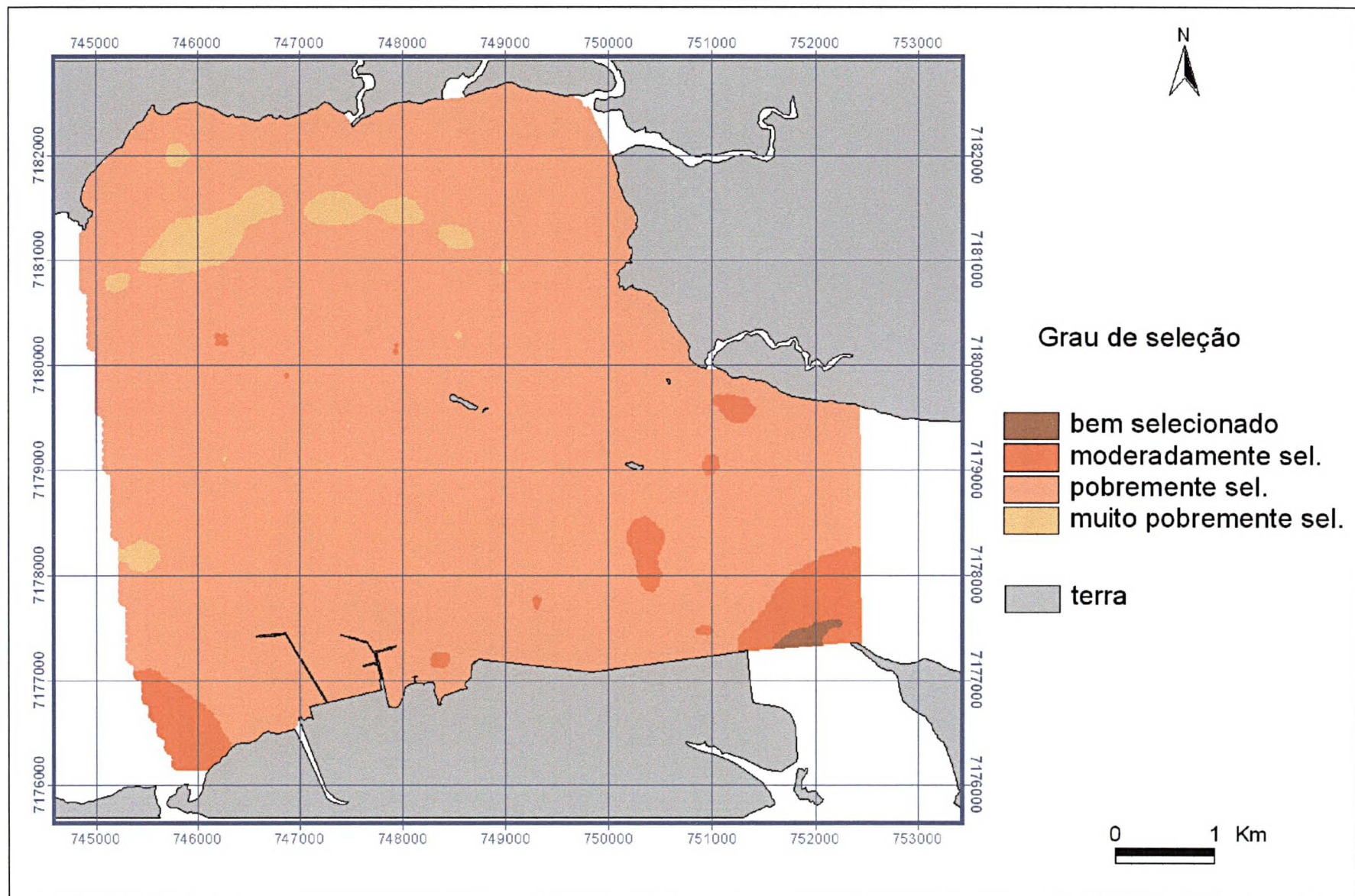


FIGURA 5.3.2.2.1 - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DO GRAU DE SELEÇÃO DOS SEDIMENTOS

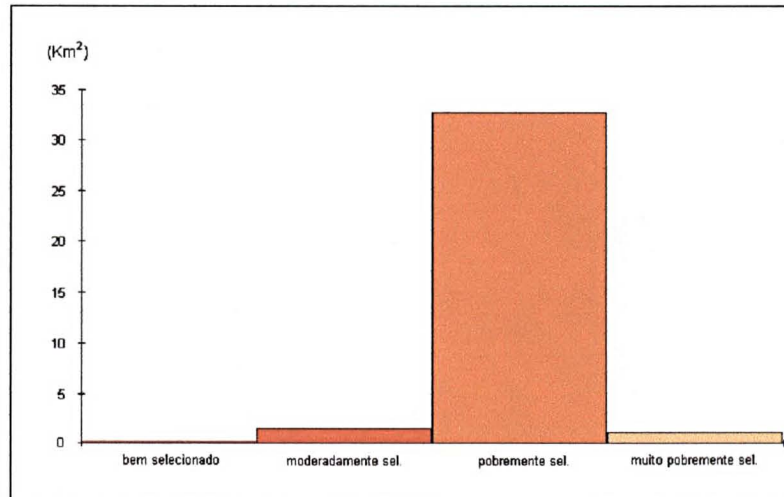


FIGURA 5.3.2.2.2 – HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIA DE ÁREAS DAS CLASSES DO GRAU DE SELEÇÃO

### 5.3.2.3 – Grau de assimetria

O grau de assimetria dos sedimentos é indicado pelo afastamento do diâmetro médio da mediana. INMAN (1952) propôs uma fórmula para verificar o grau de afastamento e o sentido da assimetria:

$$\alpha\phi = \frac{M\phi - Md\phi}{\sigma\phi}$$

Se a assimetria for negativa a média será menor que a mediana e a distribuição será desviada para valores  $\phi$  menores ou para partículas grossas. Por outro lado, se a assimetria for positiva então a distribuição será desviada para o lado dos valores  $\phi$  maiores, ou seja, para partículas mais finas. Ainda segundo INMAN (1952) é necessário considerar também as variações na calda da curva e, para tanto, recomendou a utilização da segunda assimetria dada por:

$$\alpha_2\phi = \frac{1/2(\phi_{95} - \phi_5) - Md\phi}{\sigma\phi}$$

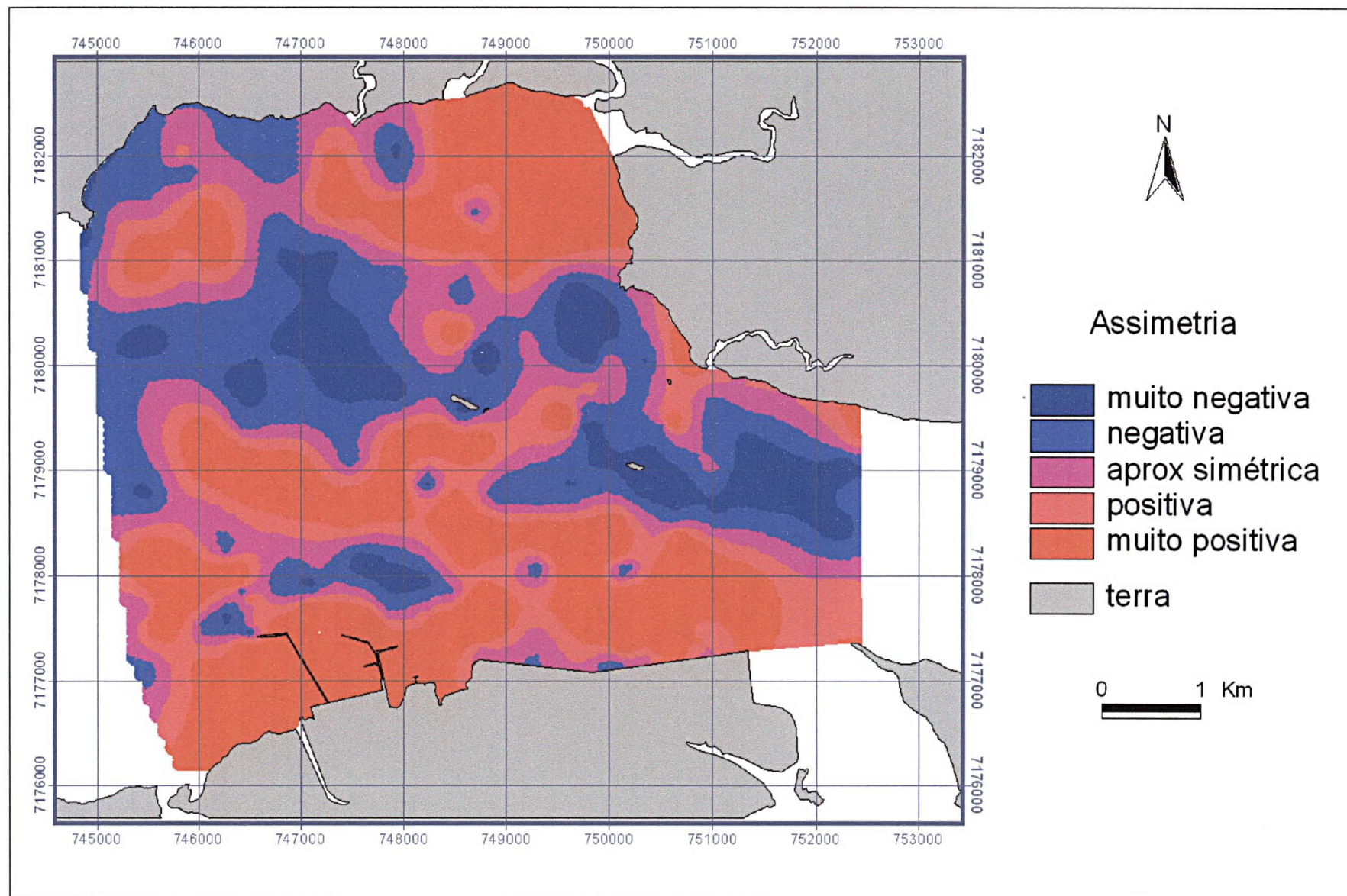


FIGURA 5.3.2.3.1 – MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DO GRAU DE ASSIMETRIA

Posteriormente FOLK e WARD (1957) modificaram a proposta de INMAN combinando-a em uma única fórmula a qual chamaram de assimetria gráfica inclusiva.

$$Sk_I = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$$

Na área de estudo, de forma geral, as assimetrias negativas distribuem-se preferencialmente sobre sedimentos mais finos e as assimetrias positivas sobre os sedimentos mais grossos (Fig. 5.3.2.3.2) Embora predominem sedimentos finos no local, o total de áreas com assimetria negativa é inferior às áreas com assimetrias positivas ( 11,38 Km<sup>2</sup> e 17,47 Km<sup>2</sup>, respectivamente) (Tab. 5.3.2.3) (Fig. 5.3.2.3.1 e fig. 5.3.2.3.2).

TABELA 5.3.2.3 – Classes de assimetria e respectivas áreas

grau de assimetria	intervalo	área (Km <sup>2</sup> )	% de área
assimetria muito negativa	-1.00 a -0.30	3.18	8.94
assimetria negativa	-0.30 a -0.10	8.20	23.03
aproximadamente simétrica	-0.10 a +0.10	6.75	18.96
assimetria positiva	+0.10 a +0.30	5.99	16.84
assimetria muito positiva	+0.30 a +1.00	11.48	32.25
total	*	35.59	100.00

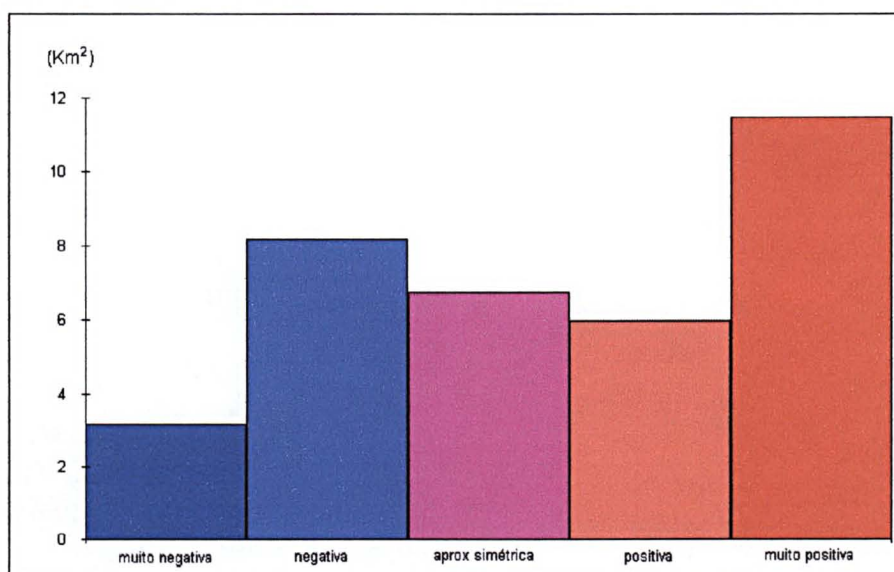


FIGURA 5.3.2.3.2 – HISTOGRAMA DE ÁREAS DO GRAU DE ASSIMETRIA

### 5.3.2.4 – Curtose

A curtose é a medida que retrata o grau de agudez dos picos nas curvas de distribuição de freqüência (SUGUIO, 1973), indicando a razão entre o espalhamento na parte central e nas caudas dessas curvas.

FOLK e WARD (1957) sugeriram o cálculo do que chamaram de curtose gráfica pela fórmula abaixo:

$$K_G = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2,44(\phi_{75} - \phi_5)}$$

As curvas normais têm valor de  $K_G = 1$  porque a dispersão  $\phi_5 - \phi_{95}$  é exatamente 2,44 vezes a dispersão  $\phi_{25} - \phi_{75}$ .

A curtose se distribui sobre a área com porções muito platicúrticas a platicúrticas recobrando sedimentos com menor grau de seleção. As porções leptocúrticas a extremamente leptocúrticas cobrem locais com melhor grau de seleção (Fig. 5.3.2.4.2). Embora a área de estudo se constitua de sedimentos em sua maioria pobremente selecionados, mais de 60 % dela situa-se nos intervalos leptocúrticos (Tab. 5.3.2.4) (Fig. 5.3.2.4.1 e Fig. 5.3.2.4.2).

TABELA 5.3.2.4 – VALORES DE CURTOSE E RESPECTIVAS ÁREAS DE COBERTURA

curtose	valores	áreas(Km2)	%área
muito platicúrtica	< 0.67	0.22	0.62
platicúrtica	0.67 a 0.90	5.05	14.18
mesocúrtica	0.90 a 1.11	6.64	18.64
leptocúrtica	1.11 a 1.50	11.43	32.12
muito leptocúrtica	1.50 a 3.00	11.17	31.39
extremamente leptocúrtica	> 3.00	1.09	3.05
total	*	35.59	100.00

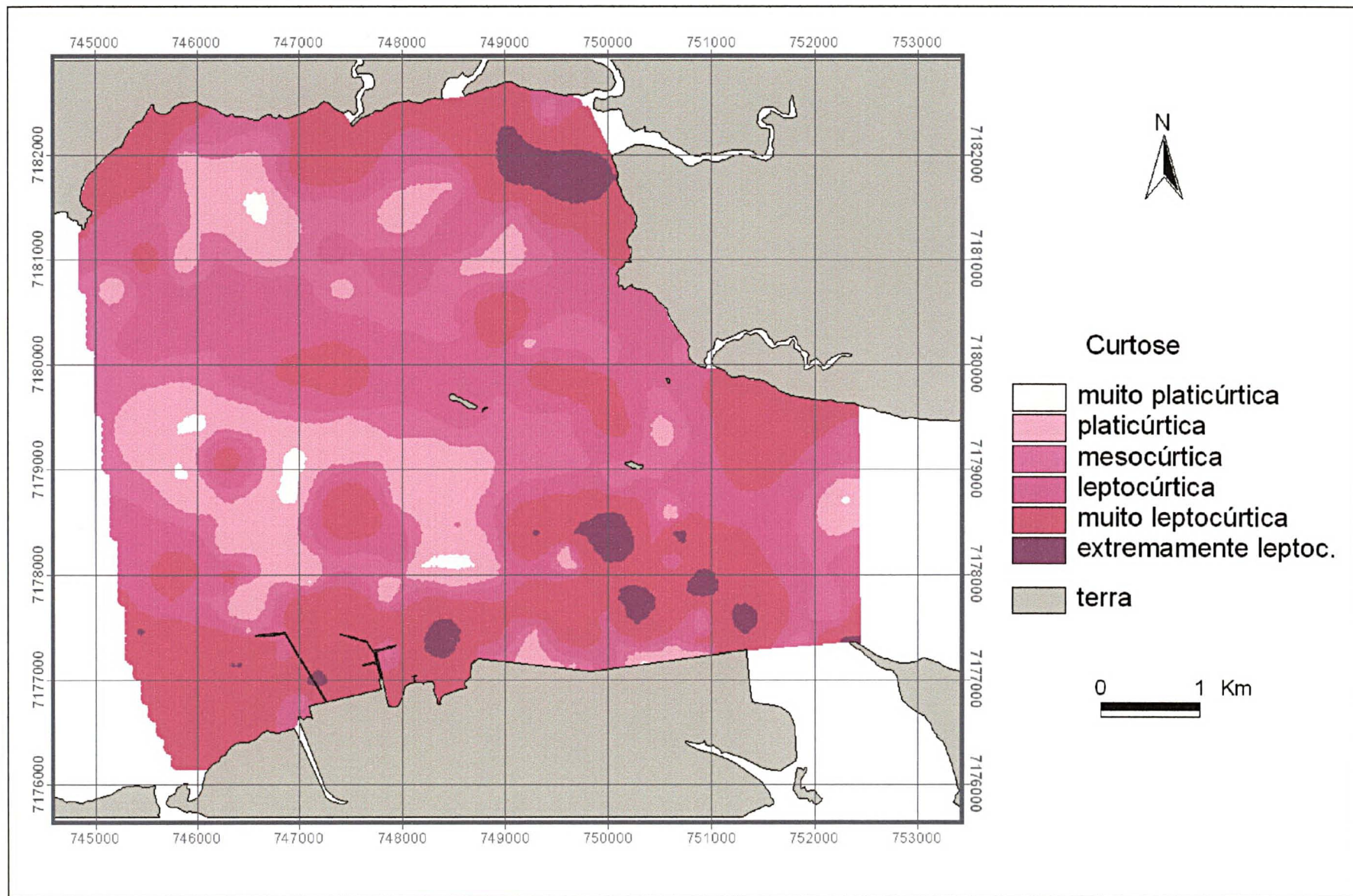


FIGURA 5.3.2.4.1 – MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DE VALORES DE CURTOSE

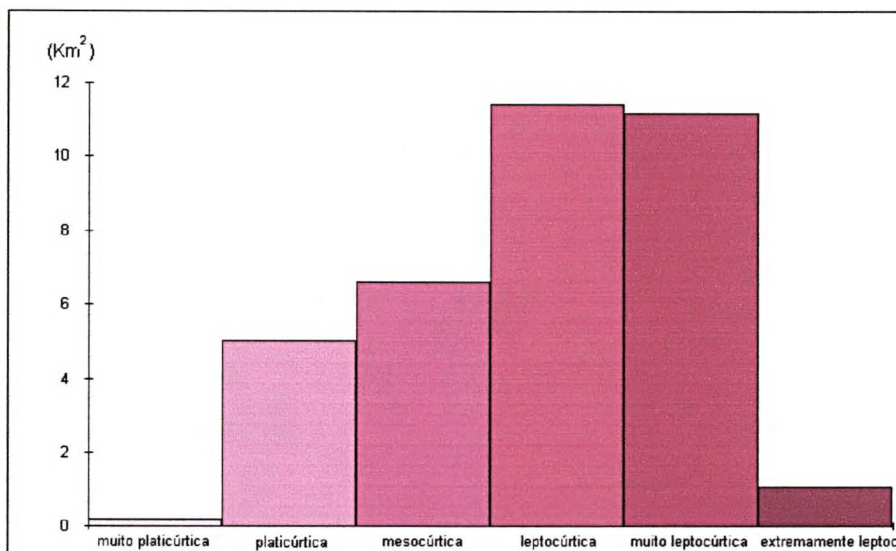


FIGURA 5.3.2.4.2 – HISTOGRAMA DE FREQUÊNCIAS DE CURTOSE

### 5.3.2.5 – Distribuição das porcentagens de areia, silte e argila

As porcentagens de areia e silte variaram na sua distribuição espacial, respectivamente, de 0 a 99% e de 0 a 95% (Fig. 5.3.2.5 a). As porcentagens de argila variam de 1 a 15% (Fig. 5.3.2.5 b).

### 5.3.3 – TEORES DE MATÉRIA ORGÂNICA

A matéria orgânica se distribui na área com teores variando entre o mínimo de 1,7 %, máximo de 23,7 % e média de 11,5 % (Fig. 5.3.3.1). Sua classe modal (Fig. 5.3.3.2) localiza-se no intervalo de 10 % a 15 %, cobrindo uma área de aproximadamente 14,05 Km<sup>2</sup> (Tab. 5.3.3).

TABELA 5.3.3 – Dimensões de áreas com diferentes teores de matéria orgânica

teores M.O.	área(Km <sup>2</sup> )	% de área
1% a 5%	2.99	8.40
5% a 10%	10.43	29.31
10% a 15%	14.05	39.48
15% a 20%	6.90	19.39
20% a 24%	1.22	3.42
total	35.59	100.00

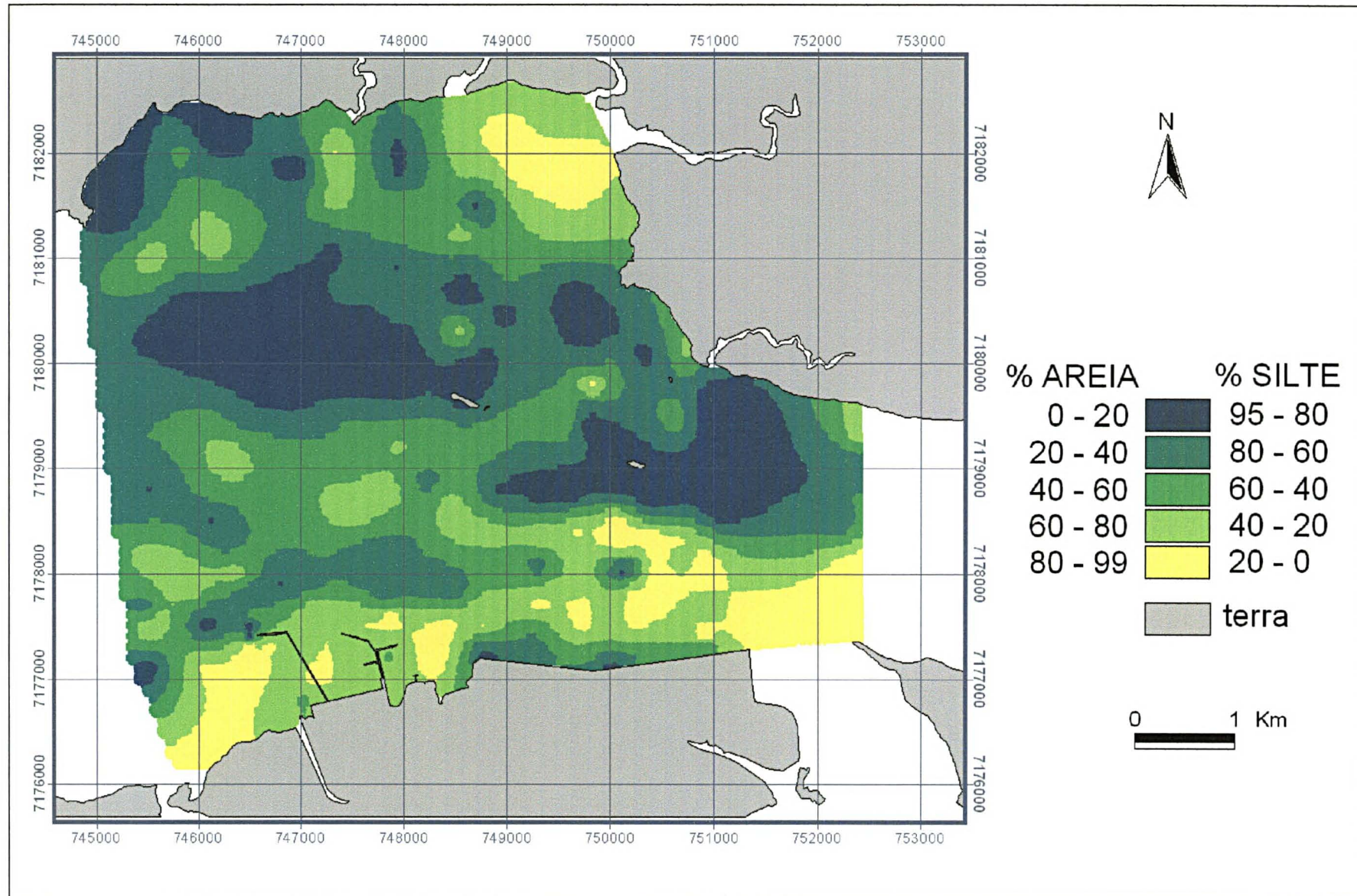


Figura 5.3.2.5 a – Mapa de distribuição das porcentagens de areia e silte

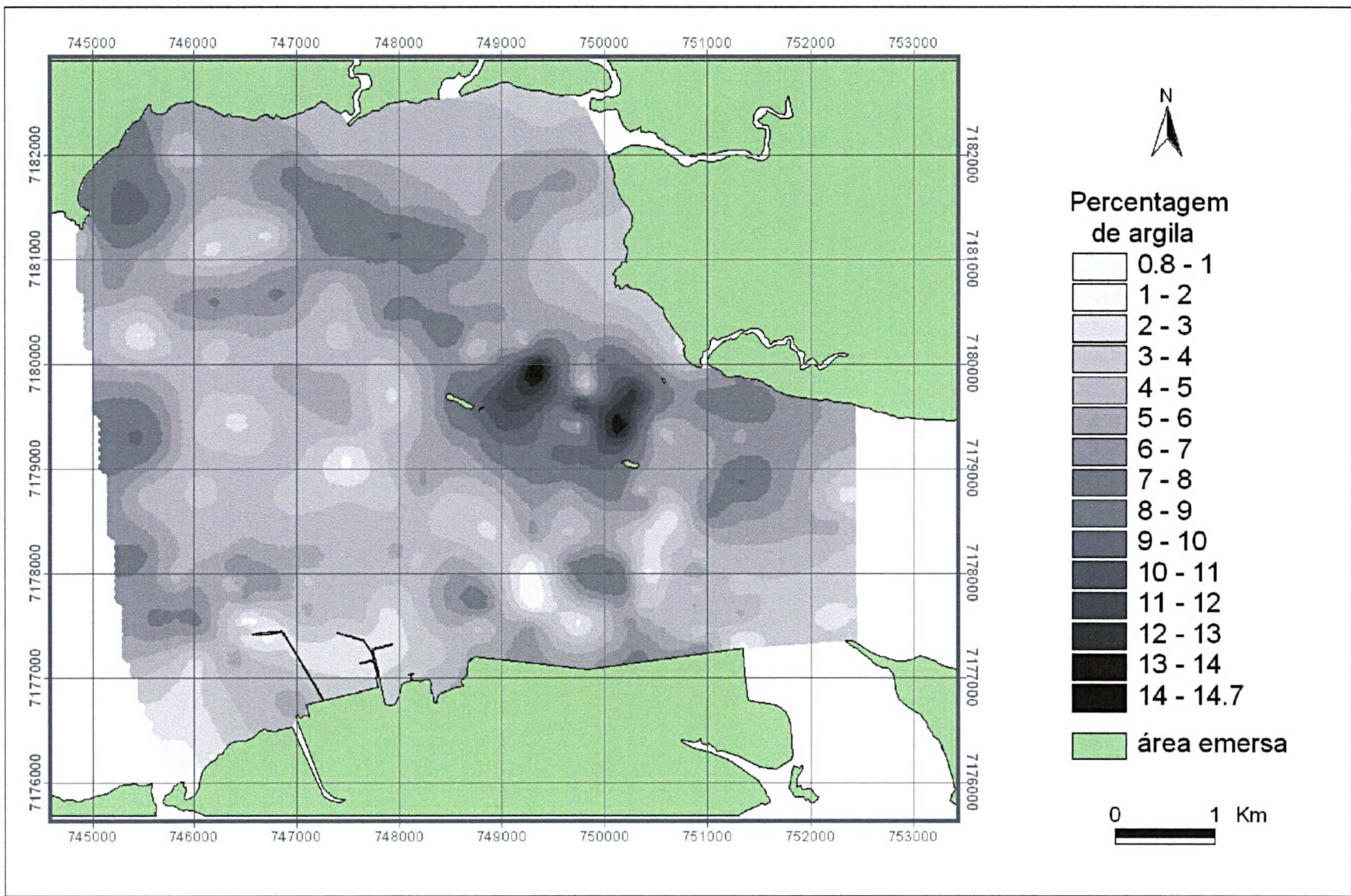


Figura 5.3.2.5 b – Mapa de distribuição das porcentagens de argila



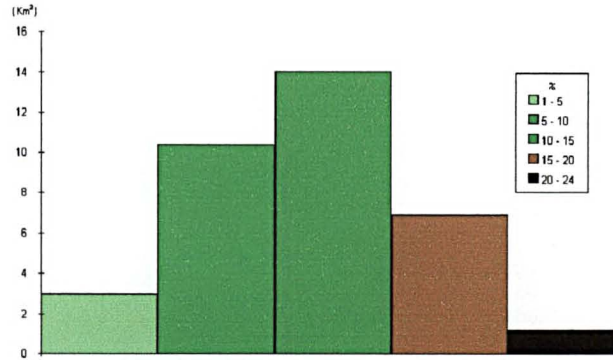


FIGURA 5.3.3.2 – Histograma de frequência de áreas com diferentes teores de matéria orgânica

#### 5.3.4 – TEORES DE CARBONATO DE CÁLCIO

Os teores de  $\text{CaCO}_3$  variam de zero a 25 %, com média de 9 %. A classe modal (Fig. 5.3.4.1) situa-se no intervalo de 5 % a 10 %, e se estende por 17,12  $\text{Km}^2$ , cobrindo quase metade da área total (Tab. 6).

TABELA 6 - Dimensões de áreas com diferentes teores de Carbonato biodetrítico

$\text{CaCO}_3$	área( $\text{Km}^2$ )	% de área
0% a 5%	5.08	14.27
5% a 10%	17.12	48.09
10% a 15%	10.82	30.40
15% a 20%	2.49	7.00
20% a 25%	0.08	0.24
total	35.59	100.00

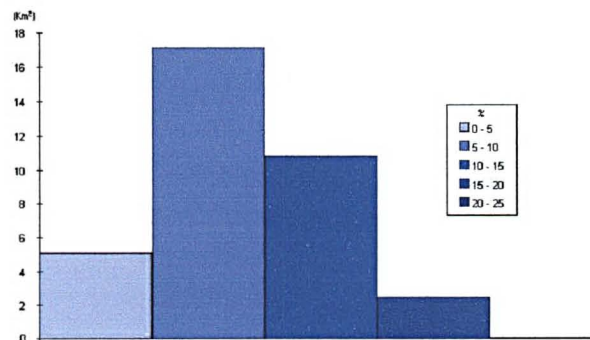


FIGURA 5.3.4.1 – Histograma de frequência de áreas com diferentes teores de Carbonato de Cálcio

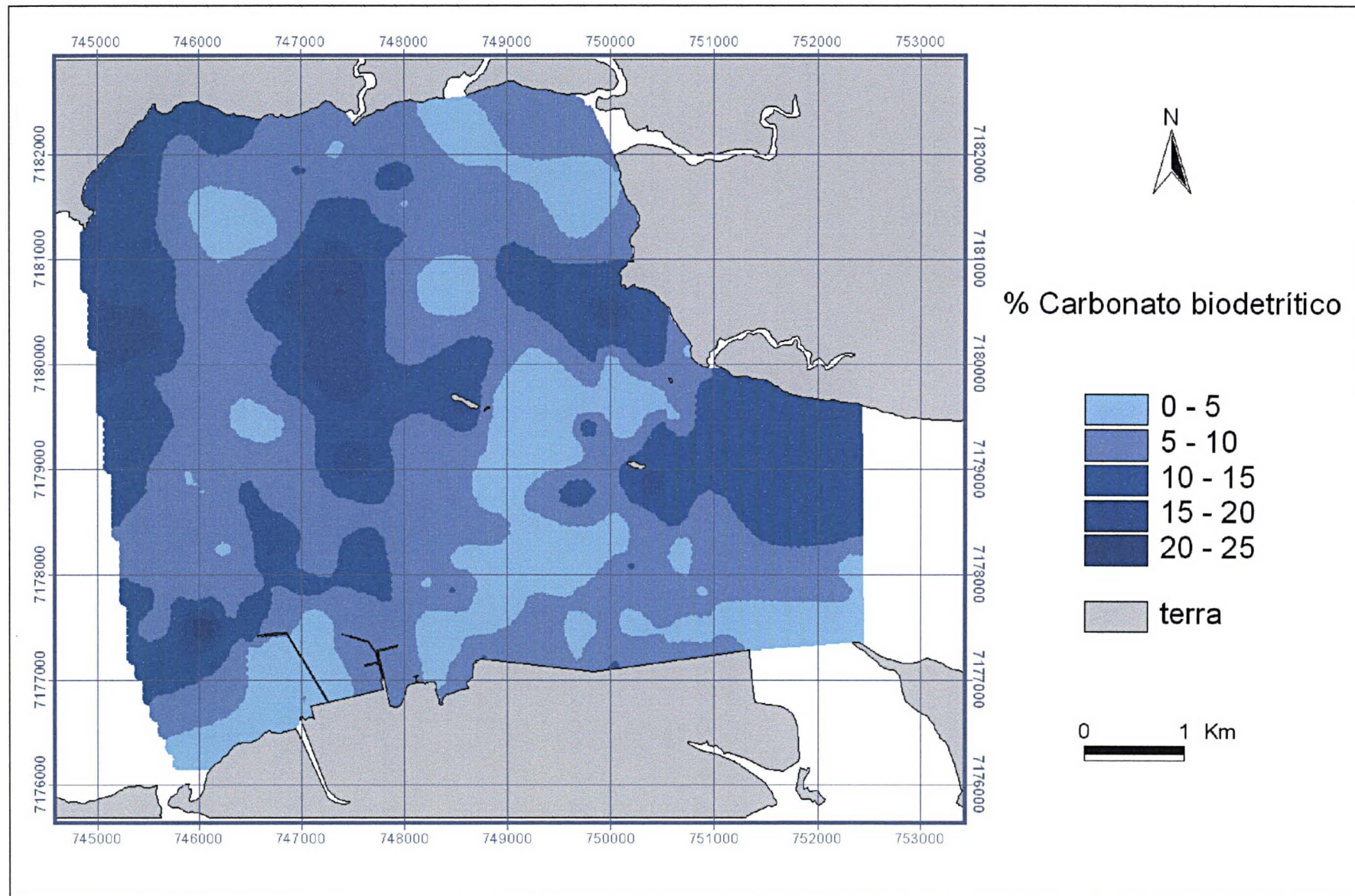


FIGURA 5.3.4.2 – Mapa de distribuição de áreas com diferentes teores de Carbonato biodetrítico

## 5.4 – MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO

### 5.4.1 – Distribuição das concentrações de MPS

As concentrações do material particulado em suspensão, medidas a 1/3 de profundidade a partir do fundo estuarino, apresentaram valores entre 25 a 75 mg / litro durante a maré enchente (Fig. 5.4.1.1) e entre 25 e 125 mg / litro durante a maré vazante (Fig.5.4.1.2).

### 5.4.2 – Balanço do aporte de MPS na bacia de evolução do cais comercial do Porto de Paranaguá

Para as três seções examinadas o aporte de MPS na maré vazante (valores negativos) é superior ao aporte na maré enchente (Tab. 5.4.2a e tab. 5.4.2b).

Tabela 5.4.2a – Carga transportada por unidade de área na maré enchente

Seção	Vazão(m <sup>3</sup> /s)	Carga(mg.s <sup>-1</sup> )	Área Seção(m <sup>2</sup> )	mg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>
A	7807.5	258506325	27440.15	9420.73
B	665.3	22666771	21690.97	1044.99
C	1309.7	58360232	14091.00	4141.67

Tabela 5.4.2b - Carga transportada por unidade de área na maré vazante

Seção	Vazão(m <sup>3</sup> /s)	Carga(mg.s <sup>-1</sup> )	Área Seção(m <sup>2</sup> )	mg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>
A	-20321	-1181666150	26672.00	-44303.62
B	-17708.5	-1329022925	21402.00	-62098.07
C	-6273	-263152350	15139.00	-17382.41

No sentido da maré vazante ocorre um aumento da carga de MPS transportada entre as seções C e B, e perda de carga entre as seções B e A (Tab. 5.4.2c) (ver figura 4.7b).

Tabela 5.4.2c – Transporte líquido do MPS por unidade de área nas seções A,B e C na bacia de evolução do cais comercial do Porto de Paranaguá

Seções	vazante mg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	enchente mg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>	Balanço mg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>
A	-44303.62	9420.73	-34882.89
B	-62098.07	1044.99	-61053.08
C	-17382.41	4141.67	-13240.75

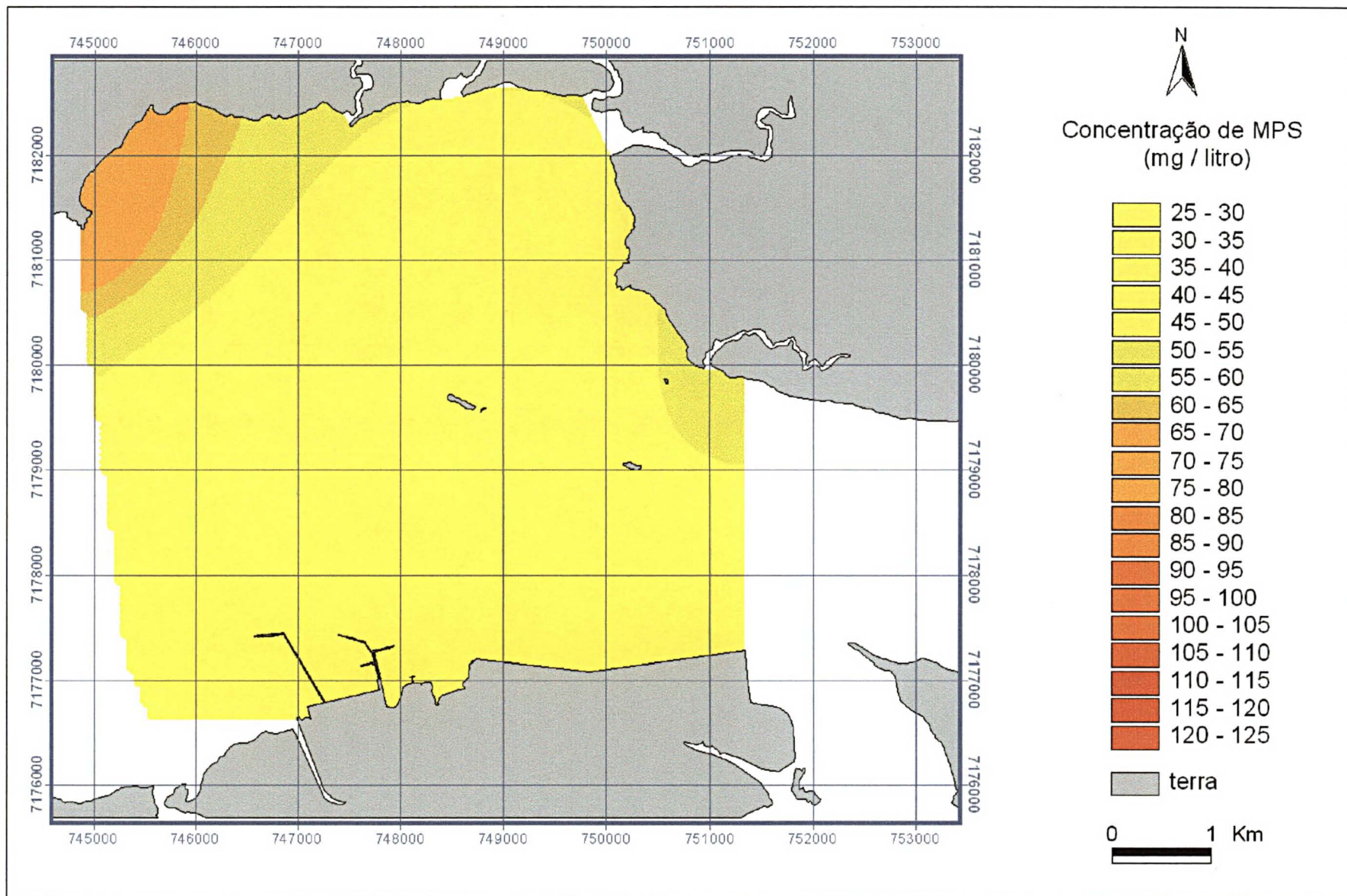


FIGURA 5.4.1.1 – Mapa de distribuição das concentrações de material particulado em suspensão durante a maré enchente (sizígia no inverno de 2001)

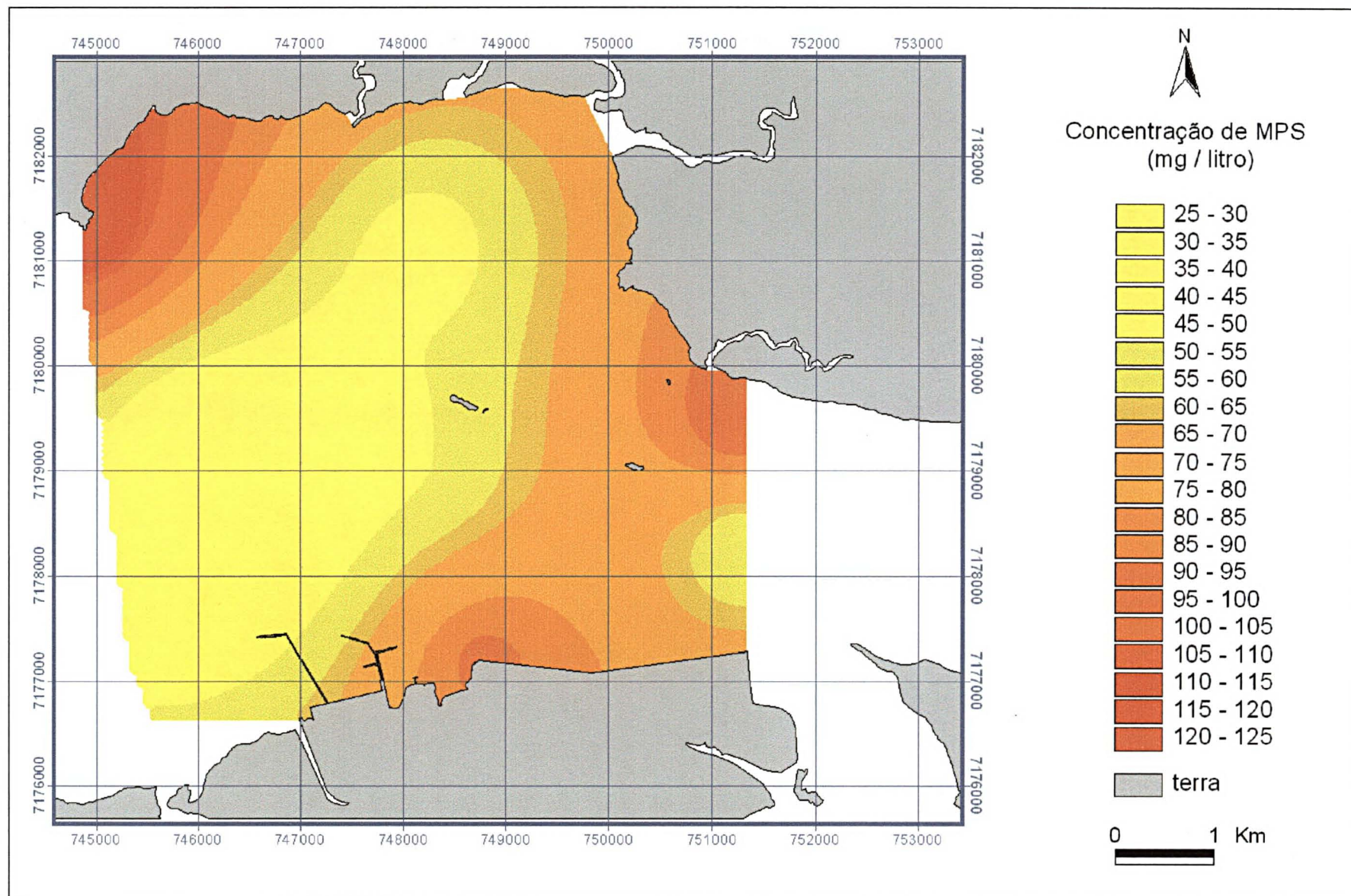


FIGURA 5.4.1.2 – Mapa de distribuição das concentrações de material particulado em suspensão durante a maré vazante (sizigia no inverno de 2001)

## 5.5 - CAMPOS DE CORRENTES DE MARÉ MEDIDOS A UM METRO ACIMA DO FUNDO ESTUARINO

As correntes de maré medidas a um metro do fundo estuarino forneceram valores que oscilaram entre 1,20 cm/s e 137,76 cm/s na enchente, enquanto que na vazante variaram de 3.42 cm/s a 143,5 cm/s (Tab. 5.5).

TABELA 5.5 – Velocidades de correntes medidas na camada de um metro de espessura, um metro acima do fundo estuarino

CORRENTES	MÍNIMA (cm/s)	MÁXIMA (cm/s)	MÉDIA (cm/s)
MARÉ ENCHENTE	1,20	137,76	35,04
MARÉ VAZANTE	3.42	143,5	50,03

Na maré enchente o padrão de circulação apresentado pelo campo de correntes é bastante complexo (Fig. 5.5.1):

Observa-se que a massa d'água que adentra pelo canal principal tem seu curso perturbado tanto pelas correntes provindas dos baixos fundos a norte da área, como da circulação residual que atua sobre a planície de maré a sudoeste.

No centro da área as correntes apresentam uma tendência contrária à direção de enchente, bifurcando-se para nordeste e sudeste nas proximidades da Ilha Guará.

Na parte norte da área as correntes residuais se direcionam preferencialmente para sul.

Na maré vazante o campo de correntes (Fig. 5.5.2) não apresenta tantas heterogeneidades quanto na enchente. Todavia se observa que enquanto na parte centro sul do estuário o padrão de correntes é de vazante, na parte norte o padrão é de enchente, resultando numa circulação de fluxo bidirecional.

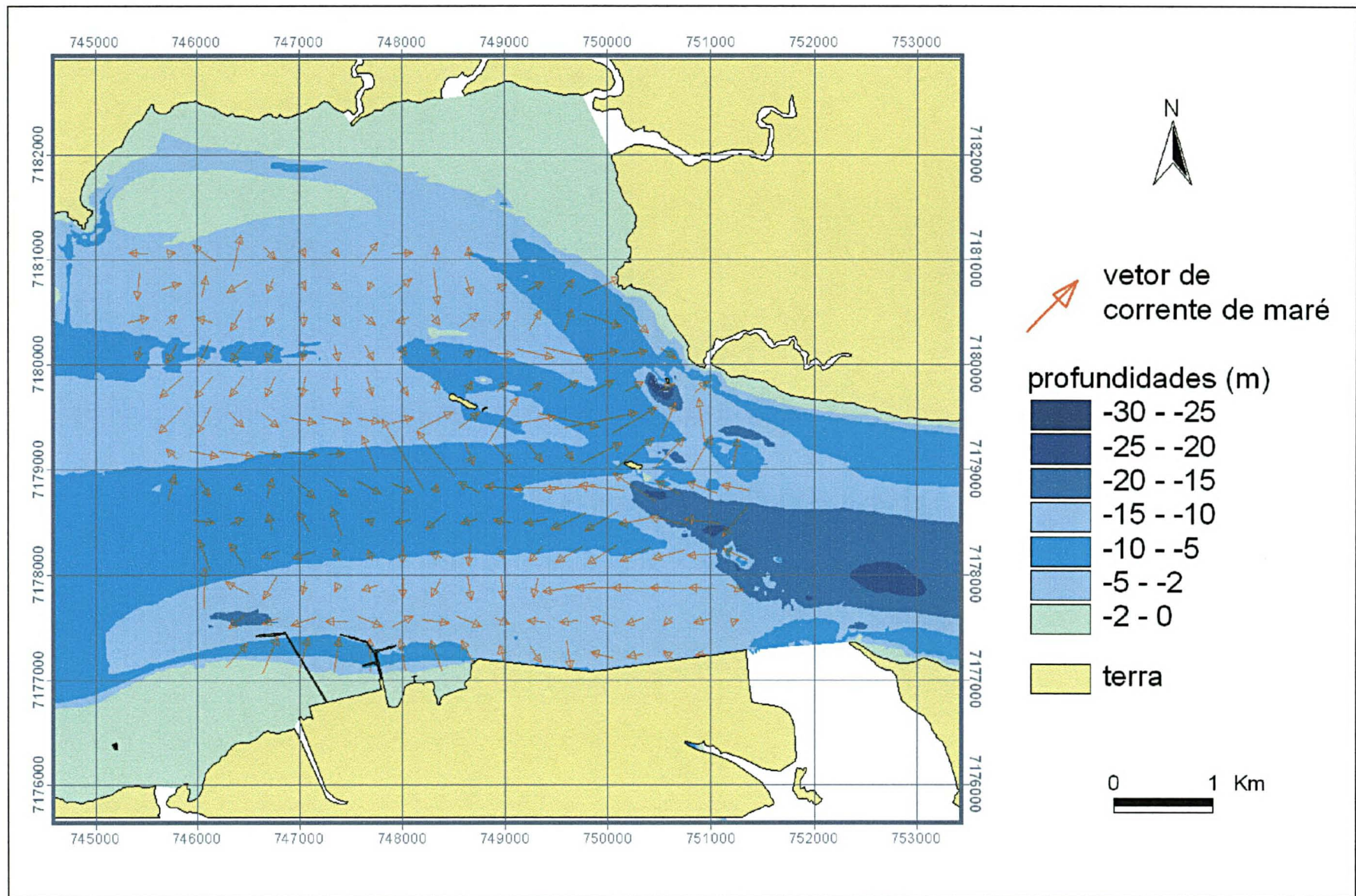


Figura 5.5.1 – Campo de correntes de maré enchente da camada de um metro de espessura, um metro acima do fundo estuarino

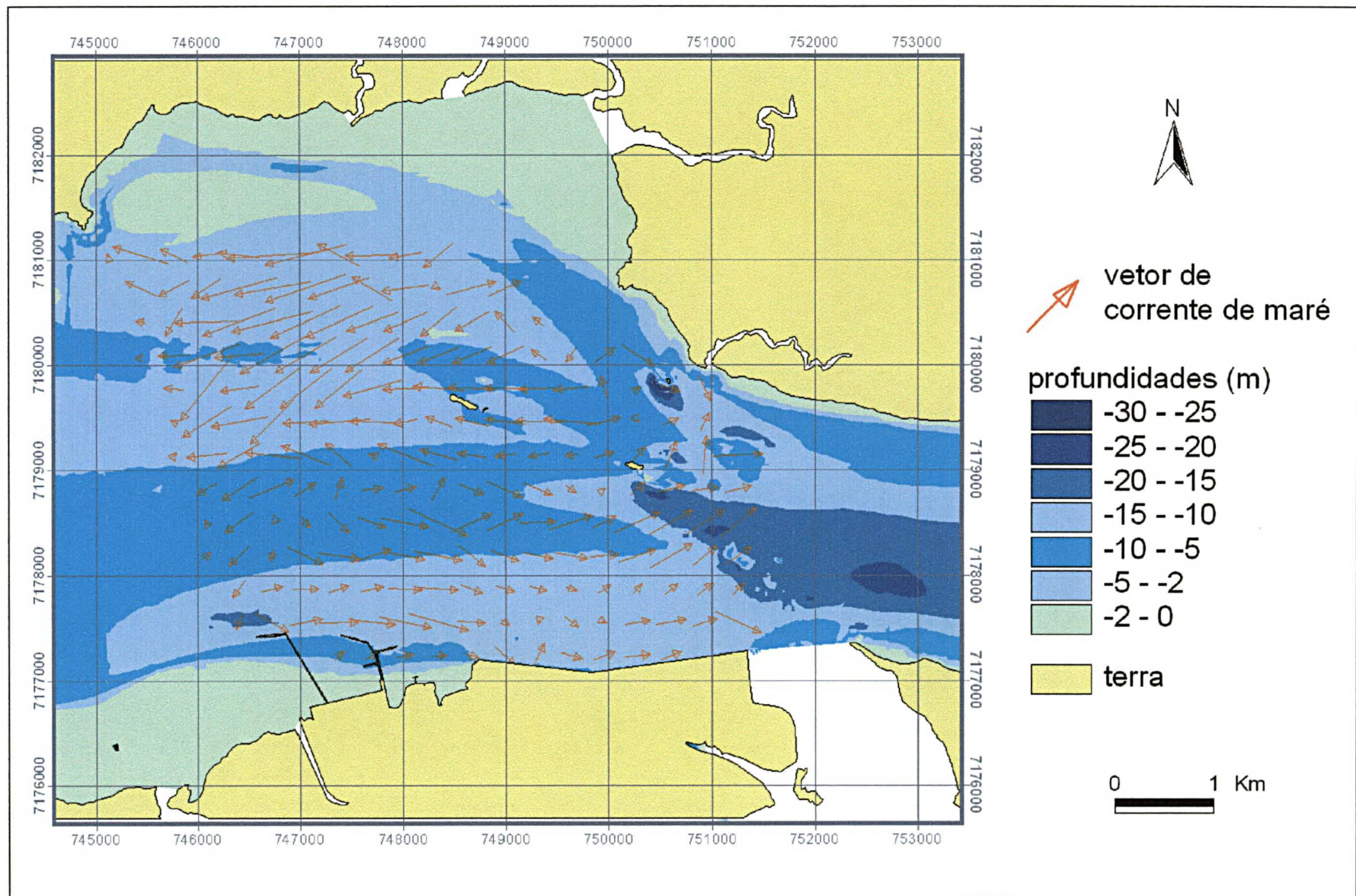


Figura 5.5.2 – Campo de correntes de maré vazante da camada de um metro de espessura, um metro acima do fundo estuarino

## 5.6 – INTENSIDADES DAS CORRENTES E SEU POTENCIAL PARA REALIZAR O TRANSPORTE DOS SEDIMENTOS NO FEAPP

As velocidades de cisalhamento necessárias para o limiar de transporte foram calculadas para os sedimentos não coesivos (ou incoesivos) da área de estudo encontram-se no intervalo de 0,9 cm/s e 1,3 cm/s (Fig. 5.6 a).

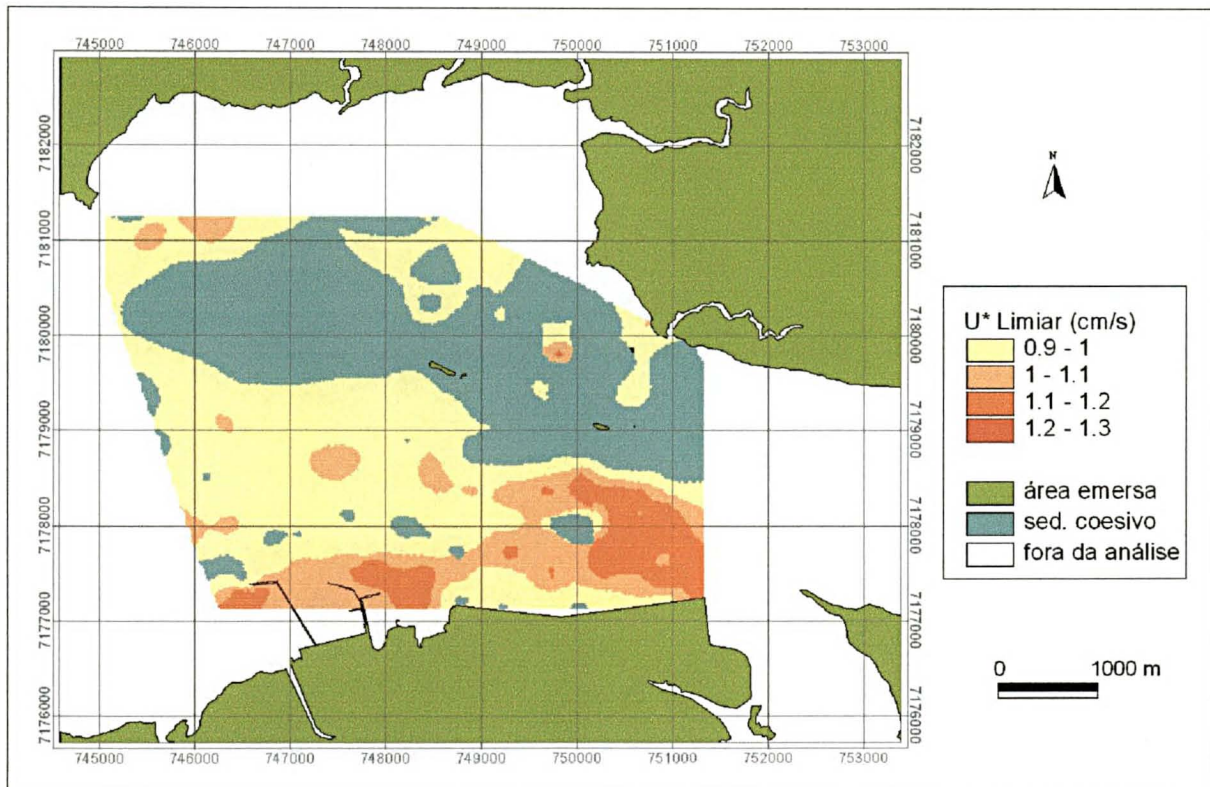


Figura 5.6a – Mapa de contornos das velocidades de cisalhamento necessárias para o limiar de transporte calculadas para os sedimentos não coesivos (ou incoesivos) da área de estudo.

As velocidades de cisalhamento calculadas a partir das medições realizadas durante a maré enchente apresentaram valores entre aproximadamente zero e 3,6 cm/s. Já as velocidades de cisalhamento calculadas para a maré vazante foram de aproximadamente zero a 4,0 cm/s (Fig. 5.6 b e Fig. 5.6 c).

No ciclo medido, durante o período de maré enchente as correntes são potencialmente capazes de realizar transporte por tração em apenas 20 % da área analisada (Figs. 5.6d ; 5.6e), ao passo que, durante a maré vazante, em cerca de 52 % desta área pode acontecer o transporte por tração (Figs. 5.6f ; 5.6g).

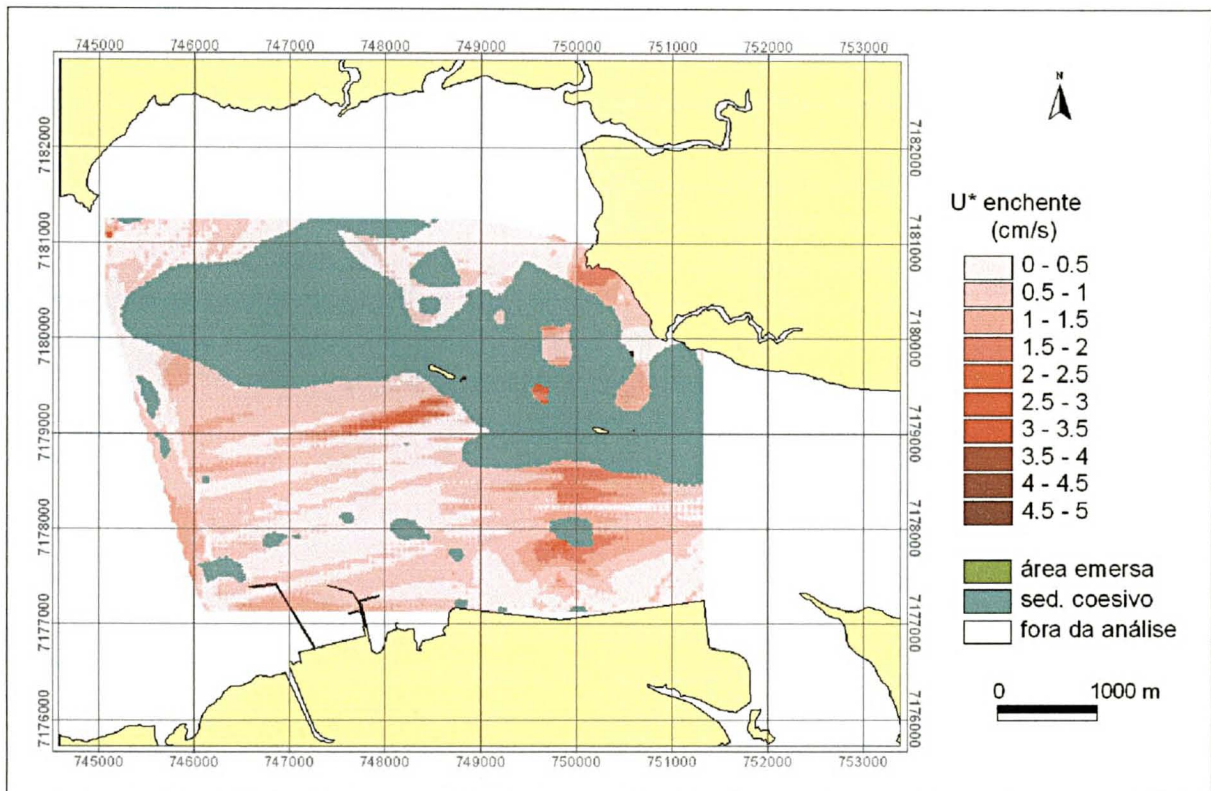


Figura 5.6 b – Mapa de contornos de velocidades de cisalhamento calculadas a partir das medições realizadas durante a maré enchente

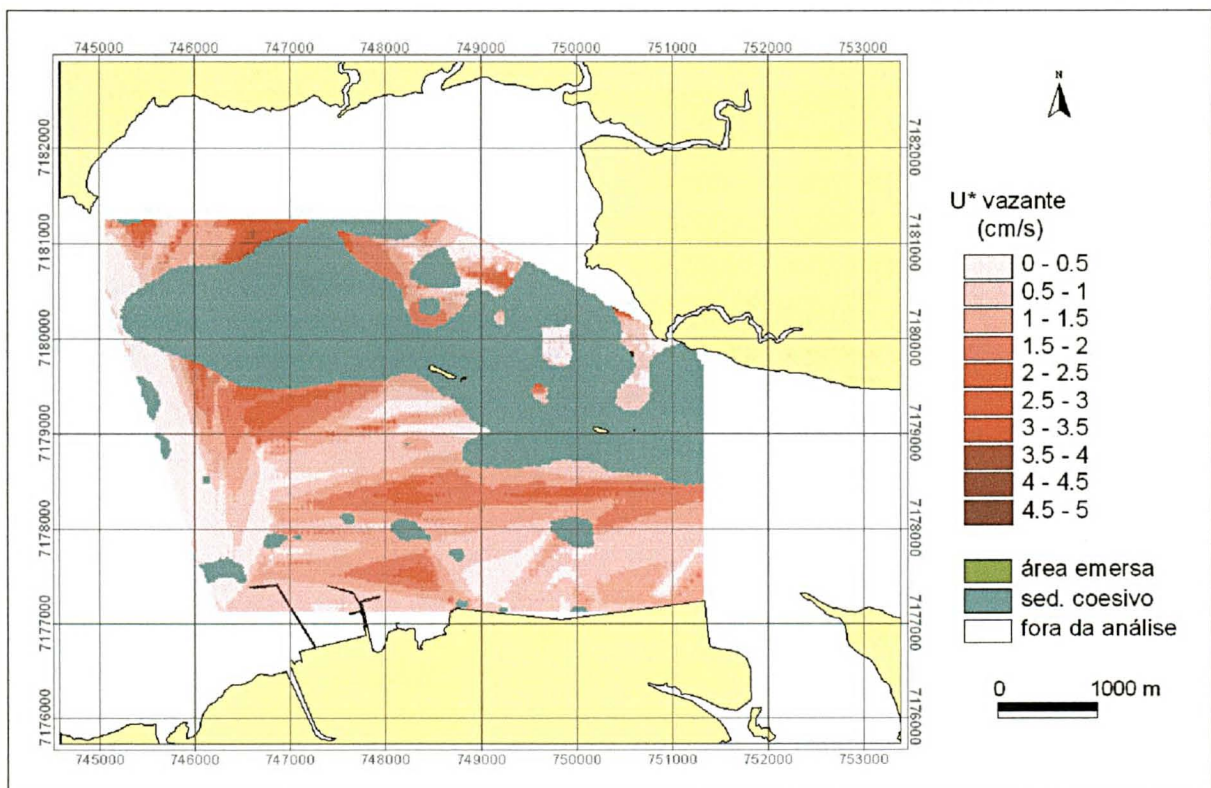


Figura 5.6 c – Mapa de contornos de velocidades de cisalhamento calculadas a partir das medições realizadas durante a maré vazante.

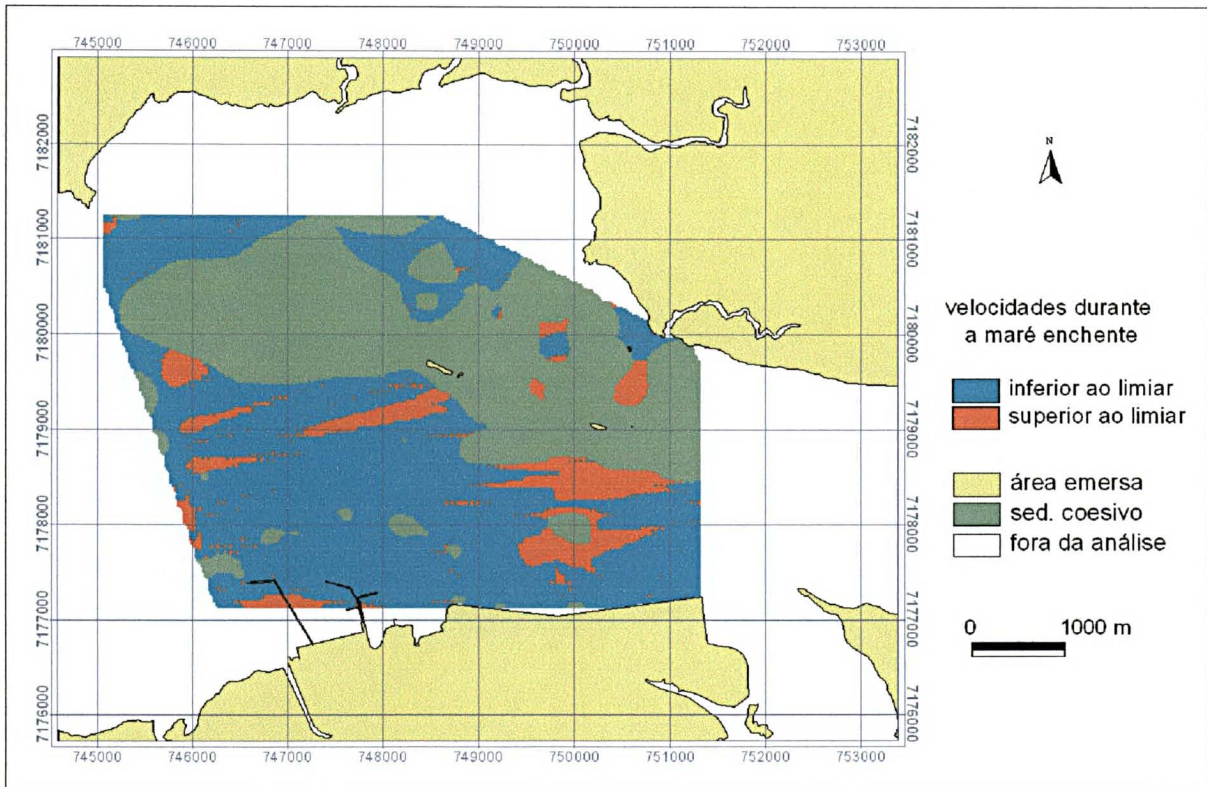


Figura 5.6d – Mapa de polígonos dos locais onde as correntes são potencialmente capazes de realizar transporte por tração durante a maré enchente.



Figura 5.6e – Histograma de áreas onde potencialmente ocorre (vermelho) ou não (azul) o transporte por tração dos sedimentos durante a maré enchente.

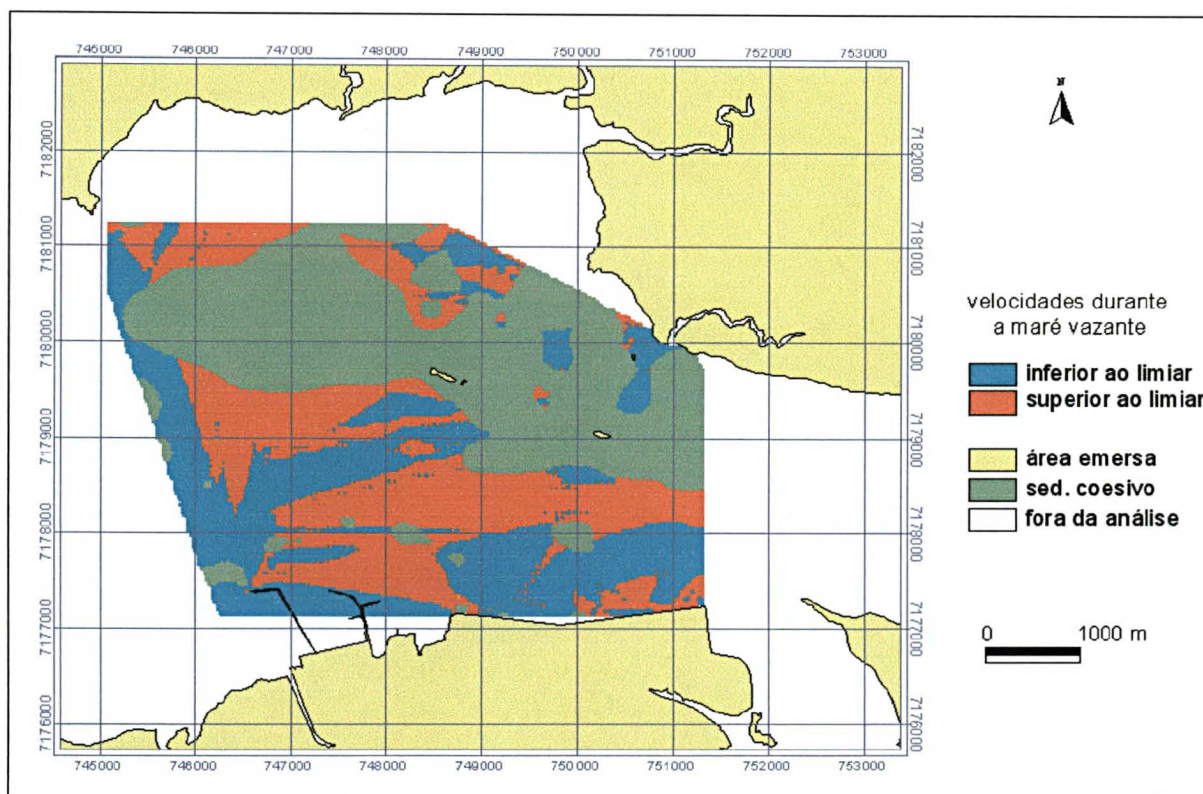


Figura 5.6f – Mapa de polígonos dos locais onde as correntes são potencialmente capazes de realizar transporte por tração durante a maré vazante.

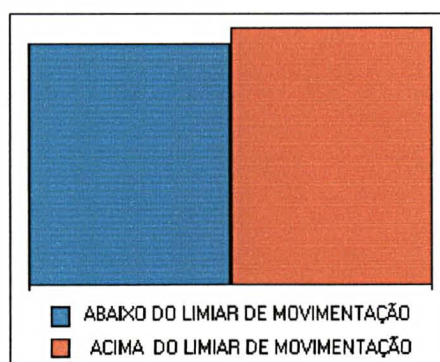


Figura 5.6g – Histograma de áreas onde potencialmente ocorre (vermelho) ou não (azul) o transporte por tração dos sedimentos durante a maré vazante.

## 6 – DISCUSSÃO

### 6.1 – Morfologia do FEAPP

A linha de costa que limita o fundo estuarino adjacente ao Porto de Paranaguá (FEAPP) apresenta uma configuração complexa devido a diversidade de ambientes ali presentes. Na margem norte predominam os manguezais e marismas entrecortados pelas desembocaduras de pequenos rios (saco da Boquera), seguidos de pequenos arcos de praias arenosas limitadas por costões rochosos (Vila Amparo e Piaçaguera) (fig. 3.1). Na margem Sul a costa é delineada principalmente pelas obras portuárias, permanecendo ainda locais com manguezais e marismas apesar da ocupação desordenada de loteamentos irregulares. Durante a baixa-mar de sizígia grandes extensões das planícies de maré ficam expostas alterando em muito os contornos do estuário em relação à maré alta.

A largura máxima do FEAPP é de aproximadamente 6,7 Km, desde a desembocadura do rio Emboguaçu até a margem Norte, no saco da Boquera (Fig. 3.1). A largura mínima medida, 2,3 Km, corresponde à distância entre a extremidade da ponta da Cruz até a margem Norte, próximo à desembocadura do rio das Ostras. Com uma superfície de 40,9 Km<sup>2</sup>, seu volume aquoso é de cerca de 270 x 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> (baixa mar) (Fig. 5.1c).

As profundidades naturais, em geral inferiores a 10 m, aumentam de Norte para Sul da área e de montante para jusante, num gradiente de declividade inferior a 1 grau. Na região do canal principal as profundidades variam principalmente entre 10 m e 15 m. No extremo Leste da área ocorre um estreitamento abrupto do estuário onde as profundidades chegam a superar 20 m, provavelmente devido à erosão dos sedimentos pelas fortes correntes que geram o espaço necessário para a acomodação do fluxo hidrodinâmico (Fig. 5.1a e 5.1.b).

### 6.2 – Modificações morfológicas do FEAPP

ODRESKI (2002) observou que a montante da Ilha do Teixeira até a Cidade de Antonina houve um significativo assoreamento daquela área num intervalo de 78 anos (1901 a 1979). No entanto, a comparação batimétrica

realizada em locais possivelmente não impactados por dragagens no FEAPP revelou que, num intervalo de aproximadamente trinta anos (1959 e 1998), neste setor do estuário provavelmente houve mais erosão do que assoreamento (Fig. 5.2.1c). Nas bacias de evolução do terminal de inflamáveis e do cais comercial, porém, as comparações batimétricas demonstraram que há assoreamento, sendo necessárias dragagens de volumes de aproximadamente  $500 \times 10^3 \text{ m}^3 / \text{ano}$  (APPA/CEM, 2001) de sedimentos para a manutenção da navegabilidade Fig. 5.2.2).

### 6.3 – Os sedimentos da superfície do FEAPP

Os sedimentos da superfície do fundo estuarino da área de estudo caracterizam-se pela predominância de silte médio e silte grosso (cobrindo mais de 70 %), com ocorrências subordinadas de areia muito fina e areia fina. De acordo com os parâmetros de FOLK e WARD (1957), os sedimentos são em geral pobremente selecionados, com assimetria variando entre muito negativa e muito positiva e valores de curtose apresentando distribuições desde muito platicúrtica até extremamente leptocúrtica (ver figuras do item 5.3.2) .

Os teores de matéria orgânica presentes nos sedimentos variam entre o mínimo de 1,7 % e máximo de 23,7 %, com uma concentração média de 11,5 % em termos de área de distribuição (Fig. 5.3.3.1; Fig. 5.3.3.2). Em várias amostras foram encontrados fragmentos vegetais.

O Carbonato de Cálcio presente nos sedimentos da área de estudo é, na maior parte, de origem biodetrítica, conforme observado durante a coleta de amostras que revelaram quantidades variáveis de fragmentos de conchas, especialmente de *Anomalocardia brasiliiana*. Os teores de  $\text{CaCO}_3$  variam de zero a 25 %, com média de 9 %, considerando a sua distribuição por área (Fig. 5.3.4.1 e Fig. 5.3.4.2).

As porcentagens de areia estão no intervalo entre 0 a 99%, enquanto as porcentagens de silte variam inversamente à de areia, num intervalo de 0 e 95%. As porcentagens de argila variam de 1 a 15% (Fig. 5.3.2.5 a; Fig. 5.3.2.5 b).

A classificação textural e granulométrica, além dos parâmetros estatísticos dos sedimentos, confirmam em grande parte as características encontradas por BIGARELLA (1978) e que foram utilizadas por LESSA *et al.* (1998) na proposição

das fácies de preenchimento do paleo vale inciso do estuário de Paranaguá (item 3.4.5). Com base nessas informações e observando-se a batimetria e os perfis estratigráficos (Fig. 3.5.1 a; b; c), atribui-se à fácies Lama Regressiva os domínios do presente mapeamento que possuem média granulométrica de silte grosso a silte fino (Fig. 5.3.2.1.2). A fácies Areia Transgressiva (LESSA et al., 1998) está representada na área pelas curvas de contorno de médias granulométricas da fração areia, restritas ao canal principal, desde a Ponta da Cruz até as proximidades do Pier da FOSPAR (Fig. 6.3).

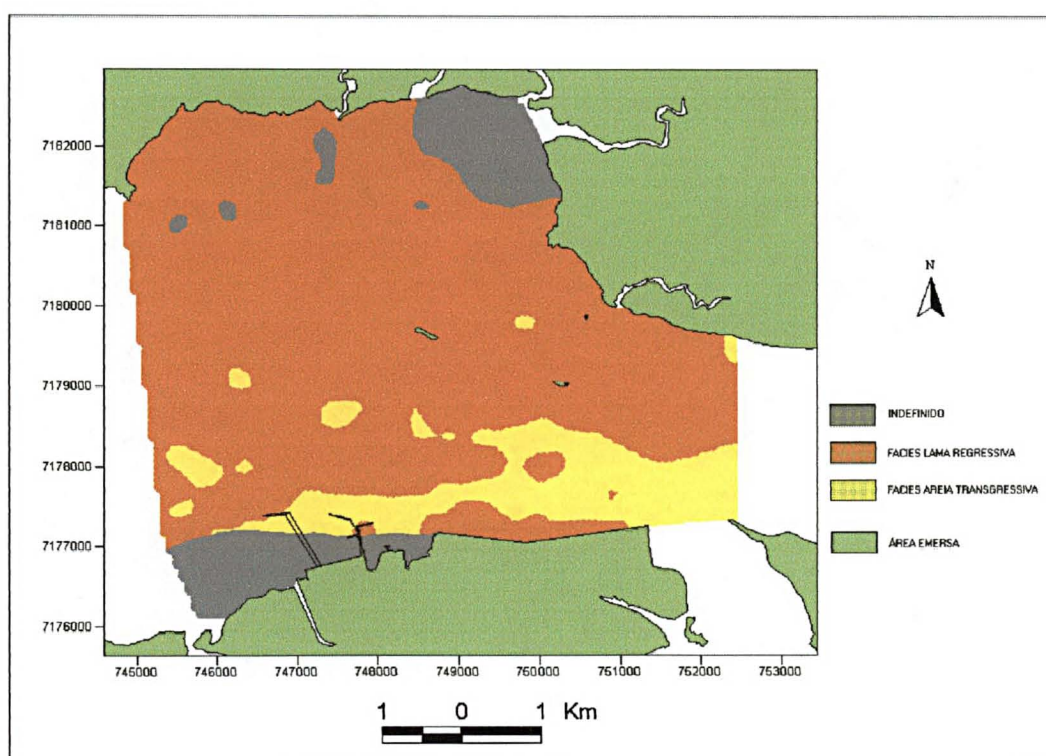


Figura 6.3 – Correlação entre os sedimentos mapeados em 2001 e as fácies sedimentares propostas por LESSA ET AL. (1998) no FEAPP.

#### 6.4 – Dinâmica sedimentar no FEAPP

Os campos de correntes medidos na camada da coluna d'água localizada a um metro do fundo estuarino forneceram valores médios de velocidades de correntes superiores na maré vazante em relação à enchente (Tab. 8). Esta diferença refletiu-se nas quantidades medidas e mapeadas do material particulado em suspensão, que também foram superiores durante a maré

vazante, confirmando as observações de MONTOVANELLI (1999) de que há um predomínio da ressuspensão sobre a advecção nas marés de sizígia no estuário (Fig. 5.4.1.1 e Fig. 5.4.1.2).

No balanço de circulação do material particulado em suspensão realizado sobre o canal principal do FEAPP foi possível determinar que a pluma de sedimentos que ali se forma, migra em direção à jusante do estuário, porém nem todo o material é dispersado para além do limite do cais comercial (Tab. 5.2 a; b; c). Aparentemente grande parte desses sedimentos se depositam no canal principal, contribuindo para o assoreamento da bacia de evolução do mesmo cais.

Para o ciclo de maré estudado, o cálculo das velocidades de cisalhamento indicam que, em apenas 20 % da área analisada, as correntes de maré enchente são potencialmente capazes de realizar o transporte por tração dos sedimentos não coesivos (Fig. 5.6 d e Fig. 5.6 e). As correntes de maré vazante, no entanto, são potencialmente capazes de realizar esse transporte em mais de 50 % da área (Fig. 5.6f e Fig. 5.6g).

Os locais onde ocorre o transporte por tração nas duas situações, na maré de enchente e na maré de vazante, possuem áreas de pequenas dimensões se comparadas com locais onde não ocorreria transporte, durante as mesmas situações (enchente e vazante) (Fig. 6.4 a; Fig. 6.4b).

## 6.5 – Identificação de locais com tendência à erosão ou não erosão/assoreamento

O critério adotado para a identificação de locais com tendência à erosão ou não erosão/assoreamento baseou-se na medição do potencial das correntes para realizarem ou não o transporte dos sedimentos, na observação da direção e sentido dos vetores de correntes e nos resultados das comparações batimétricas. A interseção dos polígonos “velocidades potencialmente capazes de mobilizar sedimentos” com os polígonos “erosão” indicariam locais com maior probabilidade de erosão atualmente. De forma análoga, porém utilizando os polígonos com informações opostas aos acima citados, o resultado indicaria locais com tendência ao assoreamento. As figuras 6.5a e 6.5b ilustram esta análise espacial.

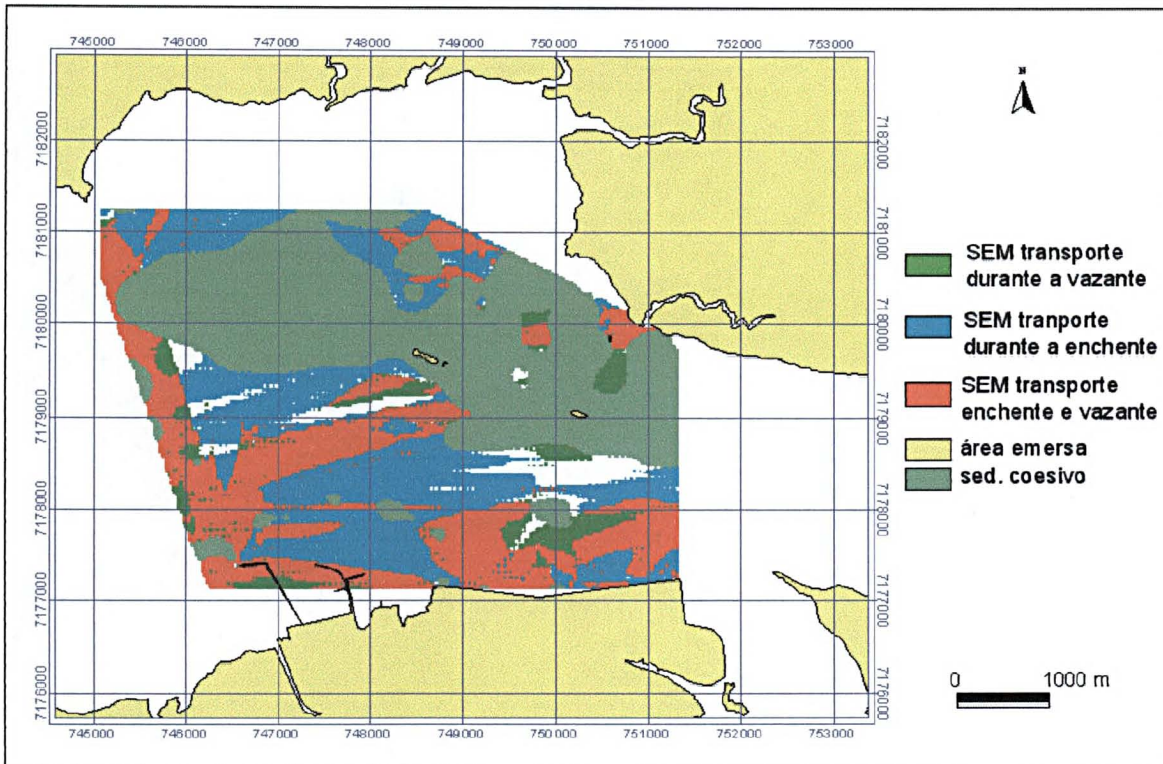


Figura 6.4 a – Mapa de polígonos dos locais onde as correntes não são potencialmente capazes de realizar transporte por tração no FEAPP

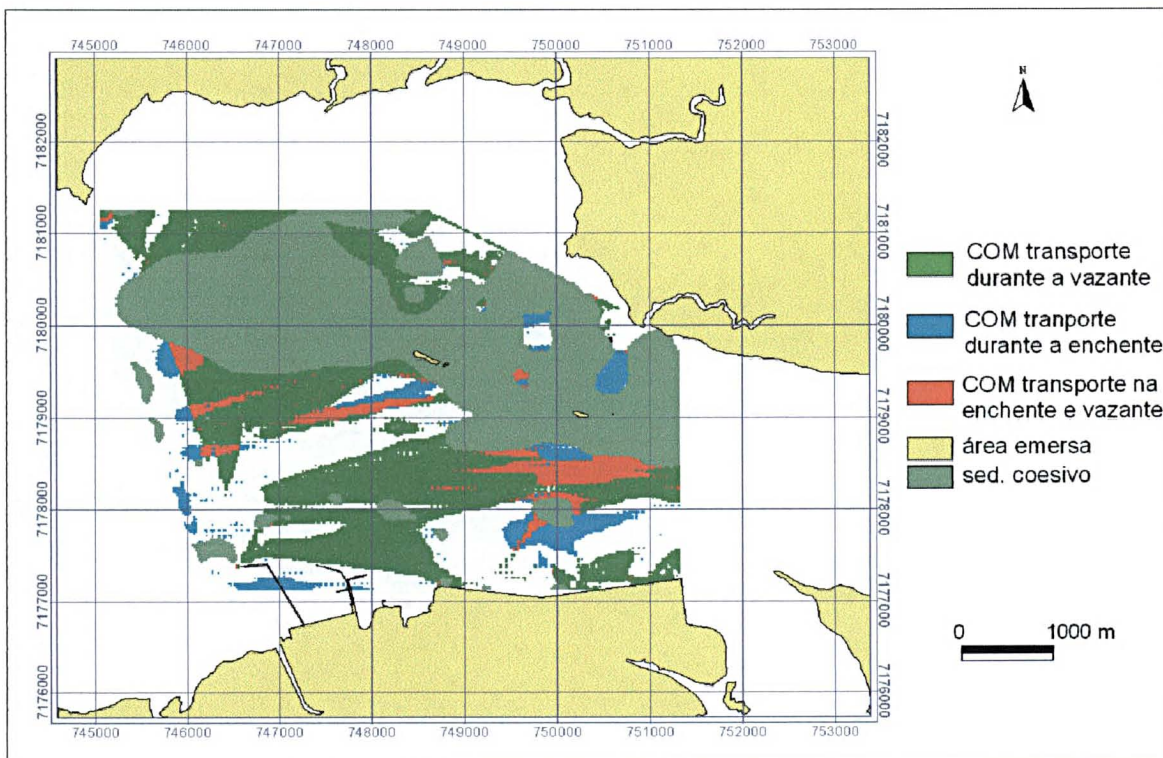


Figura 6.4b – Mapa de polígonos dos locais onde as correntes são potencialmente capazes de realizar transporte por tração no FEAPP.

A área "A1" possui a maior extensão com tendência ao assoreamento. As correntes de enchente e de vazante convergem para este local, provenientes dos setores com tendência a erosão "E1", "E2" e "E3". Esta dinâmica de circulação possivelmente contribui com aporte de sedimentos para "A1" (fig. 6.5 a; b; c).

O setor "A2" apresenta tendência ao assoreamento ou não erosão provavelmente devido à desaceleração das correntes, em consequência da inversão do fluxo, durante a maré enchente e durante a maré vazante. Isto induziria os sedimentos à deposição nesse setor.

As correntes residuais dirigidas para norte sobre a planície de maré do setor SO (Fig. 5.1a), durante enchente, possivelmente são responsáveis pela tendência de assoreamento de "A3" e "A4" (Fig. 6.5 a; fig. 6.5b).

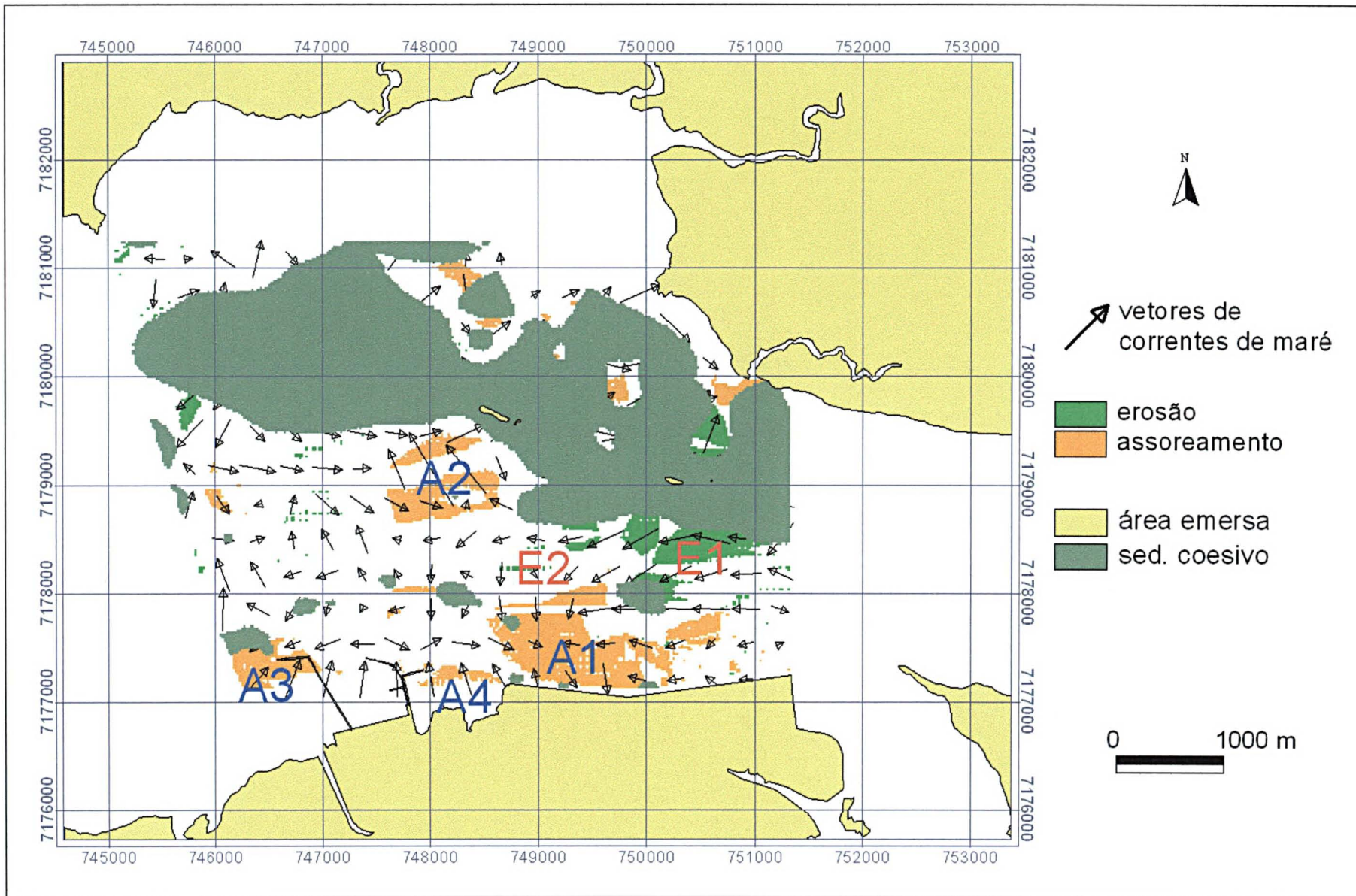


Figura 6.5 a – Mapa de correntes de maré enchente e locais com tendência à erosão e ao assoreamento no FEAPP.

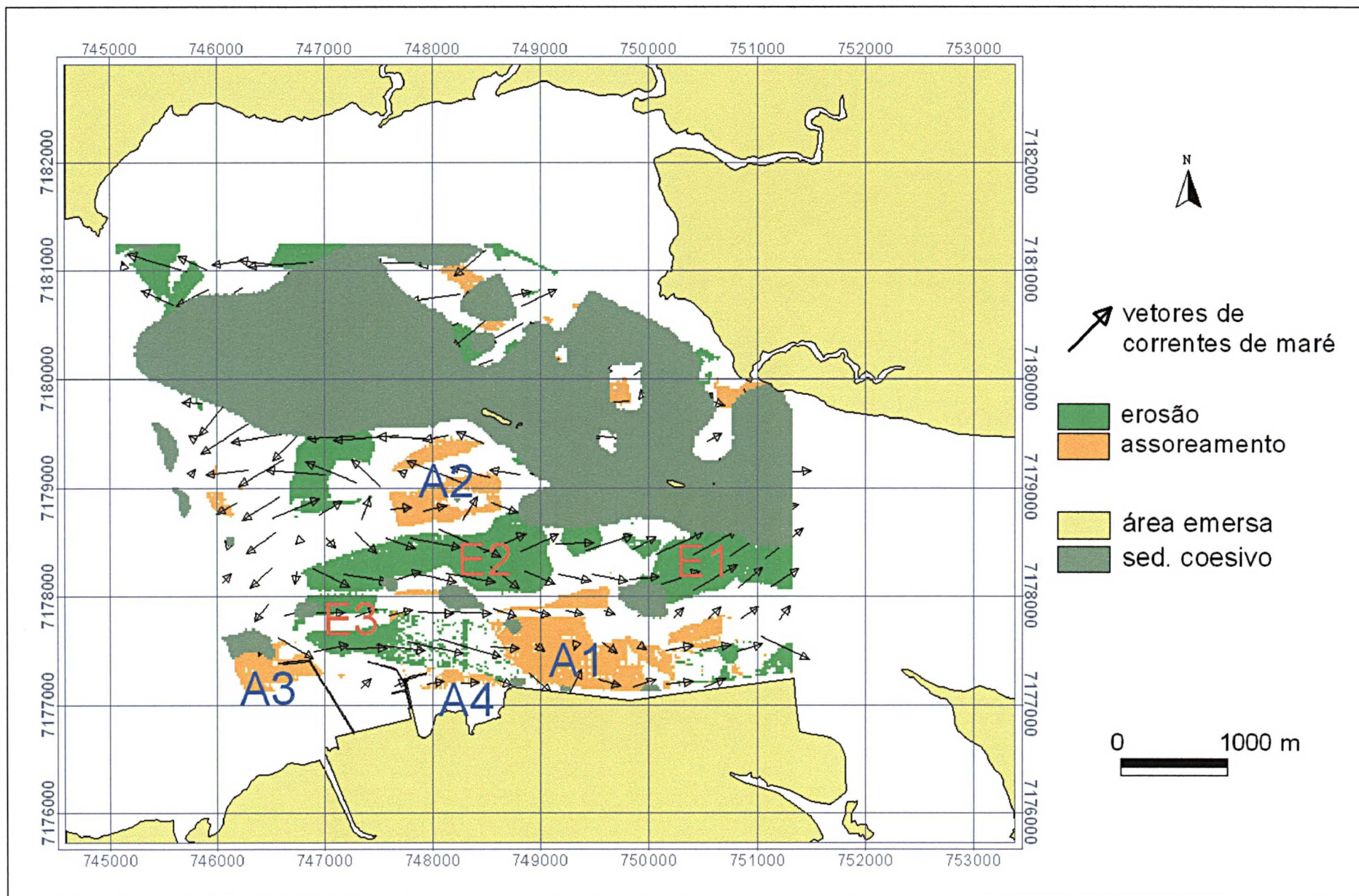


Figura 6.5 b – Mapa de correntes de maré vazante e locais com tendência à erosão e ao assoreamento no FEAPP.

## 7 – CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O fundo estuarino adjacente ao Porto de Paranaguá (FEAPP) possui profundidades naturais inferiores a dez metros em cerca de 70 % de sua área. Em seu canal principal, o maior e mais profundo, as profundidades variam entre dez e vinte metros, sendo que a medida máxima atingiu 29,7 m nas proximidades da Pedra da Lajinha.

As variações morfológicas resultantes da comparação dos dois levantamentos batimétricos realizados num período de 39 anos (1959 e 1998), indicam que houve um predomínio da erosão sobre a deposição no FEAPP.

A superfície do fundo estuarino nas adjacências do Porto de Paranaguá é composta por sedimentos das classes texturais areia; areia siltica; silte arenoso e silte. Os sedimentos com média granulométrica inferior a 0,062 recobrem mais de 70 % da área de estudo. Em geral são pobremente selecionados, com assimetria variando entre muito negativa e muito positiva e valores de curtose apresentando distribuições desde muito platicúrtica até extremamente leptocúrtica. Os teores de matéria orgânica variam entre o mínimo de 1,7 % e máximo de 23,7 %, enquanto que os teores de Carbonato de Cálcio variam de zero a 25 %. As percentagens de areia estão no intervalo entre 0 a 99%, e as percentagens de silte variam inversamente à de areia, num intervalo de 0 e 95%. O conteúdo de argila varia de 1 a 15%.

As areias e os sedimentos finos foram correlacionados em planta às facies Areia Transgressiva e Lama Regressiva, respectivamente, propostas por Lessa *et al.* (1998).

Durante o ciclo de maré de sizígia analisado, as correntes de vazante foram, em média, superiores às correntes de enchente. Esta diferença se refletiu na quantidade de material particulado em suspensão e na capacidade potencial para realização do transporte dos sedimentos por tração, onde os valores observados foram sempre superiores para as correntes de vazante.

O balanço de circulação do MPS realizado sobre o canal principal no FEAPP mostrou que as vazões líquidas não são capazes de dispersar totalmente a pluma de sedimentos, sendo parte deles depositada à jusante, ou seja, contribuindo provavelmente para o assoreamento do cais comercial do Porto de Paranaguá.

Quatro áreas com expressiva extensão foram identificadas no FEAPP como locais com tendência ao assoreamento ou não erosão, tanto na maré enchente como na vazante: A1, com a maior área, defronte ao cais comercial; A2 próximo à ilha Guará; A3 junto ao pier da FOSPAR e A4 entre o pier da PETROBRAS e o cais comercial (Fig. 6.5a e 6.5b).

Como importantes áreas com tendência a erosão foram identificados três locais: E1; E2 e E3. Possivelmente atuam como área fonte de sedimentos durante a vazante, contribuindo provavelmente para a não erosão/assoreamento de A1, A2 e A4. Na maré enchente apenas E1 e E2 estariam ativas e influenciando A1 e A2.

Vale ressaltar que as conclusões sobre dinâmica basearam-se nos dados ou medições de apenas um ciclo de maré de sizígia. Para o aprimoramento desses resultados será necessário o acompanhamento de outros ciclos de maré, inclusive nas quadraturas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, G.P. & POSAMENTIER, H.W. (1993). Sequence stratigraphy and facies model of a incisive valley fill: the Gironde estuary. France; **Journal of Sedimentary Petrology**. v. 63, p. 378 – 392.

ANGULO, R.J. (1992). **Geologia da planície costeira do Estado do Paraná**. São Paulo. 334 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Angulo, R.J. and Suguio, K. (1995). Re-evaluation of the Holocene sea-level maxima for the state of Paraná, Brazil. **Paleogeography, Paleoclimatology, Paleontology**.

ANGULO, R.J. ; ARAÚJO A.D. (1996). Classificação da costa paranaense com base na sua dinâmica, como subsídio à ocupação da orla litorânea. **Bol. Parana. Geocienc.**, Curitiba, n. 44, p. 07-17.

ANGULO, R.J. E LESSA, G.C., 1997. The Brazilian sea level curves: a critical review with emphasis on the curves from Paranaguá and Cananéia regions. **Marine Geology**

ANGULO, R.J.; SOUZA, M.C.; ARAÚJO, A.D.; PESSEDA, L.C.R.; ODRESKI, L.L.R.; LAMOUR, M.R.; CARRILHO, J.C; NADAL, C.A. (1999). Fácies sedimentares de uma barreira regressiva holocênica na planície costeira de Praia de Leste – Estado do Paraná. In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. Porto Seguro – BA. O Quaternário e o Meio Ambiente. **Resumos**. Porto Seguro. 3p.

APPA/CEM (1997). **Relatório consolidado do convênio APPA/CEM**. Curitiba. Inédito.

ARAÚJO, A.D. (2001). **Dinâmica sedimentar e evolução paleogeográfica do Saco do Limoeiro e sua relação com o canal de acesso ao Porto de Paranaguá**. Curitiba. 60 p. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Basei, M.S. ; Siga JR, O; Reis Neto, J.M.- 1990 – O Batólito Paranaguá: Proposição, idade, considerações petrogenéticas e implicações tectônicas. **Resumos**. Congresso Brasileiro de Geologia, Natal-RN.

BIGARELLA, J.J. (1946). Contribuição ao estudo da planície litorânea do Estado do Paraná. **Arq. Biol. Tecnol.**, Curitiba, n. 4, p. 11-75.

BIGARELLA, J.J.; DOUBEK, A.; SALAMUNI, R; (1957). Planta geológica provisória da baía de Guaratuba. **Bol. Paran. de Geol.**, Curitiba, v. 8 p.1 –6.

BIGARELLA, J. J.; SALAMUNI, R.; MARQUES FILHO, P. L. (1959). Ocorrência de depósitos sedimentares continentais no litoral do Estado do Paraná

(Formação Alexandra). **Not. Prel. Est. Inst. Biol. Pesq. Tecn.**, Curitiba, v.1, 7 p.

BIGARELLA, J.J.; DOUBEK, A. (1963). **Folha geológica de Paranaguá** (Estado do Paraná). Curitiba, Univ. Paraná. Escala 1:50000.

BIGARELLA, J.J.; ALESSI, A.H.; BECKER, R.D. & DUARTE, G.M. (1970). Natureza dos sedimentos de fundo das baías de Paranaguá e Antonina. **Revista IBPT**, [S.L.], v.15, p. 30-33 + mapas.

Bigarella, J.J., 1971. Variações climáticas no Quaternário Superior do Brasil e sua datação radiométrica pelo método Carbono 14. **Paleoclimas**, Inst. Geogr. USP, São Paulo, n1: p.1-22.

BIGARELLA, J.J.; BECKER, R.D.; MATOS, D.J.; WERNER, A. (1978). **A Serra do Mar e a porção oriental do Estado do Paraná**. Curitiba: Secretaria de Estado do Planejamento, Governo do Paraná. 248p.

CAMARGO, M.G. (1999). Programa SYSGRAM para windows: sistema de análises granulométricas. Pontal do Sul. 2 disquetes, 5 ¼.

CARVER, R.E. 1971. **Procedures in Sedimentary Petrology**. New York: Wiley-Interscience. 653 p.

DALRYMPLE, R.W.; ZAITLIN, B.A.; BOYD, R. 1992. Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications. **J. Sediment. Petrol.**, Tulsa, v. 62, p. 1130-1146.

DHN. (1995). **Carta náutica 1824**. Da Barra de Paranaguá a Antonina. Rio de Janeiro. 1 mapa. Escala 1:50.000.

DNM. (1992). **Normais climatológicas (1961-1990)**. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Departamento Nacional de Meteorologia. Brasília, 84p.

DYER, K. R. (1997) **Estuaries: a physical introduction** (2<sup>nd</sup> ed.), John Wiley & Sons eds., England. 195 pp.

ESRI (1997). **3D Analyst User's Guide**. Environmental Systems Research Inst. Redlands, USA. 120 p.

ESRI (1997). **Spatial Analyst User's Guide**. Environmental Systems Research Inst. Redlands, USA. 120 p.

FOLK, R.L.; WARD, W.C. (1957). Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. **J. Sediment. Petrol.**, Tulsa, v.27. p.3-26.

FRITZ, W.J.; MOORE J.N. 1988. **Basics of physical stratigraphy and sedimentology**. New York : J. Wiley. 371p.

FUCK, R.A.; TREIN, E; MURATORI, A.; RIVEREAU, J.C.; (1969) Mapa geológico preliminar de litoral, Serra do Mar e parte do Primeiro Planalto no Estado do Paraná. **Bol. Paran. De Geoc.** Curitiba, n. 27. P. 123-152.

FUNPAR. (1997). **Correntes, parâmetros oceanográficos e ondas**. Curitiba. Convênio: APPA e CEM. Relatório Técnico.

GORDON, R. L. (1989). Acoustic measurement of river discharge. In: **Journal of Hydraulic Engineering**. Vol. 115, No. 7, July, p. 925-936.

GOLDEN SOFTWARE INC. (1999). **User's Guide**. Colorado, USA. 619 p.

HANSEN, D.V.; RATTARAY JÚNIOR, M. (1965). Gravitational circulation in straits and estuaries. **J. Mar. Res.**, New Haven, v. 23, p: 104 - 122.

IPARDES. (1989). **Zoneamento do litoral paranaense**. Curitiba. 175 p.

KISIN, S. (1999). An evaluation of the seismic and core data in Paranaguá Bay, Paraná State, Brazil. Inédito.

KJERFVE, B. (1990). **Manual for investigation of hydrological processes in mangrove ecosystems**. UNESCO/UNDF Regional Project "Mangrove Ecosystems in Asia and the Pacific" (RAS/79/002 e RAS/86/120), 79 p.

KNOPPERS, B.A.; BRANDINI, F.P.; THAMM, C.A. (1987). Ecological studies in the bay of Paranguá. II. Some physical and chemical characteristics. **Nerítica**, Curitiba, v.2, p. 1-36.

LAMOUR, M.R. (2000). **Dinâmica sedimentar de Canal da Galheta, via de acesso ao porto de Paranaguá - PR**. Curitiba. 80. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

LANA, P.C.; MARONE, E.; LOPES, R.M.; MACHADO, E.C. (2001). The subtropical estuarine complex of Paranaguá Bay, Brazil. **Ecological Studies**. v. 144, p. 131–145.

LESSA G.C.; ANGULO R.J. (1996). A 3D evolutionary model of the Paranaguá coastal plain. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39, Salvador. **Resumos**. p. 251-255.

LESSA G.C.; MEYERS S.R.; MARONE E. (1998). Holocene stratigraphy in the Paranaguá Bay estuary, southern Brazil. **J. Sediment. Res.**, [S.L.], v. 68. N. 6. p. 1060–1076.

LESSA, G.C.; ANGULO, R.J.; GIANNINI, P.C.; ARAÚJO, A.D. (2000). Stratigraphy and Holocene evolution of a regressive barrier in south Brazil. **Marine Geology**, v. 165, n.1-4, p. 87-108.

- LFM (2000). **Cartas de correntes de maré da Baía de Paranaguá**. Relatório do convênio APPA/CEM Laboratório de Física Marinha. Inédito.
- MAAK, R. (1968). **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba: BADEP: UFPR: IBPT, 350 p.
- MANCINI, F.; ROSTIROLLA, S.; ANGULO, R.J., ARAÚJO, A.D.; SOARES, C. R. (1999). Fraturamento de depósitos costeiros do quaternário da região de Pontal do Paraná, Estado do Paraná. VII Congresso da ABEQUA. **Resumos**. Porto Seguro - BA
- MANTOVANELLI, A. (1999). **Caracterização da dinâmica hídrica e do material particulado em suspensão na Baía de Paranaguá e em sua bacia de drenagem**. Curitiba. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.
- MARONE, E.; CAMARGO, R. (1994). Marés meteorológicas no litoral do Estado do Paraná: o evento de 18 de agosto de 1993. **Nerítica**, Curitiba, v. 8, p. 73-85.
- MARONE, E.; JAMIYANAA, D. (1997). Tidal characteristics and a variable boundary numerical model for the M2 tide for the estuarine complex of the Bay of Paranaguá, PR, Brazil. **Nerítica**, Curitiba, v. 11, n. 1-2, p. 95-107.
- MARONE, E.; MANTOVANELLI, A.; NOERNBERG, M.A.; KLINGENFUSS, M.S.; (1997). **Caracterização física do complexo estuarino da Baía de Paranaguá. Pontal do Sul: UFPR. v.2. Relatório consolidado do convênio APPA/CEM**.
- MARTIN, L.; SUGUIO, K.; FLEXOR, J.M. AND AZEVEDO, A.E.G.. 1988. Mapa Geológico do Quaternário Costeiro dos Estados do Paraná e Santa Catarina. **Série Geológica DNPM**, no. 28, 40 p.
- MEHTA, A. G. (1988). Laboratory studies on cohesive sediment erosion and deposition. In: **Physical Processes in Estuaries**, J. Dronkers na W. van Leussen eds. , Springer-Verlag, New York, 427-445.
- MIDDLETON AND SOUTHARD, (1984). **Mechanics of Sediment Movement**, Society of Economic Paleontologist and Mineralogists, **Short Course 3**, Rhode Island, 401 pp.
- MINEROPAR (MINERAIS DO PARANÁ S. A. (1989). **Mapa Geológico do Estado do Paraná**. Brasília. Dep. Nac. Prod. Min. (DNPM). Escala 1:650.000.
- MIRANDA, L.B. (1996). **Cinemática e dinâmica de estuários**. São Paulo: Instituto Oceanográfico da USP (IO827), v. 1, 360 p.

NICHOLS, M.M.; JOHNSON, G.H.; PEEBLES, P.C. (1991). Modern sediments and facies model for a microtidal coastal plain estuary, the James River Estuary, Virginia. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 61, p. 883 – 899.

NOERNBERG, M.A. (2001). **Processos morfodinâmicos no complexo estuarino de Paranaguá - Paraná - Brasil. um estudo a partir de dados in situ e LandSat TM**. Curitiba. 180 f. Tese (Doutorado) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

ODRESKI, L.L.R.; SOARES, C.R.; ANGULO, R.J.; ARAÚJO, A D..(2001). Mudanças na distribuição dos sedimentos da superfície do fundo da baía de Antonina, Estado do Paraná, entre 1966 e 1995. **Anais. Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário**. Mariluz,RS, 14 a 20 de outubro.

ODRESKI, L.L.R. (2002). **Evolução sedimentar e batimétrica da baía de Antonina**. Curitiba. 79. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

OKA-FIORI, C.; CANALI, N. E. (1998). Mapeamento geomorfológico. In: LIMA, R. E. et al. **Caracterização do Nimad do litoral paranaense. Meio ambiente e desenvolvimento no litoral do Paraná. Diagnóstico**. Curitiba: UFPR. p. 41-48.

PANAGIOTOPOULOS, I.;VOULGARIS, G.; COLLINS,M.B. (1997). The influence of clay on the threshold of movement of fine sandy beds. **Coastal Engineering v 32**, p. 19 – 43 - Elsevier.

PETROBRAS. (1997). Estudos ambientais em áreas oceânicas e costeiras no sul do Brasil. 1 CD - ROM. **Relatório final**.

PROGEO. (1993). Relatório de sondagens geológicas do canal de acesso e bacia de evolução do Porto de Antonina - PR. Belo Horizonte, Inédito.

RIVEREAU, J.C.; FUCK, R.A.; MURATORI, A.; TREIN, E. (1968) **Ilha do Mel, folha geológica**. Curitiba, Comissão da Carta Geológica do Paraná. E. 1:70000.

RIVEREAU, J.C.; FUCK, R.A.; MURATORI, A.; TREIN, E. (1969a) **Barra do Ararapira, folha geológica**. Curitiba, Comissão da Carta Geológica do Paraná. E. 1:70000.

RIVEREAU, J.C.; FUCK, R.A.; MURATORI, A.; TREIN, E. (1969b) **Guaratuba, folha geológica**. Curitiba, Comissão da Carta Geológica do Paraná. E. 1:70000.

RIVEREAU, J.C.; FUCK, R.A.; MURATORI, A.; TREIN, E. (1969c) **Paranaguá, folha geológica**. Curitiba, Comissão da Carta Geológica do Paraná. E. 1:70000.

RIVEREAU, J.C.; FUCK, R.A.; MURATORI, A.; TREIN, E. (1969d) **Pedra Branca de Araraquara, folha geológica**. Curitiba, Comissão da Carta Geológica do Paraná. E. 1:70000.

SANTOS, I.; DIETER, H.F.; SUGAI, M.R.V.B; BUBA, H.; KISHI, T.; MARONE, E. (2001). **Hidrometria aplicada**. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. Curitiba. 372 p.

SHEPARD F. P. 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. **Journal of Sedimentary Petrology** 46, 151-158.

SOARES, C.R. (1990). **Natureza dos sedimentos de fundo das baías das Laranjeiras e de Guaraqueçaba - Complexo Estuarino de Paranaguá (PR)**. São Paulo, 187 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) - Setor de Ciências, Universidade Estadual Paulista.

SOARES, C.R.; LANA, P.C. (1994). **Baía de Paranaguá: mapas & histórias**. Curitiba, Ed. da UFPR, 98 p.

SOARES, C.R.; BARCELOS, J.H. (1995). Considerações sobre os sedimentos de fundo das baías das Laranjeiras e de Guaraqueçaba, Complexo Estuarino da Baía de Paranaguá (Paraná, Brasil). **Bol. Parana. Geocienc.**, Curitiba, n.43, p. 41 - 60.

SOARES, C.R.; LESSA; NETO, G.A.; RISENBERG, C.E.; SILVA, C.B. (1996). Caracterização da distribuição dos sedimentos de fundo das baías de Paranaguá e Antonina, Estado do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., Salvador. **Resumos**. p. 390-393.

SOARES, C.R.; MARONE, E.; LAMOUR, M.R.; CARRILHO, J.C.; NOERNBERG, M.A. 1997. **Dragagem e aprofundamento do Canal da Galheta, via de acesso aos portos de Paranaguá e Antonina – PR**. Pontal do Sul: UFPR. 75 p. Relatório consolidado convênio APPA/CEM.

SOARES, C.R.; ANGULO, R.J.; LESSA, G.C. (1997). Roteiro da excursão ao litoral do Estado do Paraná: morfodinâmica de ambientes atuais, evolução da planície durante o quaternário e problemas de erosão costeira. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO (ABEQUA) E REUNIÃO SOBRE O QUATERNÁRIO DA AMÉRICA DO SUL, 6, Curitiba. **Anais**, Curitiba. 125 p.

SOUZA, M.C.; ANGULO, R.J.; TESSLER M.G.; FIGUEIRA, R.C.L. (2001). Taxas de sedimentação no Complexo Estuarino de Paranaguá – Paraná, estimadas a partir do método de datação por espectrometria gama ( $^{210}\text{Pb}$  e  $^{137}\text{Cs}$ ): resultados preliminares. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO (ABEQUA), 8. Mariluz, Imbé – RS. **Anais.**, Mariluz, Imbé - RS. 3 p.

SUGUIO, K. (1973) **Introdução a sedimentologia**. São Paulo. E. Blücher Ed. 317 p.

SUGUIO, K. AND MARTIN, L., 1978. Formações quaternária marinhas do litoral paulista e sul fluminense. In: **Special Publication** no1, International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary - The Brazilian National Working Group for the IGCP; Project 61, Instituto de Geociências da USP.

SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; DOMINGUEZ, J. M. L.; FLEXOR, J.M.; AZEVEDO, A. E. G. (1985). Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário Superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. **Rev. Bras. Geocienc.** , [S.L.], v. 15, n. 4, p. 273-286.

TANNER, W.F. 1995. Environmental clastic granulometry. Fla Geol Surv Geol. Bull. **Special publication**, Tallahassee, n. 40, 142 p.

UFPR. (2002) Centro de Estudos do Mar - UFPR. Laboratório de Física Marinha. Disponível em <<http://www.cem.ufpr.br/fisica>> Acesso em 02 mar.

WENTWORTH, C.K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **J. Geol.**, Chicago, n. 30, p. 377-392.

YALIN, M.S. 1977. **Mechanics of Sediment Transport** (2nd ed.), Pergamon Press, Oxford, 298 pp. .