

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

RONALDO GOMES BEZERRA

HIDRODINÂMICA DO ESTUÁRIO DO RIO CHORÓ (CASCAVEL/BEBERIBE)
LITORAL LESTE DO ESTADO DO CEARÁ.

ORIENTADOR: Prof. Dr. GEORGE SATANDER SÁ FREIRE

FORTALEZA

2006

Ficha catalográfica elaborada pelo Bibliotecário Hamilton Rodrigues Tabosa CRB-3/888

B469h Bezerra, Ronaldo Gomes

Hidrodinâmica do estuário do Rio Choró (Cascavel/Beberibe)
litoral leste do Estado do Ceará / Ronaldo Gomes Bezerra

83 f. il. enc.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará,
Fortaleza, 2006.

Orientador: Dr. George Satander Sá Freire

Área de concentração: Geologia Ambiental

1. Hidrodinâmica 2. Estuário 3. Modelagem I. Freire, George Satander
Sá II. Universidade Federal do Ceará – Mestrado em Geologia III.
Título

CDD 551

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE TABELAS	8
LISTA DE TABELAS	8
RESUMO	9
ABSTRACT	10
1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Objetivos.....	12
1.1.1 Geral	12
1.1.2 Específicos.....	12
2 JUSTIFICATIVA	13
3 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	14
3.1 Localização e Acesso a Área	14
3.2 Aspectos Físicos	16
3.2.1 Clima e Parâmetros Meteorológicos	16
3.2.2 Cobertura Vegetal.....	16
3.2.3 Solos	17
3.3 Aspectos Geológicos	18
3.3.1 Embasamento	18
3.3.2 Formação Barreiras.....	18
3.3.3 Depósitos Arenosos de Origem Fluvial e Eólica.....	20
3.4 Aspectos Geomorfológicos.....	20
4 SISTEMA ESTUARINO	23
4.1 Definição e Terminologia.....	23
4.2 Classificação dos Estuários	24
4.2.1 Quanto a Morfologia	24
4.2.2 Classificação de acordo com a Estratificação de Salinidade.....	27
5 METODOLOGIA.....	30
5.1 Campanhas Oceanográficas.....	30
5.1.1 Levantamento Ecobatimétrico.....	30
5.1.2 Correntometria.....	31

5.1.3 Maré.....	32
5.1.4 Regime dos ventos.....	32
5.1.5 Coleta das Amostras de Sedimento de fundo.....	33
5.1.6 Coleta das Amostras de Água.....	34
5.1.7 Modelagem Hidrodinâmica.....	35
5.2 Trabalhos de Laboratório.....	36
5.2.1 Batimetria.....	36
5.2.2 Correntes de Maré.....	38
5.2.3 Ventos.....	39
5.2.4 Análise dos Parâmetros Físicos.....	39
5.2.4.1 Sedimentos.....	39
5.2.4.2 Amostras de Águas.....	40
5.2.5 Modelagem.....	40
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	43
6.1 Batimetria (morfologia de calha do Estuário do Rio Choró).....	43
6.2 Correntometria.....	47
6.3 Maré.....	50
6.4 Ventos.....	52
6.5 Parâmetros Físicos.....	53
6.5.1 Distribuição Faciológica da Calha Estuarina.....	53
6.5.2 Águas.....	56
6.5.2.1 Material em Suspensão (MES).....	56
6.5.2.2 Salinidade.....	58
6.5.2.3 Temperatura.....	59
6.6 Balanço Sedimentar (MES).....	62
6.6.1 Vazão Líquida (Ql).....	62
6.6.2 Vazão Sólida (Qs).....	66
6.7 Modelagem Hidrodinâmica.....	75
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES.....	79
8 BIBLIOGRAFIA.....	82

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Área de estudo “Estuário do Rio Choro”	15
FIGURA 2 - Falésia na margem esquerda do Estuário do Rio Choró, mostrando o pacote de Sedimentos Arenosos Fluviais e Eólicos (a) e seu contato com a Formação Barreiras (b).	19
FIGURA 3 - Dunas móveis em processo de estabilização pela vegetação na margem direita do Estuário do Rio Choró.	20
FIGURA 4 - Mapa Geológico do entorno do Estuário do Rio Choró. (Atlas Digital CPRM, 2004).	21
FIGURA 5 - Mapa Geomorfológico da Região do Estuário do Rio Choró.	22
FIGURA 6a – Seção longitudinal de um sistema estuarino indicando: as zonas de Maré do Rio (ZR), de Mistura (ZM) e a Costeira (C) e características da estrutura vertical de salinidade e circulação média (MIRANDA, 2002).	23
FIGURA 6b – Delimitação funcional de um sistema estuarino (modificado de MIRANDA, 2002).	24
FIGURA 7 - Estuário do tipo geomorfológico “Planície Costeira”.	25
FIGURA 8 - Estuário do tipo geomorfológico “Fiorde”.	25
FIGURA 9 - Estuário do tipo geomorfológico “Construído por Barra”.	26
FIGURA 10 - Outros tipos morfológicos de estuários, formados por deltas de enchente (a) e vazante (b), por processos tectônicos (c) e pelo fechamento da passagem de água do mar (d).	27
FIGURA 11 – Diagrama esquemático de um estuário tipo cunha salina. As setas verticais na interface entre os movimentos bidirecionais indicam o processo de entranhamento (de acordo com Pritchard, 1989, e modificado de Miranda, 2002).	28
FIGURA 12 - Distribuição longitudinal da salinidade e da circulação num estuário tipo parcialmente misturado (de acordo com Pritchard, 1989, e modificado de Miranda, 2002).	28
FIGURA 13 - Distribuição da salinidade e da circulação num estuário verticalmente homogêneo, mas com ligeira estratificação lateral (de acordo com Pritchard, 1989, e modificado de Miranda, 2002).	29
FIGURA 14a - Sonda Ecobatimétrica utilizada na execução da batimetria do Estuário do Rio Choro.	31

FIGURA 14b - Distribuição das rotas batimétricas no Rio Choro.....	31
FIGURA 15 - Estação correntométrica e de coleta de água para uma seção no Estuário do Rio choró.	32
FIGURA 16 - Estação anemométrica utilizada na pesquisa, (a) copos e aleta de vento e (b) console da estação.	33
FIGURA 17 - Amostrador ou Busca Fundo do tipo “Van Veen”.....	34
FIGURA 18 - Garrafa do tipo “Van Dorn.” para coleta de amostras de águas.....	34
FIGURA 19 - Sonda Multiparamétrica do tipo YSI 556 MPS Multi Probe System.....	35
FIGURA 20 - Processo de cálculo da área das seções.	38
FIGURA 21 - Distribuição dos pontos batimétricos no Estuário do Rio Choró.	44
FIGURA 22 - Mapa Batimétrico do Rio Choró.	45
FIGURA 23a - Distribuição das correntes e da maré para o campo I, maré de Sizígia.	48
FIGURA 23b - Distribuição das correntes e da maré para o campo II, maré de Quadratura...	48
FIGURA 24a - Curva da maré para o campo I em maré de sizígia e suas principais nomenclaturas.	51
FIGURA 24b - Curva de maré para o campo II em maré de quadratura.	51
FIGURA 25a - Mapa faciológico do Estuário do Rio Choró.....	54
FIGURA 25b - Imagem aérea da zona estuarina do Rio Choró e seu entorno.....	55
FIGURA 26a - Distribuição do MES para o campo I e a curva de maré referente.....	57
FIGURA 26b - Distribuição do MES para o campo II e a curva de maré referente.	57
FIGURA 27 - <i>a</i> , Comportamento da salinidade nas 26 horas acompanhadas para o campo I, e <i>b</i> , comportamento da salinidade nas 26 horas acompanhadas para o campo II.	58
FIGURA 28 - <i>a</i> , Comportamento das temperaturas adquiridas durante o campo I, e <i>b</i> , para o campo II.....	61
FIGURA 29 - <i>a</i> , Distribuição das vazões líquidas Fluviais (positivas) e Marinhas (negativas) para a superfície e fundo da seção molhada do Estuário do Rio Choró referentes ao campo I, e <i>b</i> , referente ao campo II.	64
FIGURA 30 - <i>a</i> , Distribuição das vazões sólidas para a superfície e fundo da seção molhada do Estuário do Rio Choró referentes ao campo I, e <i>b</i> , referentes ao campo II.....	68
FIGURA 31a - Balanço das vazões sólidas com MES para o campo I e a curva de maré referente.	70
FIGURA 31b - Balanço das vazões sólidas com MES para o campo II e a curva de maré referente.	71

FIGURA 32a - Interação entre as distribuições das vazões sólidas e o balanço de cada hora com a apresentação do balanço final para os dois ciclos de maré do campo I e a curva de maré referente. 72

FIGURA 32b - Interação entre as distribuições das vazões sólidas e o balanço de cada hora com a apresentação do balanço final para os dois ciclos de maré do campo II e a curva de maré referente. 73

FIGURA 33 - Quatro momentos da modelagem hidrodinâmica do Estuário do Rio Choró através do SisBAHIA. 77

FIGURA 34 - Circulação Hidrodinâmica do Estuário do Rio Choró para 24 horas a partir da modelagem gerada pelo SisBAHIA, figura referente a 17 horas (maré de enchente)..... 78

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Médias dos valores de corrente na superfície e no fundo para cada hora na seção molhada do Estuário do Rio choro.	47
TABELA 2 - Velocidades, direções e temperaturas dos ventos adquiridos na margem do Rio Choró.	52
TABELA 3 - Distribuição das temperaturas da água medidas pelo correntógrafo.	60
TABELA 4 - Vazões líquidas e suas respectivas origens, em azul as vazões fluviais e em vermelho as vazões marinhas para os campos I e II.	63
TABELA 5 - Vazões sólidas e suas respectivas origens, em azul as vazões fluviais e em vermelho as vazões marinhas para os dois campos.	67
TABELA 6 - Vazões sólidas e os respectivos balanços horários.	69

RESUMO

A interação de processos naturais e antrópicos, promovida na zona costeira tem gerado significativas transformações de seus ambientes. Sendo as regiões estuarinas, neste setor, as que mais tem sofrido com o resultado dessas interações causando o desequilíbrio, afetando a fauna e a flora e modificando sua hidrodinâmica. Com o objetivo de verificar e caracterizar a hidrodinâmica do Estuário do Rio Choró (Cascavel/Beberibe), promoveu-se a aplicação de técnicas oceanográficas na sua massa d'água, tais como, a batimetria, a correntometria, a coleta de sedimentos (de fundo e material em suspensão) e águas, além do auxílio do modelo SisBAHIA. Os dados gerados foram integrados de forma a caracterizar o estado físico e hidrodinâmico deste estuário. O acompanhamento de dois ciclos de maré foi realizado em dois momentos (sizígia e quadratura) com o monitoramento horário das correntes de maré e das características físicas das águas, dando suporte a uma análise do balanço sedimentar a nível de Material Particulado em Suspensão (MES). Realizou-se também a modelagem hidrodinâmica do corpo d'água estuarino gerando o padrão de correntes para 1 (um) dia. Os resultados mostraram que o estuário apresenta pequenas profundidades em maré baixa dificultando a navegação e impedindo a circulação hidrodinâmica, a qual se apresenta mais influenciada pelas águas oceânicas. As análises das correntes e das águas indicaram maiores velocidades nas marés de enchente (da ordem de 3,9 m/s, em sizígia) e que a salinidade presente no estuário se manteve sempre com valores elevados, com média em torno de 34. Já os resultados do balanço sedimentar revelaram que o Estuário do Rio Choró apresenta importação de material em suspensão nos dois períodos estudados, indicando uma carga estimada de cerca de 15 mil toneladas de MES anualmente entrando estuário adentro para o ano de 2005. Com esses resultados pode-se constatar o início da fase terminal do Estuário do Rio Choró que se encontra bastante assoreado não só na sua foz mais também em setores internos do rio. A presença constante de águas oceânicas e da pequena contribuição da vazão fluvial caracteriza esse estuário atualmente como um braço de mar, o que muito provavelmente esteja sendo provocado pela influência de atividades antrópicas, fazendo com que o mesmo seja consumido pelas areias transportadas na dinâmica costeira local. A sugestão para um melhor conhecimento da capacidade de suporte das águas do Estuário do Rio Choró e de seu comportamento, seria certamente, exercer um acompanhamento em maior escala dos processos envolvidos, buscando o entendimento e a magnitude do desequilíbrio na tentativa de gerenciar medidas corretivas ou amenizadoras do impacto causado.

Palavras-chave: Hidrodinâmica. Estuário. Modelagem.

ABSTRACT

The great interaction of processes and agents – both of natural and antropic origin – in the coast has caused significant changes in the evolution course of its environments. Above all, the estuarine regions are the ones which have been being damaged the most by these interactions that caused unbalance, affected the fauna and flora as well as its hydrodynamics. So as to verify and describe the hydrodynamic of the Estuary of the River Choró (Cascavel, Beberibe - Ceará), oceanographic studies were made in its water: batimetry, currentometry, collection of sediments (from the deep and matter in suspension) and water with the support of the model SisBAHIA. The collected data were crossed as to define the physical and hydrodynamic states of the estuary. Two tidal cycles were studied concerning two aspects (in sygyzy and quadrature) and monitored according to the currents time and the physical properties of the water. Those compose the basis of the analysis of the sediment balance within the level of Matter in Suspension. Also, an hydrodynamic modeling was made in the estuarine water, creating a standard for one day. The results have shown that the estuary had low depths in low tides causing navigation to be impracticable and blocking the hydrodynamic circulation – which is more influenced by the ocean. The analysis of the currents and waters showed greater velocity in upcoming tides (3,9 m/s, in sygyzy). The salinity in the estuary remained constantly high, with an average of 34. The results in the sediment balance proved that the estuary of the River Choró has an import of matter in suspension in the two periods considered. This import was estimated to be approximately of 15.000 tons of incoming matter in suspension in the year of 2005. These studies reveal that the Estuary of the River Choró has begun its terminal phase. The river is found to be in a very critic stage of sediment deposition all along its course. The constant presence of the ocean water and the little contribution of the river flow are turning this estuary into a sea-arm which is likely to be caused by ANTROPIC activity. The river is being consumed by the sediment brought by the local coastal activity to its bed and sides. A good suggestion for a better understanding of the support capacity of the River Choró as well as its estuary behavior would be a wider study of the processes involved in the phenomenon. An action in this direction would help stop this deposition and increase the useful capacity of the River Choró.

Keyword: Hydrodynamic. River Deposition. Modeling. Sediment Balance.

1 INTRODUÇÃO

A gestão e uso da zona costeira requerem o conhecimento e o monitoramento dos agentes que determinam a dinâmica e a evolução desta ao longo do tempo. Esse requerimento básico, uma vez logrado, permite prever o comportamento dos ambientes costeiros, tanto em condições naturais como sob influência humana.

A zona costeira, por ser uma região de abrangência dos efeitos naturais resultantes das interações terra-mar-ar, apresenta-se como um ambiente dinâmico e de extrema fragilidade. A implantação de empreendimentos (urbanização, industrialização e a especulação imobiliária) e a exploração irracional dos recursos naturais agravam a dinâmica costeira e provocam interrupção do equilíbrio ambiental, surtindo efeitos negativos como erosão, assoreamento, contaminação do solo e da água, diminuição dos recursos naturais, da qualidade de vida da população local, desmatamento, entre outros.

Nas zonas terminais de rios, onde se encontram os estuários muitas vezes com grandes manguezais, os efeitos da atividade antrópica são facilmente percebidos através de mudanças físicas, químicas e biológicas. Os impactos nesses setores são quase sempre nocivos devido à alta vulnerabilidade da fauna e da flora desses ambientes.

Portanto, dentre os ecossistemas da zona costeira, os estuários e manguezais são sem dúvida os que mais sofrem com a agressão antrópica promovida pelas atividades do desenvolvimento. Tais ambientes possuem um papel fundamental na manutenção do ciclo sedimentar e biológico da zona costeira e são bastante vulneráveis as mudanças provocadas pela ação desmedida do homem.

O conhecimento das características físicas, químicas, hidrodinâmicas, e ambientais destas áreas constitui informações de grande importância que ajudarão no controle e na manutenção desses setores frente aos efeitos negativos da atividade antrópica.

Como apoio, usaremos o modelo matemático, SisBAHIA¹, tem uma importância fundamental no processo de análise da hidrodinâmica do corpo de água estuarino em estudo através de sua modelagem.

A região proposta para o desenvolvimento deste projeto compreende a foz do Rio Choró e seu entorno, localizado entre os Municípios de Cascavel e Beberibe no litoral Leste do Estado do Ceará, onde os impactos da atividade antrópica são bem intensos e visíveis.

¹ O SisBAHIA é um sistema profissional, registrado pela Fundação Coppetec, ligada à COPPE/UFRJ (www.coppetec.coppe.ufrj.br). O sistema é cedido gratuitamente para uso não comercial, mediante convênio de cooperação tecnológica (Rosman, 2000).

1.1 Objetivos

1.1.1 Geral

Determinar a hidrodinâmica da zona estuarina do Rio Choró e seu entorno.

1.1.2 Específicos

Analisar a morfologia do estuário e de suas margens através da batimetria;
Avaliar o comportamento das correntes de maré em 26 horas na seção molhada²
do rio;

Analisar o comportamento do padrão de ventos;

Analisar a distribuição faciológica e textural dos sedimentos de fundo do estuário;

Coletar e analisar as águas da seção molhada;

Analisar o Balanço Hídrico/Sedimentar; e

Estudar o escoamento da massa de água estuarina através da modelagem.

² Seção Molhada é a porção da seção transversal efetivamente ocupada pela água em escoamento (Silva, 2003).

2 JUSTIFICATIVA

A região costeira do Estado do Ceará vem sofrendo muitas agressões por parte da industrialização, da prática de criação em cativeiro e principalmente pela especulação imobiliária que cada vez mais vem avançando para regiões menos apropriadas. As fazendas de carciniculturas, as casas de veraneios e os atuais “resorts” surgem como os principais responsáveis pela interação de mudanças impostas ao meio ambiente envolvido.

Tendo em vista o advento dessas atividades surge nesta pesquisa a preocupação com esses complexos ambientes estuarinos e com as margens costeiras associadas, onde certamente serão as áreas mais afetadas, as quais transmitirão os prejuízos para a fauna e flora que por sua vez repassarão à população local.

Toda essa transformação gera a necessidade de estudos oceanográficos prévios no corpo de água do Estuário do Rio Choró, tais como a hidrodinâmica, o padrão geral dos processos atuantes (batimetria, maré, correntes, ventos, entre outros), o monitoramento físico e químico da qualidade dessas águas e a avaliação do background da área. Tais estudos tiveram a finalidade de compor o conjunto das características estuarina local, tentando evitar problemas e sugerir soluções para o seu perfeito planejamento, controle e monitoramento.

Convém salientar também que os resultados provenientes desta dissertação têm o propósito de contribuir de forma concreta para o conhecimento da área quanto a sua qualidade ambiental e oceanográfica, além de propor soluções práticas para os problemas apresentados e para orientação de intervenções futuras.

3 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização e Acesso a Área

A área objeto da pesquisa desta dissertação está localizada entre os Municípios de Cascavel e Beberibe, mais precisamente no Distrito de Barra Nova, na região de entorno do estuário do Rio Choró, o qual representa o limite físico territorial entre os dois Municípios citados.

A região encontra-se no litoral leste do estado do Ceará distando cerca de 55 km da Capital Fortaleza em linha reta, possui no seu entorno dunas móveis, densa vegetação de mangue e tabuleiro. O acesso à área se faz partindo de Fortaleza através da CE 507 pelo Eusébio seguindo nessa via até Aquiraz de onde se segue pela CE 040 até o Município de Cascavel daí tendo acesso ao Distrito de Barra Nova. Os limites geográficos da área encontram-se entre as coordenadas 9544204, 9547679, 592566 e 595356 (FIGURA 1).

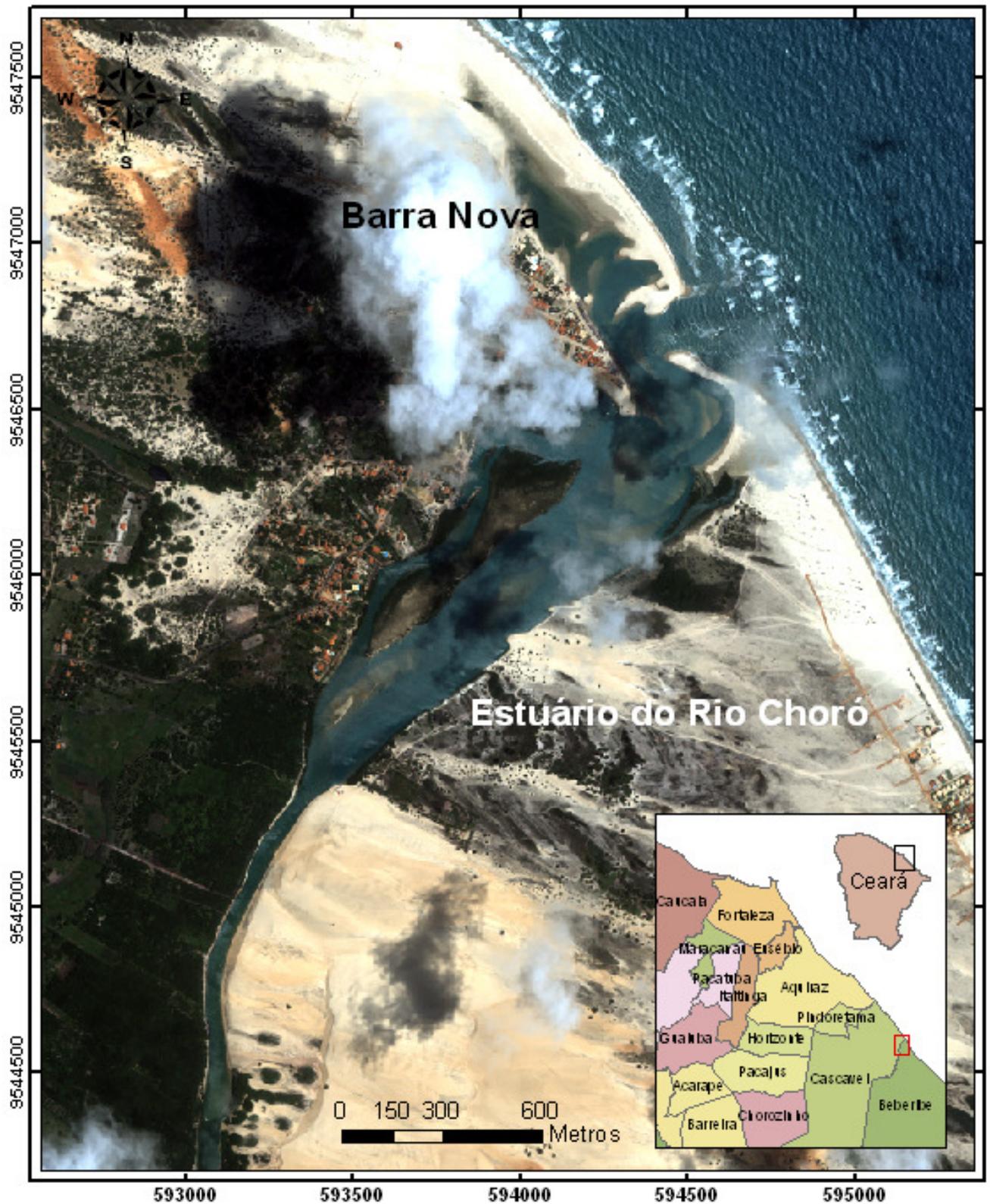


FIGURA 1 - Área de estudo “Estuário do Rio Choró”.

3.2 Aspectos Físicos

O Rio Choró está entre os principais rios da Bacia Metropolitana junto com o Pirangi, o Pacoti, o Cocó, o Ceará e o São Gonçalo, sendo o Rio Choró o principal em extensão desde sua nascente até a foz (205 Km de extensão).

Sua nascente encontra-se no distrito de Monte Castelo, no município de Choró, passando ainda pelos municípios de Quixadá, Itapiúna, Capristano, Baturité, Aracoiaba, Barreira, Chorozinho, Pacajus, Cascavel e Beberibe. Nesse percurso o Rio Choró abastece dois açudes, sendo o primeiro o Açude Pompeu Sobrinho de cerca de 7 km² no Município de Choró e o segundo e mais expressivo o Açude da Pacajus de cerca de 31 km² nos municípios de Chorozinho, Pacajus e Cascavel.

3.2.1 Clima e Parâmetros Meteorológicos

O clima que caracteriza a região segundo a classificação de Köppen (1948) é a zona tropical úmida do tipo “Aw”, com precipitações irregulares e deficiência hídrica moderada a baixa.

A Zona de Convergência Intertropical é o principal sistema sinótico responsável pelo estabelecimento da quadra chuvosa. Atinge sua posição máxima no hemisfério sul, entorno do equinócio outonal (21 março), retornando ao hemisfério norte em maio, quando o período chuvoso entra em declínio. (SOARES, 1998).

3.2.2 Cobertura Vegetal

No litoral arenoso, a vegetação é rala e herbácea. Observa-se que nesta faixa os primeiros sinais de vegetação aparecem depois das cristas de bermas, representados por gramíneas e salsas. A diminuição da salsa em direção a esse ponto dá lugar aos muricizeiros, coqueiros, cajueiros e gramíneas que ocorrem sobre as dunas e ajudam a fixá-las. Nas paleodunas, dadas as condições pedogênicas mais favoráveis à vegetação é mais densa e variável (GOMES, 1995).

Na região do Rio Choró, sobre influência das marés, desenvolve-se a vegetação típica de solos orgânicos com a presença de mangues e sua vegetação característica. Há nesse setor a predominância da *Rhizophora manglel.*, *Avicenia* e *Laguncularia Racemosa*.

3.2.3 Solos

Em relação aos solos da região, ocorrem os seguintes solos:

Areias Quartzosas; Solos profundos ou muito profundos, excessivamente drenados, baixo teor de argila. Possui cores desde vermelhas até brancas, sendo freqüentes as amareladas. Apresentam seqüência de horizontes A e C, em que A se mostra com espessura de 10 a 20 cm e o Horizonte C de grande espessura, geralmente superior a dois metros. São pouco aproveitados quanto ao uso agrícola tendo em vista a baixa fertilidade natural e a textura muito arenosa;

Planossolo Solódico - Compreende solos relativamente rasos, com textura do horizonte A, apresentando-se arenosa, sobre um B altamente argiloso;

Litólicos Eutróficos e Distróficos - São solos rasos ou muito rasos, não hidromórficos, pouco desenvolvidos, normalmente pedregosos e rochosos, possuindo um horizonte A diretamente assentado sobre a rocha (R) ou sobre um horizonte C, de pequena espessura e geralmente com muitos minerais primários;

Aluviais - Solos pouco desenvolvidos, originados de deposições recentes e de natureza diversa, apresentando um horizonte A ou Ap, diferenciado sobre camadas estratificadas II C, III C e outras;

Solonchak Solonético - São solos automórficos, intermediários para solonetz, pouco diferenciados e com elevados teores de sódio trocável; e

Terrenos Fluviais - Não são propriamente solos, mas um tipo de terreno característico de regiões semi-áridas, com rios ou riachos que secam completamente ou quase completamente nas épocas de estiagem.

3.3 Aspectos Geológicos

Na região, afloram unidades litoestratigráficas desde o Pré-Cambriano até o Quaternário, com a ocorrência de rochas do embasamento, as coberturas cenozóicas dos sedimentos da Formação Barreiras e as feições quaternárias neoformadas.

3.3.1 Embasamento

As rochas do embasamento são compostas pelo Grupo Ceará de idade Proterozóica e Arqueanas, e segundo Caby e Arthaud (1986), é formado essencialmente, por metassedimentos, formados por xistos pelíticos e semi pelíticos e gnaisses de fácies anfibolito de alto grau, afetado em intensidades variáveis por mobilização e migmatização.

Segundo Caby e Arthaud (op. cit.) o embasamento é representado por metaquartzitos aluminosos e grande quantidade de mármore e calcicilicatos, que definem horizontes mapeáveis, intercalados com rochas pelíticas. Rochas subalcalinas e gnaisses sisníticos, com acamamento migmatítico de pequena escala também são comuns no contexto. Estas rochas exibem feições típicas geradas por tectonismo horizontal extensivo que envolve tanto o embasamento arqueano quanto as unidades proterozóicas e nappes de rochas Proterozóicas, com empurrão S-SW sobre o embasamento Arqueano.

Rochas do embasamento ocorrem por toda a região logo abaixo dos sedimentos da formação barreiras e seus fragmentos são encontrados próximos à escarpa da margem esquerda do Rio choró (FIGURA 2) e em outras áreas como pequenos afloramentos resistentes a erosão.

3.3.2 Formação Barreiras

Os sedimentos da Formação Barreiras são constituídos por rochas plio-pleistocênicas que em função das variações litológicas, tonalidades, estruturas sedimentares e inter-relações das fácies, foram agrupados em três classes faciológicas (BRANCO, 2003).

A primeira classe caracteriza-se pelas intercalações das fácies F1 e F2, onde a fácies F1 é marcada pelo predomínio de seixos de quartzo em relação à matriz areno-argilosa

(conglomerado ortoquartzítico) e estruturas de corte e preenchimento de canais, e a fácies F2, os seixos de quartzo tornam-se escassos e distribuem-se aleatoriamente na matriz areno-argilosa, classificando a rocha como lamito conglomerático ou diamictito. A segunda classe de fácies engloba as exposições areno-argilosa, de coloração avermelhada, aspecto maciço, com presença de grânulos de quartzo dispersos no arcaibouço da rocha. A terceira classe corresponde aos depósitos areno-argilosos de coloração avermelhada e aspecto maciço que afloram no topo das seqüências plio-pleistocênicas das falésias dos municípios de Beberibe, Aracati e Icapuí. Sua deposição ocorreu por meio de correntes de fluxo em condições de clima semi-árido, interpretado como testemunhos da sedimentação distal dos leques aluviais. (BRANCO, 2003).

Os sedimentos da Formação Barreiras podem ser observados nas falésias da margem esquerda da área estudada situados sob os Depósitos Aluviais e Eólicos Litorâneos com contato visível (FIGURA 2), aparecendo superficialmente no mapa geológico no setor noroeste da área (FIGURA 4).



FIGURA 2 - Falésia na margem esquerda do Estuário do Rio Choró, mostrando o pacote de Sedimentos Arenosos Fluviais e Eólicos (a) e seu contato com a Formação Barreiras (b).

3.3.3 Depósitos Arenosos de Origem Fluvial e Eólica

Os depósitos arenosos fluviais (aluviais) e eólicos estão distribuídos ao redor da zona estuarina (FIGURA 4). Os depósitos aluviais compostos de argilas, areias argilosas, quartzosas e quartzofeldspáticas, conglomeráticas ou não, e cascalhos de argilas orgânicas encontram-se distribuídos na região mais interna até próximo da foz. Os depósitos eólicos litorâneos (FIGURA 3) compostos de areias esbranquiçadas, quartzosas, bem classificadas, onde ocorrem leitos mais escuros com concentrações de minerais pesados, ocupam a faixa litorânea próxima a linha de costa e a zona leste da área (CAVALCANTE et. al., 2003).

3.4 Aspectos Geomorfológicos

Em relação à geomorfologia são encontradas na área de estudo unidades e feições morfológicas como a planície litorânea composta pela faixa praial, pós-praia, dunas móveis e fixas, planície flúvio-marinha e Glacis pré-litorâneos ou Tabuleiros pré-litorâneos.

Definido como decorrente de sedimentos cronologicamente dentro do período Quaternário, a Planície litorânea é representada por sedimentos litorâneos, constituídos de arenitos de praias e cordões de dunas de idade recente, formados pelos arenitos flúvio-marinhos e os sedimentos inconsolidados de origem eólico de dunas segundo Soares (1998). Esta planície está presente em quase toda a área do entorno do Estuário de Rio Choró, como mostra o mapa geomorfológico (FIGURA 5), com exceção do campo de dunas disposto no sentido noroeste/sudeste.



FIGURA 3 - Dunas móveis em processo de estabilização pela vegetação na margem direita do Estuário do Rio Choró.

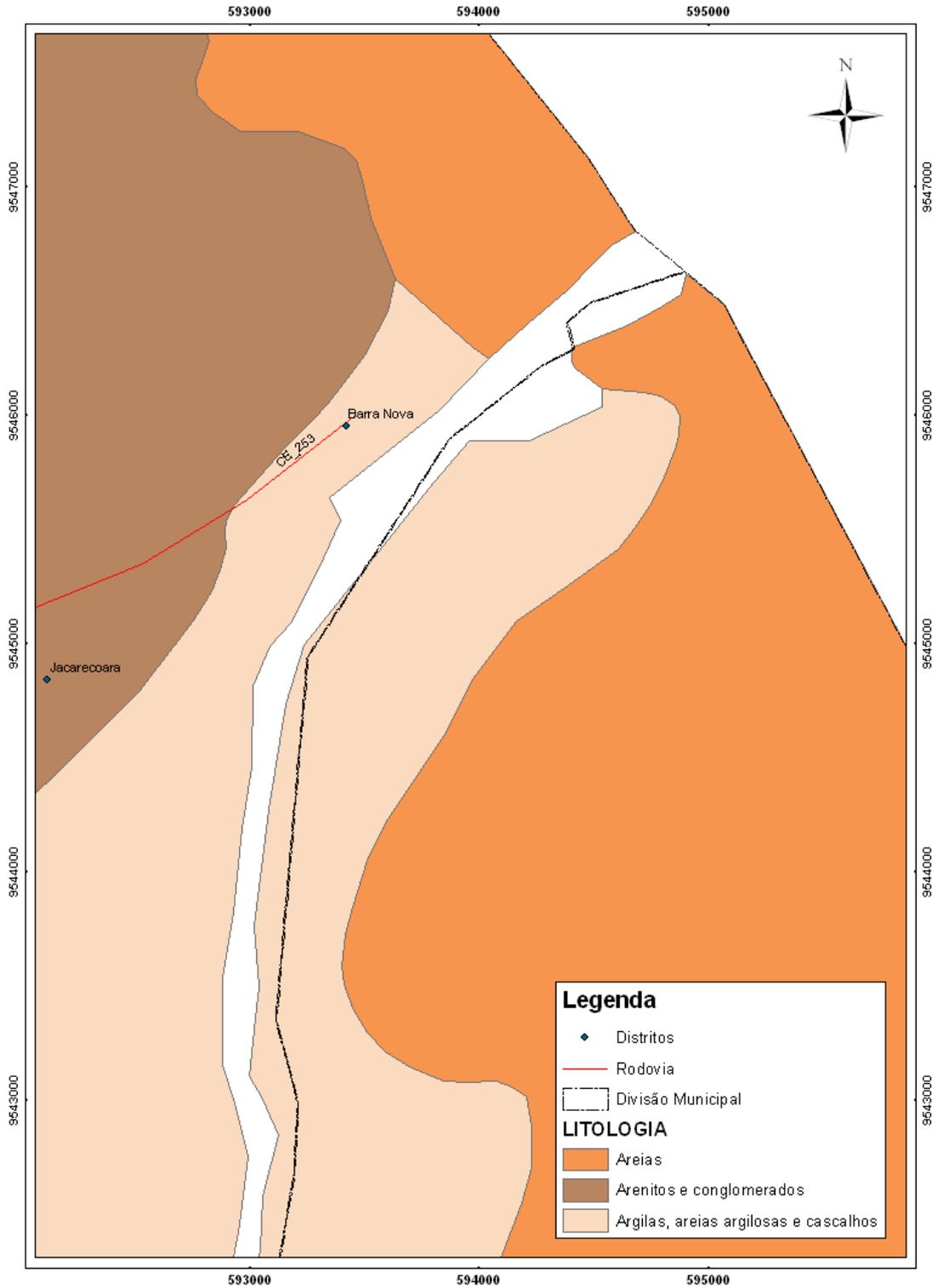


FIGURA 4 - Mapa Geológico do entorno do Estuário do Rio Choró. (Atlas Digital CPRM, 2004).

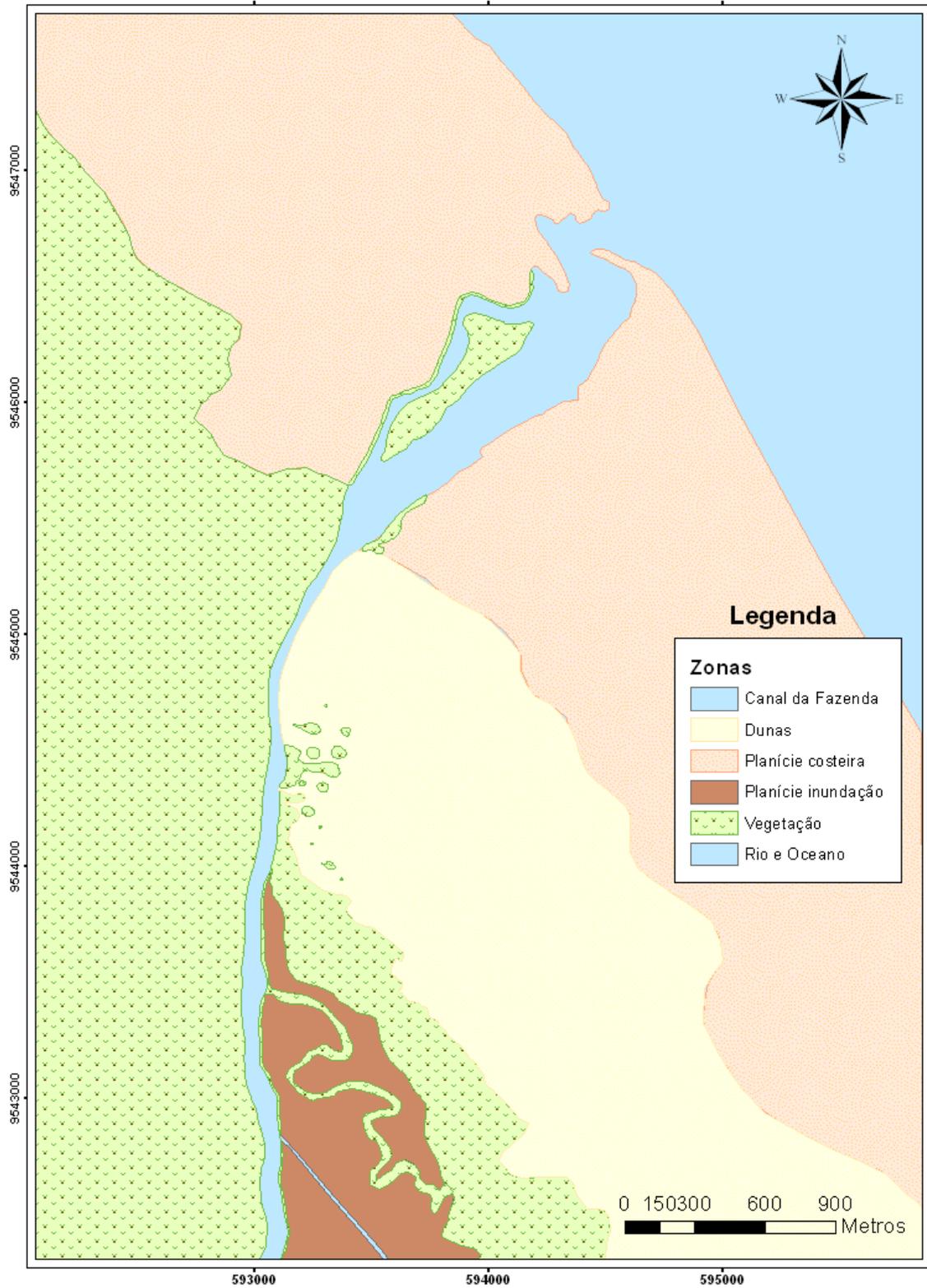


FIGURA 5 - Mapa Geomorfológico da Região do Estuário do Rio Choró.

4 SISTEMA ESTUARINO

4.1 Definição e Terminologia

Derivado do latino *aestuarium*, cujo significado é maré ou onda abrupta de grande altura, a palavra estuário tem como definição o ambiente de transição entre o rio e o mar, e por tanto, entre o continente e o oceano, onde há a mistura de águas doces e salgadas promovendo grande diversidade biológica e complexidade dos parâmetros físicos.

Segundo a clássica definição de Cameron e Pritchard (1963), uma das mais bem aceitas, “*Estuário é um corpo de água costeiro semifechado, com uma livre ligação com o oceano aberto, no interior do qual a água do mar é mensuravelmente diluída pela água doce oriunda da drenagem continental*”.

Uma outra definição foi apresentada por Kjerfve (1987), levando em conta não somente a gênese geológica, mais também os processos regionais (fatores climáticos, sedimentação recente e forçantes dinâmicas) que contribuem para a formação desses ambientes e são responsáveis pelo amplo espectro de características geomorfológicas e fisiográficas encontradas na natureza (MIRANDA, 2002), definido como:

Estuário é um ambiente costeiro que apresenta conexão restrita com o oceano adjacente. Tal conexão permanece aberta pelo menos intermitentemente. Esse ambiente pode ser subdividido em três zonas distintas (FIGURA 6a e 6b):

Zona de Maré do Rio (ZR) – parte fluvial com salinidade praticamente igual a zero, mas ainda sujeita à influência da maré;

Zona de Mistura (ZM) – região onde ocorre a mistura da água doce da drenagem continental com a água do mar;

Zona Costeira (ZC) – região costeira adjacente que se estende até a frente da pluma estuarina que delimita a Camada Limite Costeira (CLC).

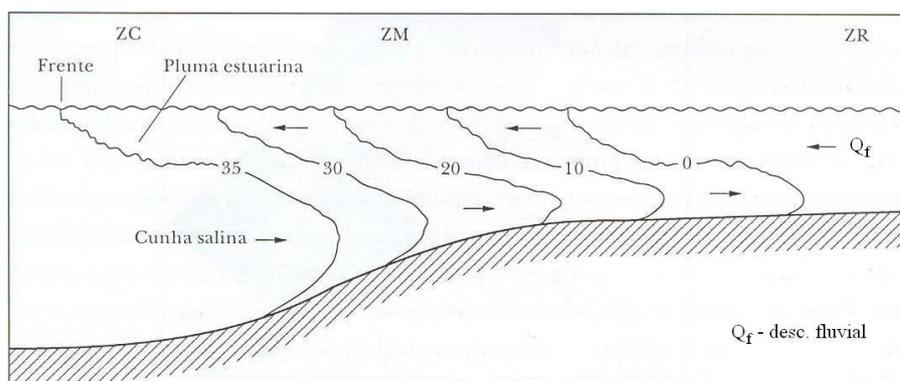


FIGURA 6a – Seção longitudinal de um sistema estuarino indicando: as zonas de Maré do Rio (ZR), de Mistura (ZM) e a Costeira (C) e características da estrutura vertical de salinidade e circulação média (MIRANDA, 2002).

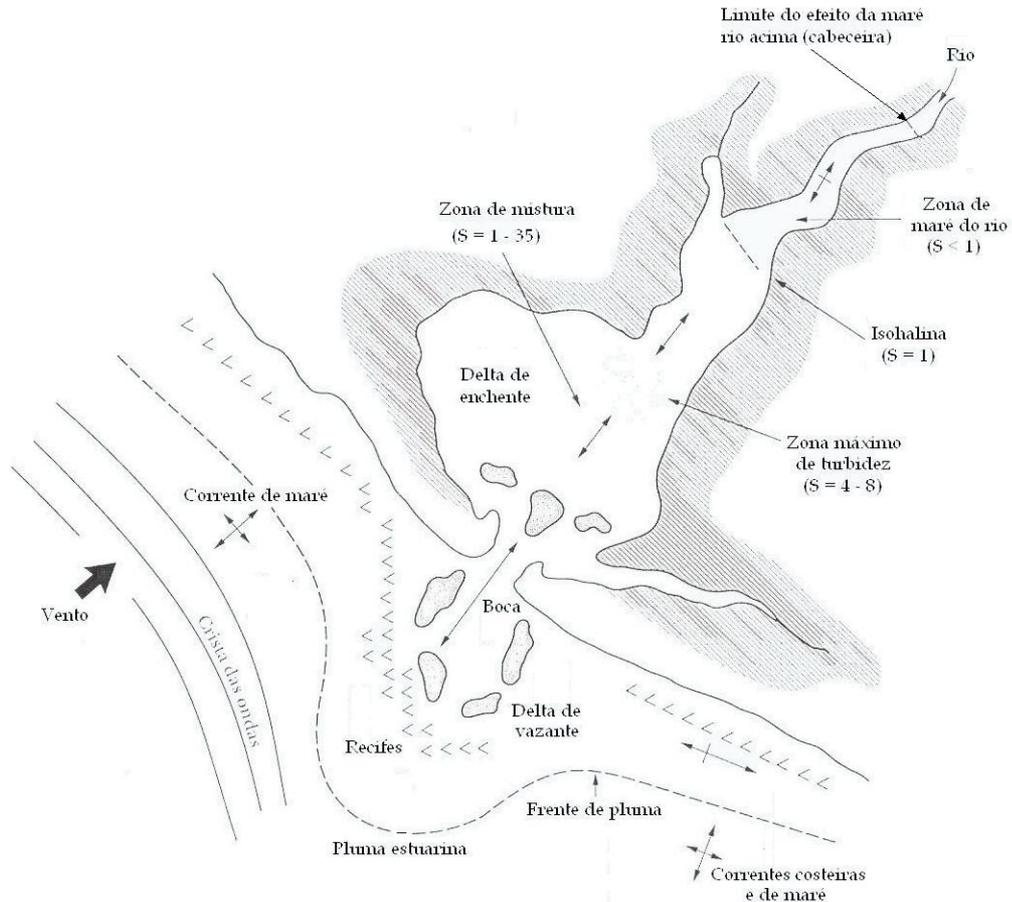


FIGURA 6b – Delimitação funcional de um sistema estuarino (modificado de MIRANDA, 2002).

4.2 Classificação dos Estuários

A classificação de estuários pode levar em consideração diversos parâmetros (morfologia, estratificação, etc). Alguns sistemas de classificação já foram desenvolvidos por diversos pesquisadores dentro das diversas áreas. Apresenta-se agora um resumo da classificação de alguns tipos de estuários segundo Miranda *et. al.* (2002).

4.2.1 Quanto a Morfologia

Pritchard (1952b), classificou os estuários em tipos geomorfológicos agrupados em: planície costeira, fiorde, formado por barras e os demais não classificados nos tipos anteriores, de acordo com geologia e geomorfologia da sua formação. Exemplos de tipos dessa classificação estão dispostos abaixo:

Planície Costeira

São estuários característicos de regiões de planície costeira com o processo de formação relacionado à transgressão marinha no Holoceno, provocando a inundação dos vales dos rios (FIGURA 7).

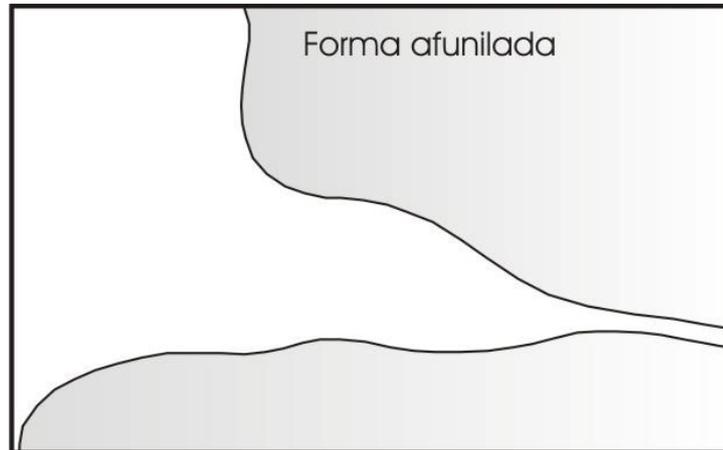


FIGURA 7 - Estuário do tipo geomorfológico "Planície Costeira".

Fiorde

Esse tipo de estuário teve sua formação através da intensa escavação glacial na planície costeira ou na plataforma continental, regiões que se encontravam cobertas por calotas de gelo durante o Pleistoceno (FIGURA 8).



FIGURA 8 - Estuário do tipo geomorfológico "Fiorde".

Formado por Barra

Nesses estuários também houve inundação dos vales primitivos dos rios no período da transgressão marinha e ocorre a formação de barras na foz provocada pela sedimentação da dinâmica costeira local (FIGURA 9).

São estuários que sofrem processos erosivos com facilidade e em regiões que apresentam grande movimentação de areias transportadas pelas ondas e correntes litorâneas.

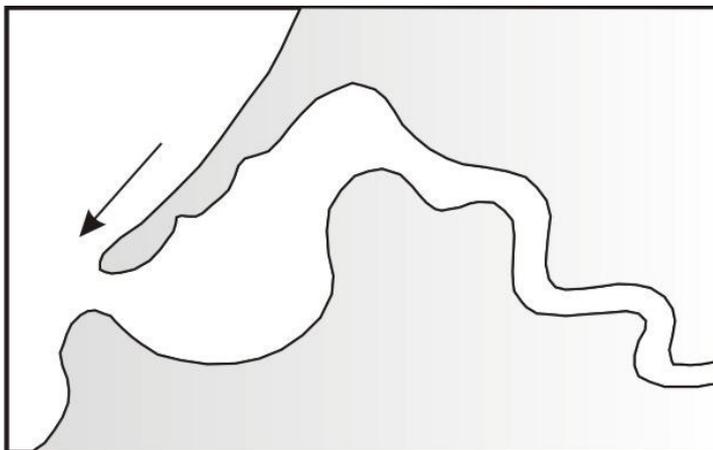


FIGURA 9 - Estuário do tipo geomorfológico “Construído por Barra”.

O estuário do Rio Choró se aproxima muito das características desse tipo de estuário. Ele apresenta uma pequena barra na sua boca provocada pela sedimentação gerada na deriva litorânea local.

Os outros Tipos de Estuários

Os estuários restantes estão agrupados aqui por serem formados por outros processos costeiros, como: falhas tectônicas, erupções vulcânicas, tremores e deslizamentos de terra. Dentre os principais estuários dessa classificação estão: os *Deltas Estuarinos* com processo de grande sedimentação formando pequenas ilhas na sua parte interna (delta de enchente) e os que formam ilhas na parte externa (delta de vazante); os *Ria* de origem tectônica, formados por elevação da parte continental; e as *Lagunas Costeiras* formadas pelo fechamento da ligação com o mar..

A figura 10 apresenta os estuários citados acima, assim como também outros estuários segundo a classificação morfológica de Fairbridge (1980).

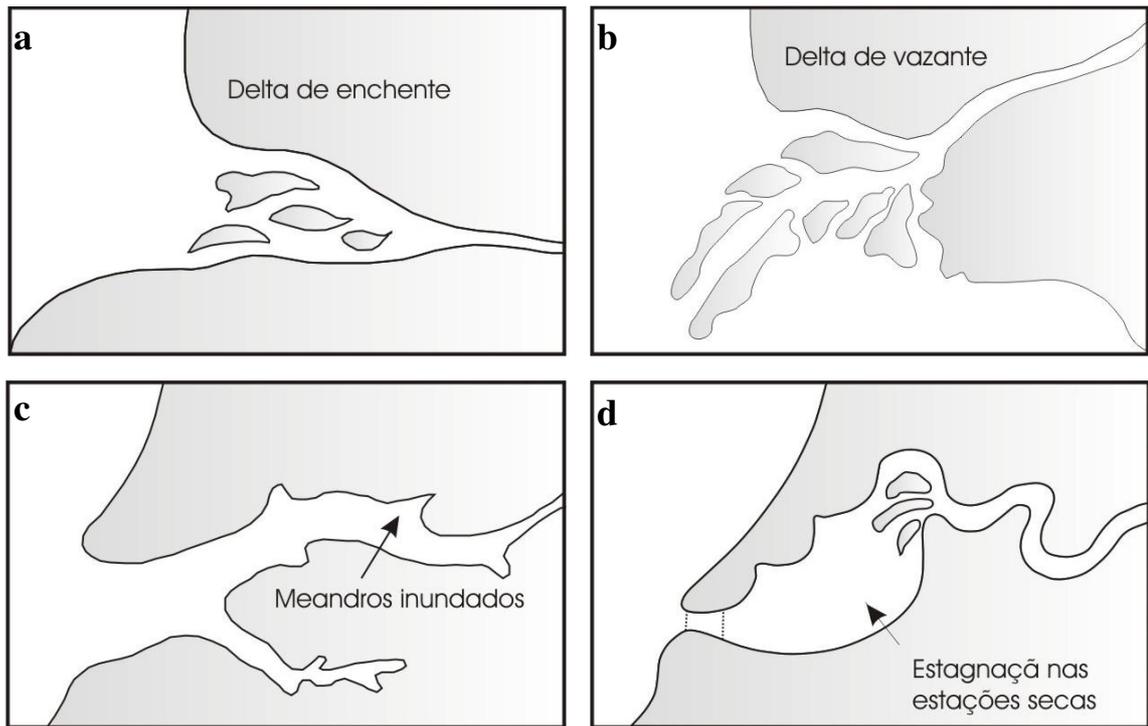


FIGURA 10 - Outros tipos morfológicos de estuários, formados por deltas de enchente (a) e vazante (b), por processos tectônicos (c) e pelo fechamento da passagem de água do mar (d).

4.2.2 Classificação de acordo com a Estratificação de Salinidade

O esquema de classificação de acordo com a estratificação de salinidade permite estabelecer qualitativamente as principais características da circulação na zona de mistura (ZM), abrangendo a maioria dos estuários de planície costeira. Sendo assim, de acordo com a estratificação vertical de salinidade, têm-se os seguintes tipos de estuários (PRITCHARD, 1995): cunha salina (tipo A), moderadamente ou parcialmente misturado (tipo B), verticalmente bem misturado e lateralmente estratificado (tipo C) e bem misturado (tipo D) (MIRANDA *et. al.*, 2002).

Cunha Salina (Tipo A)

São estuários típicos de regiões onde prevalecem às descargas fluviais em relação à força da maré, as quais tipicamente ocorrem com pequenas amplitudes (micromarés). A cunha salina nesses estuários em resposta as variações da descarga fluvial e da maré não se mantém estacionária, procurando sempre uma posição de equilíbrio. O esquema desse tipo de estuário está ilustrado no perfil longitudinal da figura 11.

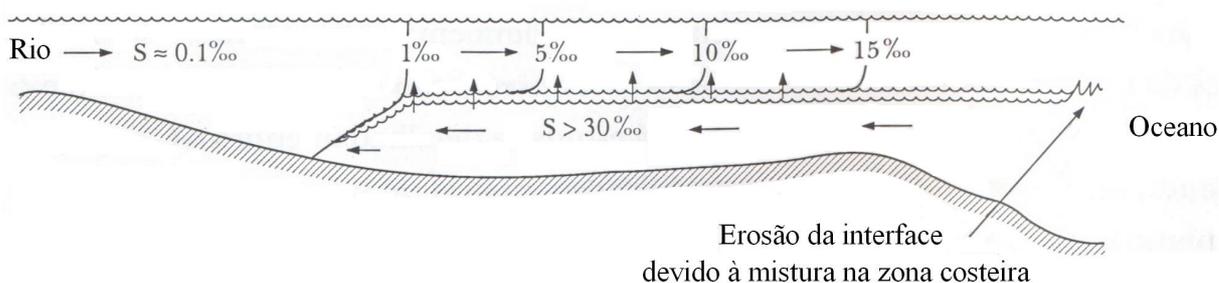


FIGURA 11 – Diagrama esquemático de um estuário tipo cunha salina. As setas verticais na interface entre os movimentos bidirecionais indicam o processo de entranhamento (de acordo com Pritchard, 1989, e modificado de Miranda, 2002).

Moderadamente ou Parcialmente Misturado (Tipo B)

Nesse tipo de estuário todo o volume de água no seu interior é agitado periodicamente com a co-oscilação da maré. Pode ocorrer em marés de pequena altura, porém só ocorre em pequenos valores de razão de fluxo, o que possibilita a erosão da haloclina. A maré nesse processo deve possuir energia suficiente para gerar turbulência interna e quebrar as forças estabilizadoras presentes. Nesse momento a turbulência gerada quebra os gradientes verticais, provocando a mistura das camadas, salinizando toda coluna de água. A figura 12 abaixo mostra o perfil longitudinal desse tipo de estuário.

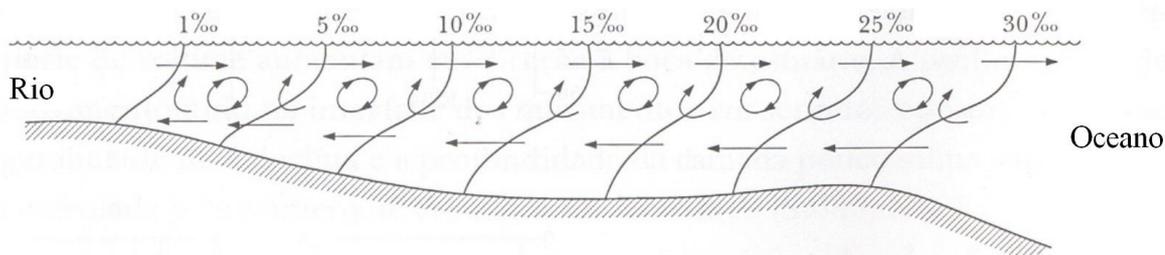


FIGURA 12 - Distribuição longitudinal da salinidade e da circulação num estuário tipo parcialmente misturado (de acordo com Pritchard, 1989, e modificado de Miranda, 2002).

Verticalmente Bem Misturado (Tipos C e D)

Esse tipo de estuário forma-se em geral em canais rasos e estreitos forçados por descarga fluvial pequena. Se esse sistema estiver localizado numa região com altura de maré moderada ou grande, o cisalhamento das correntes no fundo produzirá turbulência, cujo fluxo para o interior será suficientemente intenso para a completa erosão da haloclina. Entretanto, como em condições naturais esses estuários apresentam, em geral, pequena estratificação vertical de salinidade, o fluxo vertical de sal é desprezível e o processo de mistura ocorre

principalmente na direção longitudinal (DYER, 1997). Segundo Miranda (2002), a intensidade do gradiente longitudinal de salinidade (densidade) para esse estuário é menor do que no estuário parcialmente misturado e o componente baroclínico da força de gradiente de pressão não é capaz de gerar circulação gravitacional. Sendo assim, o movimento estacionário é predominantemente unidirecional estuário abaixo.

Esse tipo de estuário apresenta ainda duas subdivisões: os estuários lateralmente estratificados (Tipo C), os quais possuem uma certa estratificação lateral (FIGURA 13) gerada pela força de coriolis, e os estuários bem misturados (Tipo D).

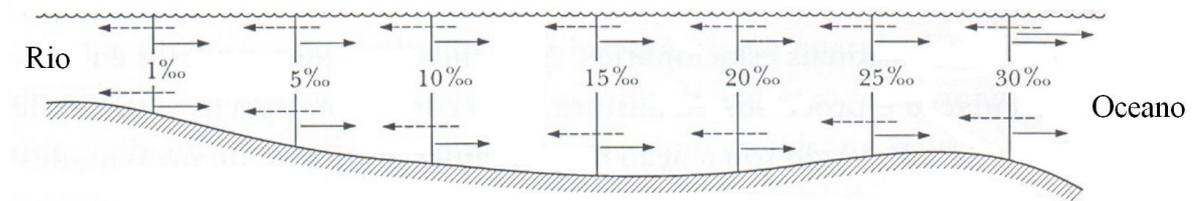


FIGURA 13 - Distribuição da salinidade e da circulação num estuário verticalmente homogêneo, mas com ligeira estratificação lateral (de acordo com Pritchard, 1989, e modificado de Miranda, 2002).

5 METODOLOGIA

A pesquisa seguiu os seguintes procedimentos metodológicos:

5.1 Campanhas Oceanográficas

5.1.1 Levantamento Ecobatimétrico

Os levantamentos batimétricos são necessários visto que algumas das características principais dos estuários estão intimamente relacionadas com a morfologia. Além disso, uma visualização prática e bem representativa das cotas de fundo de rio possibilita melhores interpretações e facilita o reconhecimento dos principais setores e características do ambiente em questão.

A batimetria local foi realizada mediante o uso do ecobatímetro de precisão FURUNO GPS/PLOTTER/SONAR COLORIDO GP-1650F da Furuno Electric Co. LTD (FIGURA 14a), em nível mais detalhado e posteriormente complementado com dados de batimetrias anteriores recentemente levantados.

O trabalho consistiu na aquisição de dados de posicionamento global (via GPS) e de profundidade (via sinal sonoro), através da ecossonda com GPS acoplado. O equipamento foi montado numa lancha de alumínio de forma a transportar a antena receptora do GPS e o Transdutor do ecobatímetro por toda área registrando em tempo real as informações locais no computador a bordo da embarcação.

O método consistiu em recobrir através de perfis transversais e longitudinais ao rio de forma a varrer toda sua extensão (FIGURA 14b), coletando informações que compuseram o conjunto de dados (x,y,z) que deu origem ao mapa batimétrico local.

Tais dados passaram por um tratamento específico com intuito de se arranjar os valores levantados e torná-los úteis de utilização na confecção do mapa batimétrico.

O mapa gerado originou-se de um acurado processo matemático através de interpolação dos dados existentes utilizando o método da Krigagem com ajustes de semi-variogramas teóricos.

Ainda sim, a batimetria foi utilizada como condição de contorno necessária ao processo de modelagem hidrodinâmica pelo programa SisBAHIA.

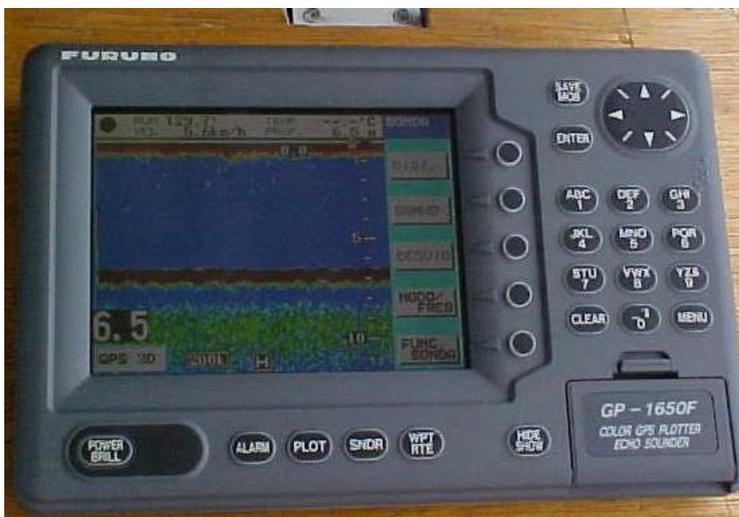


FIGURA 14a - Sonda Ecobatimétrica utilizada na execução da batimetria do Estuário do Rio Choró.

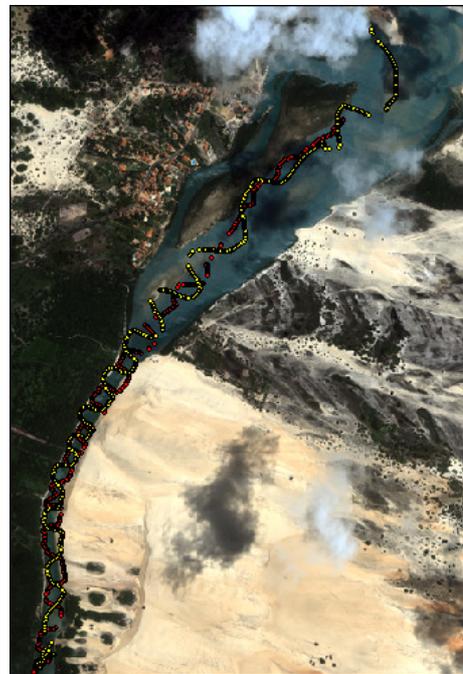


FIGURA 14b - Distribuição das rotas batimétricas no Rio Choró.

5.1.2 Correntometria

Para caracterizar o padrão de correntes no estuário do Rio Choró foi utilizado o correntômetro analógico SD 6000 da Sensordata, medindo e registrando em tempo real as correntes na superfície e no fundo em uma estação pontual (9544216 E, 593086 S) durante 26 horas (FIGURA 15), durante dois ciclos de maré e posteriormente fazer relação temporal em outras escalas.

Os valores de corrente de maré foram levantados durante dois períodos (Nov/04 e Mar/05) compondo a tabela de valores médios (TABELA 1) para cada hora na superfície e no fundo representando, no instante, a velocidade (em $m s^{-1}$) da vazão para cada setor.

A tomada de medidas pontuais serviu também de apoio ao processo de calibração do modelo Hidrodinâmico gerado pelo SisBAHIA.



FIGURA 15 - Estação correntométrica e de coleta de água para uma seção no Estuário do Rio choró.

5.1.3 Maré

A variabilidade da maré durante os dois períodos foi determinada através do acompanhamento das profundidades das coletas horárias no ponto monitorado. A cada hora se mediu no ecobatímetro a profundidade local, a qual compôs, no final das 26 horas acompanhadas, as curvas das marés para os períodos estudados.

5.1.4 Regime dos ventos

O regime dos ventos foi registrado por observações obtidas mediante a utilização da estação anemométrica tipo DAVIS Wizard III, do Laboratório de Geologia Marinha e

Aplicada instalada próximo a estação de coleta de correntes (seção molhada) na margem esquerda Estuário do Rio Choro (FIGURA 16).

Além da caracterização do padrão dos ventos para o Estuário do Rio Choró, os dados de vento gerados e disponibilizados para esse estudo foram muito importantes na realização da modelagem hidrodinâmica, pelo fato de servirem como condição de contorno de entrada para o modelo.

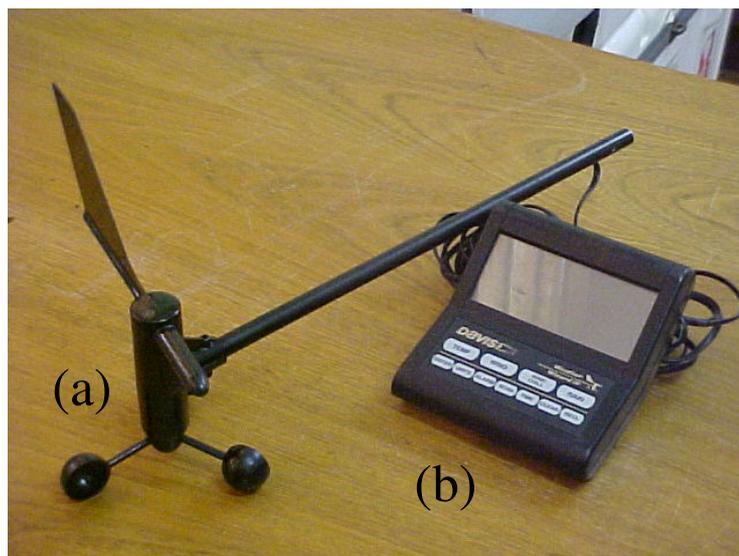


FIGURA 16 - Estação anemométrica utilizada na pesquisa, (a) copos e aleta de vento e (b) console da estação.

5.1.5 Coleta das Amostras de Sedimento de fundo

Os sedimentos do fundo do estuário foram coletados através de um amostrador pontual do tipo “Van Veen” (FIGURA 17), em pontos distribuídos na área do leito do rio com o objetivo de caracterizar a textura dos mesmos. As amostras coletadas passaram pelo processo habitual da análise granulométrica, onde se obteve informações dos parâmetros estatísticos dos sedimentos, tais como, média, mediana, assimetria, grau de seleção e curtose.

Estes parâmetros indicam as características sedimentológicas dos tipos de substratos ora encontrados na calha do estuário. Dentre os parâmetros analisados utilizou-se a média para gerar o mapa do atual padrão faciológico/textural do Estuário do Rio Choró.



FIGURA 17 - Amostrador ou Busca Fundo do tipo “Van Veen”.

5.1.6 Coleta das Amostras de Água

A coleta de amostras de águas para análises de parâmetros físicos e químicos das águas do Estuário do Rio Choró foram realizadas na seção molhada durante um período de 26 horas. As amostras de água foram coletadas mediante o uso da Garrafa de “Van Dorn” (FIGURA 18) e acondicionadas em garrafas “pet”. Uma grande quantidade de parâmetros (Nutrientes, Clorofila a, MES, Salinidade, temperatura, dentre outros) foi analisada para cada volume de amostra coletada, exigindo para algumas um acondicionamento a frio.

Porém para esta dissertação foram utilizados os seguintes parâmetros: MES; salinidade; e temperatura.



FIGURA 18 - Garrafa do tipo “Van Dorn.” para coleta de amostras de águas.

As amostras de água foram coletadas na seção molhada em superfície e no fundo durante um período de 26 horas nos dois campos cobrindo os períodos de chuvas (quadratura) e de estiagem (sizígia), numa caracterização do comportamento sazonal das águas do estuário.

Os parâmetros salinidade e temperatura, no entanto foram diretamente medidos “em situ” com a utilização de uma sonda multiparamétrica do tipo YSI 556 MPS Multi Probe System (FIGURA 19).



FIGURA 19 - Sonda Multiparamétrica do tipo YSI 556 MPS Multi Probe System.

5.1.7 Modelagem Hidrodinâmica

Alguns dados coletados em campo, tais como a batimetria, as correntes, e os ventos, foram essencialmente importantes para preenchimento das condições iniciais de carregamento do programa a fim de se reproduzir fielmente todas as características físicas do fenômeno de interesse a ser modelado. A batimetria e a conseqüente definição das margens, o tipo de sedimentos, os ventos e os dados de maré são exemplos de informações necessárias ao programa que irão definir inicialmente as características do corpo d'água a ser modelado.

As correntes de maré medidas em campo, por sua vez, foram fundamentais na calibragem do modelo, pois, a checagem dos dados de velocidade das águas possibilita a verificação do nível de similaridade entre a modelagem e os dados medidos “*in situ*”. Dessa forma se dá a calibragem do modelo, onde quanto mais próximos forem os valores de corrente para os dois casos (correntes medidas e correntes modeladas) melhor calibragem possuirá a modelagem.

5.2 Trabalhos de Laboratório

Os levantamentos realizados nos trabalhos de campo resultaram em importantes informações preliminares da área em estudo. Tais informações muitas vezes se encontram dispostas de forma aleatória ou arranjada de acordo com a simples frequência a qual são adquiridas, sendo, portanto necessário organizá-las de modo a serem úteis e representativas para o fim da pesquisa em apreço.

Além dos dados brutos gerados nas leituras dos aparelhos utilizados nos campos tiveram-se também as análises laboratoriais convencionais de amostras coletadas em campo (no caso, água e sedimento) que exigiram todo um processo acurado e padronizado de avaliação para cada material segundo normas pré-estabelecidas.

5.2.1 Batimetria

Basicamente a essência para a obtenção da batimetria é o conjunto de dados “xyz”, que para o nosso caso encontra-se disposto numa tabela e organizado através de sentenças, necessitando de uma filtragem para separação dos dados de interesse no tratamento da batimetria.

Para casos onde se está sob a influência da maré, além da organização dos dados é necessário e importante também que se faça uma correção nos dados batimétricos baseado na variação da maré a fim de se evitar erros de leitura da profundidade.

Inicialmente, para a perfeita organização dos dados, filtram-se as sentenças de forma a separar a profundidade (“z”, em metros), as coordenadas (“x e y”, que nesse caso foram obtidos no sistema geográfico e datum WGS 84 Zona -24S) e também a informação referente ao horário (“h”) de obtenção de cada dado, a qual servirá para a correção das profundidades segundo as informações de maré.

Organizados os dados batimétricos em “xyzh” parte-se para a correção da maré que visa inicialmente nivelar os valores de profundidade para um mesmo instante a fim de compensar a interferência das elevações e rebaixamentos impostos pela maré, tendo em vista que o instante de aquisição dos dados foi temporalmente progressivo. Sendo assim posteriormente reduz-se essa profundidade corrigida ao nível de maré médio hidrográfico da

DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação), já que a pouca profundidade em alguns setores impossibilita a redução para o nível zero.

Com o fim do processo de correção dos dados brutos da batimetria tem-se o conjunto perfeito de informações batimétricas para a geração das isolinhas de profundidade, bastando apenas os dados base de contornos dos limites do rio em questão e a execução da modelagem para a obtenção do mapa batimétrico.

Com todos os parâmetros tratados e corrigidos parte-se para a fase da modelagem batimétrica, no intuito de representar a superfície do leito do rio a partir das informações levantadas em campo.

Um modelo batimétrico pode ser obtido através de um modelo numérico de terreno (MNT), ou seja, uma representação matemática computacional da distribuição espacial de um fenômeno sobre uma região da superfície da Terra (FELGUEIRAS *apud* KOZCIAK *et al.*, 1999).

O processo freqüentemente utilizado para se produzir à modelagem de uma área qualquer através de informações pontuais e descontínuas é a interpolação. Tal processo utiliza uma malha regular ou grade (*grid*) e consiste em estimar valores entre dois ou mais pontos medidos envolvendo cálculos numéricos baseados em formulações matemáticas (SILVA FILHO, 2004).

Para a geração da grade os valores originais das amostras são utilizados no cálculo dos valores dos nós do *grid* (intersecções entre linhas e colunas), através de uma função de interpolação. Várias funções podem ser utilizadas, dependendo de fatores como tipo de variável, geometria do suporte de amostragem, facilidades computacionais, etc (SILVA FILHO, 2004).

Para a interpolação dos nós do *grid*, na confecção do modelo batimétrico, foi utilizado o método da krigagem (em homenagem a D.G. Krige, engenheiro de minas sul-africano), que é baseado na investigação do comportamento das “variáveis regionalizadas”, cujos valores são relacionados de alguma forma à posição espacial que ocupam (GUERRA, 1988). A representação da variação de um fenômeno regionalizado no espaço é feita através do variograma, definido de maneira ampla como uma função que fornece a esperança matemática da mudança dos valores de variáveis regionalizadas, segundo um vetor distância *h*, também denominado *lag* (CLARK, 1979a; KOZCIAK *et al.*, 1999; Golden Software Inc., 2002).

Todo esse processo tem como resultado um modelo batimétrico acurado com informações de profundidade criteriosamente definidos para toda a área modelada que possibilitará além das interpretações o aproveitamento do grid para o processo de modelagem hidrodinâmica.

5.2.2 Correntes de Maré

As medidas de correntes de maré pontuais na seção molhada do Estuário do Rio Choró geraram valores de velocidades, direção e temperatura para o período das 26 horas acompanhadas. Uma triagem da média para cada um desses parâmetros foi separada, compondo a tabela de valores médios que serviram como os indicadores do padrão de corrente local (TABELA 1).

Além disso, através das correntes de maré junto com as áreas definidas para cada setor (superfície ou fundo) e os horários, pôde-se produzir as vazões líquidas presentes na seção monitorada no Estuário do Rio Choró.

Após a definição da geometria da seção transversal do leito do rio (seção molhada) utilizaram-se os valores de velocidades para gerar as vazões correspondentes a cada horário e dar suporte a análise do balanço hídrico e sedimentar do Rio Choró.

A definição da geometria da seção do leito do rio teve como base o resultado da batimetria, onde através do grid gerado para o mapa batimétrico se extraiu a seção molhada, na qual foram medidas as correntes de maré. Inicialmente foi definida a área de toda a seção molhada, para posteriormente se definir a área correspondente à superfície e ao fundo para cada horário respeitando a profundidade indicada para cada hora (FIGURA 20).

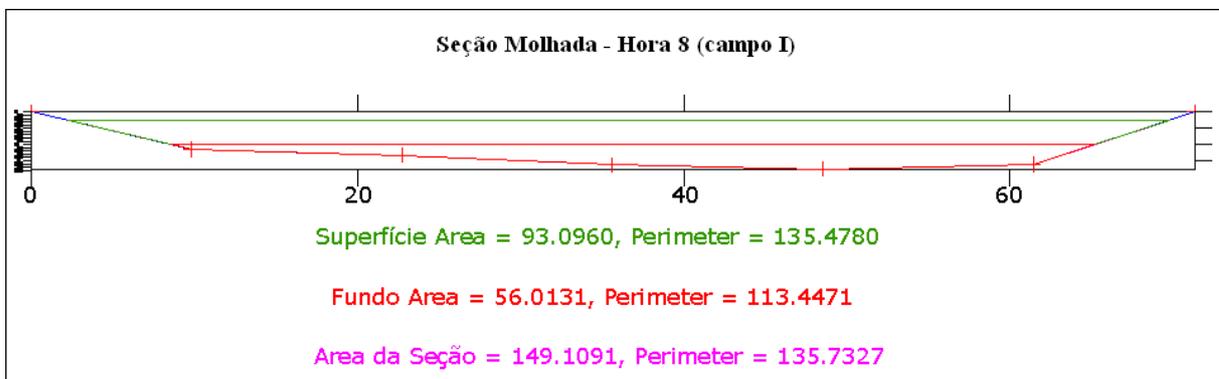


FIGURA 20 - Processo de cálculo da área das seções.

Todos esses dados foram reunidos e organizados de forma representativa, e relacionados no espaço e no tempo de coleta para caracterizarem os pontos amostrados dando uma idéia do comportamento do balanço das águas do rio dentro do período de duas marés.

5.2.3 Ventos

Os dados de ventos foram organizados (TABELA 2) para caracterizar o padrão de vento local e também servir de forçante natural, junto com a maré, dentre outros, para as simulações do programa de modelagem utilizado.

5.2.4 Análise dos Parâmetros Físicos

5.2.4.1 Sedimentos

O processo de determinação da granulometria da amostras de sedimento no trecho estudado foi realizado mediante o uso da metodologia de peneiramento mecânico para a fração superior (entre 0,062 e 2 mm) e peneiramento úmido para a fração inferior (menor que 0,062 mm) segundo a escala de Wentworth, além da pesagem, classificação e identificação dos parâmetros estatísticos dos sedimentos.

Para este trabalho, inicialmente foi utilizado um agitador mecânico do tipo “rot up” e um conjunto de 12 peneiras numa seqüência de malhas de $1/2 \Phi$, segundo a norma da AECO – Veloso (2001). O material retido em cada peneira foi pesado utilizando uma balança eletrônica de precisão (GEHAKA), determinando assim as frações da porção superior (Areia e Cascalho) que equivalem ao material de granulometria média entre o intervalo medido. As frações da porção inferior (Silte e Argila) foram determinadas pelo método da Pipetagem baseado na decantação das partículas em solução aquosa segundo a lei de Stockes, o qual separa frações do material através do percentual fino da amostra em uma Proveta de 1000ml.

Posteriormente os dados de cada amostra foram inseridos no programa ANASED 5.0 - Análise Granulométrica, versão 5.0 - (LIMA *et al*, 2001), desenvolvido no Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada –LGMA, para serem calculados os parâmetros estatísticos segundo um diagrama triangular modificado de Sheppard (1954), Folk e Ward (1957) e Larssoneur (XXXX).

5.2.4.2 Amostras de Águas

Foram analisados em laboratório os seguintes parâmetros: Material em Suspensão; Salinidade; e Temperatura.

O material em suspensão teve sua análise a partir de volumes conhecidos (aproximadamente 2,0 L) de amostra do rio, o qual passou pelo processo de filtragem através de um sistema de filtragem à vácuo e filtro de celulose de 50 mm de diâmetro e com 0,47 μm de porosidade. Com a diferença obtida do peso do filtro sem o material e com o material filtrado calculou-se a quantidade de material em suspensão presente no volume analisado (mg L^{-1}).

As medições de salinidade e temperatura foram feitas “*in situ*”, respectivamente, pela sonda Multiparâmetros YSI modelo 566 e pelo sensor de temperatura do correntógrafo.

5.2.5 Modelagem

Na modelagem hidrodinâmica, foi utilizado o sistema computacional para previsão do escoamento ou movimento das águas em corpos de águas naturais. Trata-se do Sistema BAse de HIdrodinâmica Ambiental – SisBAHIA, desenvolvido na COPPE/UFRJ.

O SisBAHIA é um sistema de modelagem computacional, composto por alguns módulos, que funciona compilando dados e informações, tais como mapas base e de contorno, batimetria, maré, ventos e rugosidade de fundo dentre outros, para gerar as simulações hidrodinâmicas e de transporte de escalares.

Na modelagem apresentada pelo sistema computacional (SisBAHIA) é realizada a simulação da previsão de escoamento de corpos de águas naturais utilizando um sistema de modelos integrados (Modelos hidrodinâmicos, de transporte euleriano, de transporte langrangeano, e de qualidade de águas), dos quais recorreu-se essencialmente ao módulo hidrodinâmico. Tal modelo processa os dados hidrodinâmicos necessários utilizando uma malha de elementos finitos, gerando o campo de velocidades para a massa de água modelada.

A metodologia utilizada pelo programa computacional conta com o auxílio de um modelo hidrodinâmico do tipo FIST, adaptado para corpos de água naturais. A linhagem FIST representa um sistema de modelagem de corpos d'água com superfície livre composta por uma série de modelos hidrodinâmicos, nos quais a modelagem da turbulência é baseada em

técnicas de filtragem, semelhantes às empregadas na simulação de grandes vórtices (ROSMAN, 2001).

Elementos finitos quadrangulares biquadráticos são usados preferencialmente na discretização espacial, o que o torna bastante adequado para a aplicação em corpos de água naturais, permitindo uma boa representação de contornos recortados e batimetrias complexas. A discretização vertical da coluna d'água usa diferenças finitas com transformação sigma, fornecendo assim, uma completa discretização do domínio por meio da sobreposição de malhas de elementos finitos, uma para cada nível Z da transformação sigma. A discretização temporal é feita por meio de um esquema implícito de diferenças finitas, com erro de truncamento de segunda ordem (ROSMAN, 2001).

O FIST3D utiliza uma técnica numérica de solução em dois módulos, calculando primeiramente os valores da elevação da superfície livre através de um modelamento bidimensional integrado na vertical (2DH) e, em seguida, o campo de velocidades. Com ele, pode-se simular a circulação hidrodinâmica em corpos de água naturais sob diferentes cenários meteorológicos, oceanográficos, fluviais ou lacustres (ROSMAN, 2001).

O preenchimento dos dados nos diversos módulos do pacote SisBAHIA usa mapas, tabelas, malhas e outras informações digitais vindos de programas que interagem com a interface do modelo, os quais são necessários ao desenvolvimento das modelagens. O SisBAHIA utiliza tais programas como ferramentas de pré e pós-processamento, os principais são: o Argus One³, programa que gera a malha utilizada no domínio da modelagem; o Surfer⁴, gerando os mapas base e os mapas finais, os quais são usados nas animações; e o Grapher⁴, para a confecção dos diversos gráficos gerados pelo modelo.

O processo de modelagem se inicia com o preenchimento da planilha Malha do programa SisBAHIA, onde são fornecidos os mapas base, a malha de elementos finitos, a batimetria e as constantes harmônicas, os quais representam as condições de contorno iniciais. Tal planilha recebe os dados iniciais que serão utilizados no módulo hidrodinâmico. A modelagem segue com o módulo hidrodinâmico, o qual usa a malha anteriormente concluída, as condições de contorno complementares, como os dados de ventos e outros, e a configuração final para os arquivos gerados pela simulação chegando finalmente na representação do campo de correntes da área modelada.

O programa está sendo bastante aceito pela comunidade científica e tem sido muito utilizado em estudos e projetos de gestão ambiental de recursos hídricos, tendo sido

³ Para informações sobre o sistema *Argus One* veja na Internet www.argusint.com

⁴ Para informações sobre o *Surfer* e o *Grapher* procure em www.goldensoftware.com

utilizado freqüentemente nos Planejamentos de Contingência para Incidentes Ambientais Portuários, como o realizado para o Terminal Marítimo do Porto do Pecém – CE (HOF, 2000).

A modelagem usa todos os parâmetros levantados para representar o modelo hidrodinâmico da área, segundo o processo teórico descrito acima, resultando em gráficos e mapas que apresentados de forma seqüencial ilustram a modelagem da circulação das águas do corpo d'água em questão. O que se faz na verdade é a apresentação ordenada dos mapas ou dos gráficos em seqüências instantâneas, o que facilita para a mente humana a percepção conjugada das figuras formando uma imagem animada.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dentre os resultados gerados nesta dissertação pode-se chamar de resultados preliminares os mapas, tabelas e gráficos que serviram de base para os resultados finais, tais como os mapas locais atualizados através de imagens de satélites, os gráficos das constantes harmônicas das marés para o Porto do Mucuripe, entre outros.

Os resultados finais estão individualizados em cada estudo mostrando através dos diversos produtos obtidos, as características e particularidades do ambiente estuarino, realçando-as, e favorecendo assim uma interpretação adequada do fenômeno de interesse estudado.

6.1 Batimetria (morfologia de calha do Estuário do Rio Choró)

A batimétrica foi realizada no dia 19 de setembro de 2004, recobrindo uma área de cerca de 596.398 m², em perfis perpendiculares ao canal do estuário espaçados a mais ou menos 5 m para a zona mais estreita do rio e a uns 20 m nas zonas mais largas. Os pontos batimétricos levantados em campo e utilizados na modelagem batimétrica estão distribuídos na área (FIGURA 21). Foram percorridos cerca de 8000 m, com 1300 leituras de profundidade e posicionamento, tendo ainda outros valores batimétricos pretéritos adicionados ao conjunto de pontos usados na modelagem batimétrica.

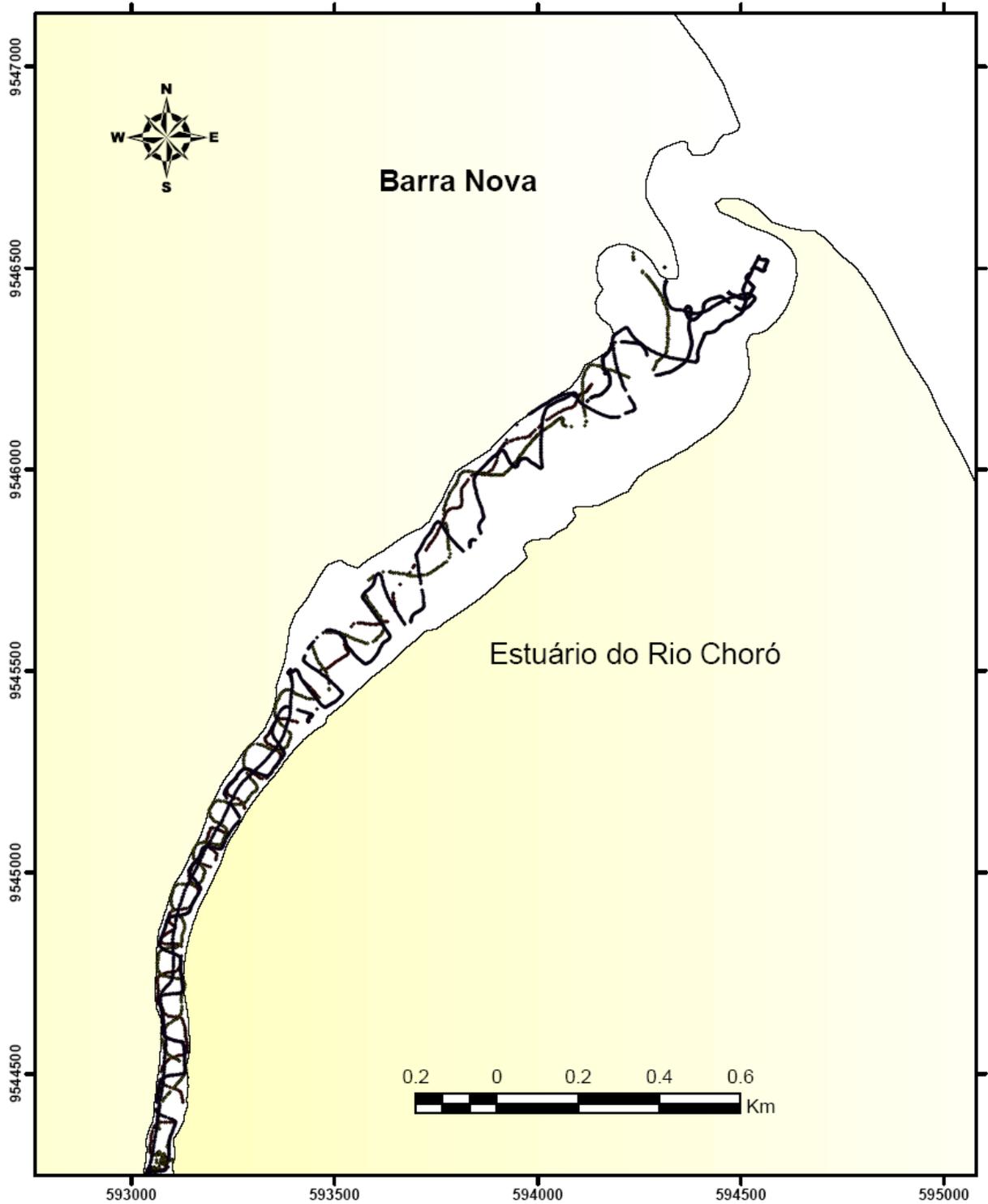


FIGURA 21 - Distribuição dos pontos batimétricos no Estuário do Rio Choró.

O mapa batimétrico do Rio Choró (FIGURA 22) apresenta profundidade média de aproximadamente 1 m e profundidade máxima de 7 m. No entanto, esses valores representam números para o resultado do mapa batimétrico com todos os pontos usados no processo de

geração da batimetria. Os números de profundidade máxima e média apenas dos pontos batimétrico coletados em campo, após a correção de maré, são respectivamente 3.5 e 1.13 m.

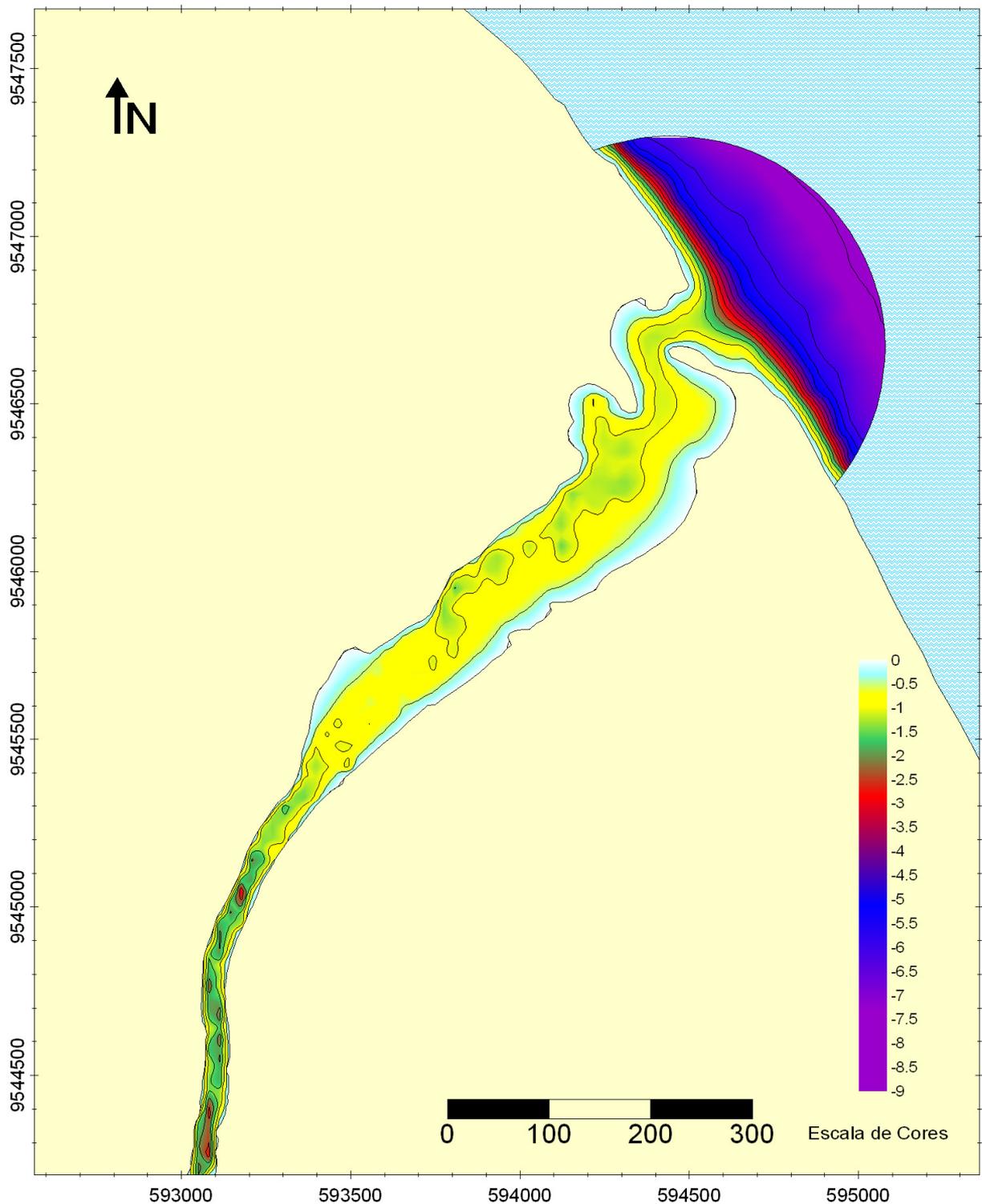


FIGURA 22 - Mapa Batimétrico do Rio Choró.

A distribuição da profundidade no Estuário Rio Choró é bem característica e apresenta feições distintas para cada setor. Na zona interna mais estreita ocorre um canal

principal de orientação suavemente meandrante. Porém na zona próxima à foz a calha apresenta-se mais larga e com curvas batimétrica suaves e de menor valor, mostrando uma configuração morfológica característica de deltas formando pequenos bancos de areia.

Na foz do Estuário do Rio Choró ocorre o processo de assoreamento. Porém, não ocorrem os pequenos bancos de areias que constantemente se formam e que se movimentam quase que diariamente ora levados pela corrente e ora transportados pelos ventos quando expostos na maré baixa.

Desse setor pra dentro do rio, nota-se a presença bem estabelecida de um canal suavemente meandrante que segue até o interior da área onde se encontram as maiores profundidades.

6.2 Correntometria

As médias das correntes coletadas na seção molhada para os dois períodos estão apresentadas para cada horário na tabela abaixo.

TABELA 1 - Médias dos valores de corrente na superfície e no fundo para cada hora na seção molhada do Estuário do Rio choro.

Medidas	Campanha I (25 e 26/01/2005)			Campanha II (02 e 03/05/2005)		
	Horário	Corrente (m/s)		Horário	Corrente (m/s)	
		Superfície	Fundo		Superfície	Fundo
1	12h (25)	0.3915	0.6393	11h (02)	0.3860	0.4273
2	13h (25)	0.4480	0.1865	12h (02)	0.2900	0.0933
3	14h (25)	1.5800	0.2520	13h (02)	0.2780	0.2487
4	15h (25)	1.8360	3.3540	14h (02)	0.2240	0.3113
5	16h (25)	2.7965	3.6085	15h (02)	0.3233	0.2620
6	17h (25)	2.3188	3.6310	16h (02)	0.2120	0.1380
7	18h (25)	2.8428	2.1796	17h (02)	0.5790	0.0490
8	19h (25)	2.7988	0.9332	18h (02)	0.2960	0.0337
9	20h (25)	2.9748	1.1220	19h (02)	0.2690	0.0220
10	21h (25)	1.4950	1.3515	20h (02)	0.2933	0.1030
11	22h (25)	0.3573	0.3243	21h (02)	0.0300	0.0460
12	23h (25)	0.2835	0.2600	22h (02)	0.6387	0.3840
13	24h (25)	0.2910	0.2287	23h (02)	0.8940	1.1690
14	1h (26)	0.5173	0.6107	24h (02)	1.6560	0.9210
15	2h (26)	0.2207	0.4090	1h (03)	0.0520	0.0680
16	3h (26)	1.4793	0.6627	2h (03)	0.9280	0.6853
17	4h (26)	3.5120	3.8633	3h (03)	0.9900	0.6000
18	5h (26)	3.9180	3.4010	4h (03)	0.9440	0.1180
19	6h (26)	0.4910	1.0870	5h (03)	0.8847	0.0980
20	7h (26)	1.7735	1.6880	6h (03)	0.5825	0.0300
21	8h (26)	2.4010	0.1893	7h (03)	0.2390	0.1040
22	9h (26)	0.6340	0.1840	8h (03)	0.2780	0.0650
23	10h (26)	0.3030	0.3050	9h (03)	0.2640	0.2080
24	11h (26)	0.2884	0.6436	10h (03)	0.6450	0.2090
25	12h (26)	0.2356	0.1300	11h (03)	1.6260	1.0760
26	13h (26)	0.3453	0.1960	12h (03)	1.1300	2.1487

As correntes medidas na seção molhada do Estuário do Rio Choró caracterizaram bem os dois estágios de maré, através dos dois campos em maré de sizígia e quadratura. Os gráficos abaixo (FIGURAS 23a e b) ilustram para cada campo e conseqüentemente para cada maré o comportamento das correntes nos dois ciclos.

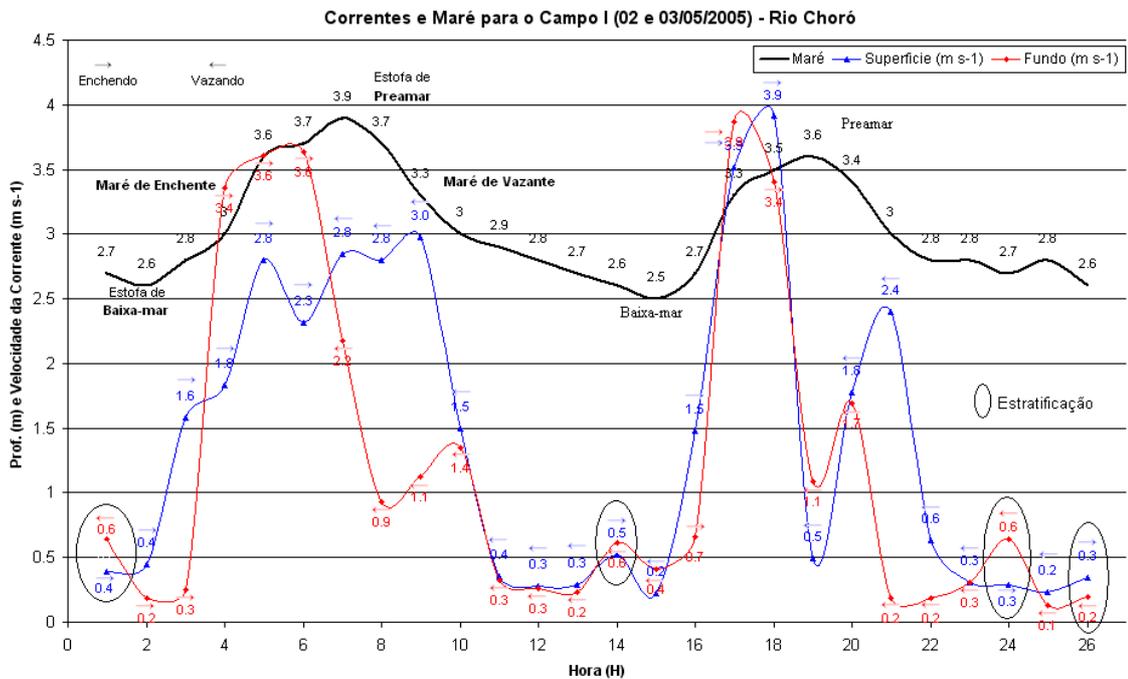


FIGURA 23a - Distribuição das correntes e da maré para o campo I, maré de Sizígia.

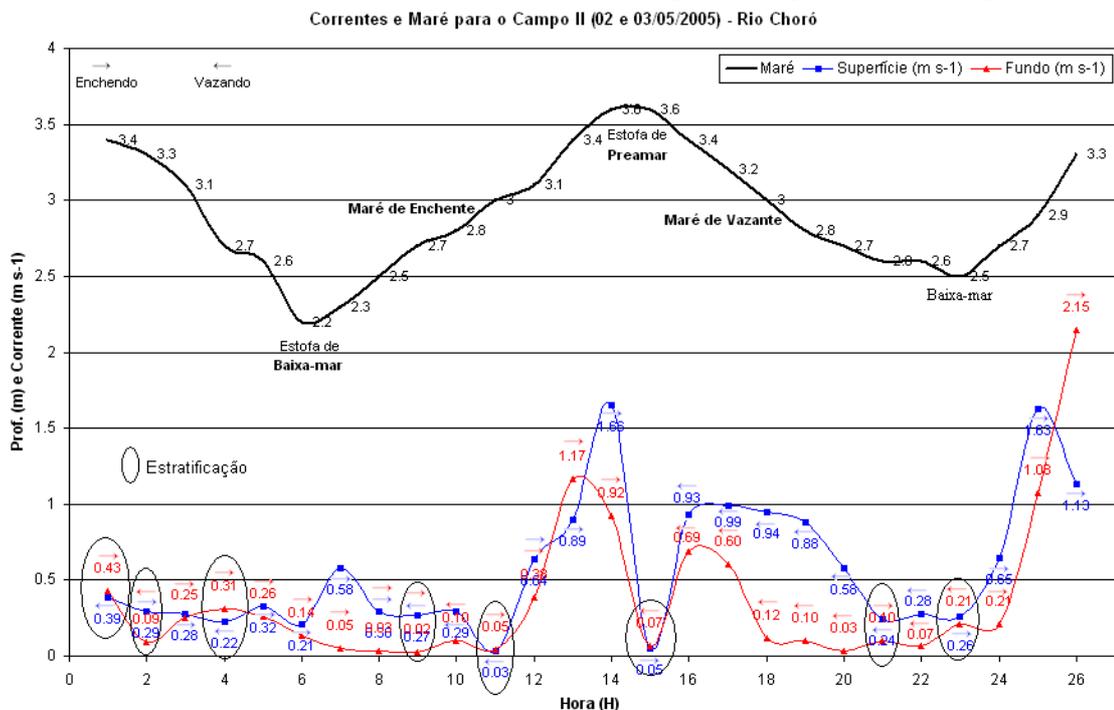


FIGURA 23b - Distribuição das correntes e da maré para o campo II, maré de Quadratura.

No primeiro campo (em maré de sizígia) as correntes se apresentaram com maiores velocidades comparadas com as do campo seguinte (maré de quadratura). A velocidade máxima para as correntes de superfície chegou a 3.9 m s^{-1} e mínima 0.22 m s^{-1} , e no fundo as velocidades ficaram entre 0.13 e 2.86 m s^{-1} (FIGURA 23a e TABELA 1). No primeiro campo (FIGURA 23a), as maiores velocidades ocorreram entre as baixa-mares e as preamares de enchente, três horas depois da estofa de baixa-mar evidenciando uma maior energia das águas do mar. O que se percebe também é a rapidez que dura os períodos de enchente, com um tempo médio de quatro horas entre as estofas desse momento enquanto se fazem necessários cerca de seis horas em média para a duração da maré de vazante. Durante o período da maré vazante as correntes decrescem paulatinamente chegando quase a zero próximo a estofa de baixa-mar.

São pequenas as variações de velocidade nos dois níveis de profundidade (superfície e fundo), sendo perceptível uma leve queda da velocidade de fundo sempre após a estofa de preamar, o que pode indicar o freamento ou a resistência da camada de fundo ao transporte agora inverso da descarga de água fluvial menos salgada. Tal fato provavelmente se deva a maior densidade da massa d'água do fundo que tende a ser transportada mais lentamente.

As correntes do segundo campo ocorrem mais discretas com valores entre 0.03 e 1.656 m.s^{-1} na superfície e 0.02 a 2.14 m.s^{-1} no fundo, características de marés de quadraturas (FIGURA 23b). Na superfície as correntes se encontram quase sempre com valores levemente acima das correntes de fundo, em ambos os casos as maiores velocidades acontecem hora na maré vazante hora na enchente. Neste campo, o fato de se iniciar e terminar de realizar as medidas de corrente no momento intermediário das enchentes e das vazantes, não possibilitou uma caracterização mais adequada das correntes com relação ao movimento da maré.

Ocorrem também variações entre as direções das correntes de superfície e de fundo, o que de certo modo evidencia a presença de estratificação vertical talvez influenciado pela diferença de densidade das massas d'águas.

Tal fato ocorre para o primeiro campo sempre no instante imediatamente anterior a estofa de maré vazante e no segundo de forma aleatória durante todo o período amostrado.

O padrão das correntes no estuário do Rio Choró é bem representativo e diferenciado para cada tipo de maré (sizígia e quadratura), mostrando principalmente perceptíveis diferenças entre as velocidades das duas marés sendo na maré de sizígia, onde ocorrem as maiores velocidades. Nessa maré, as maiores velocidades ocorrem no momento

intermediário entre a baixa-mar e a preamar de enchente com velocidades que chegam a 3.9 m s^{-1} .

Com o acompanhamento horário das correntes de superfície e fundo no ponto na seção molhada do canal do Estuário do Rio Choró pode-se verificar também a presença de estratificação vertical com diferentes valores de velocidade e direção das correntes dessas profundidades, principalmente no momento imediatamente anterior a estufa de maré vazante para enchente, mostrando a antecipação da entrada da camada de fundo mais salgada rio adentro e evidenciando a presença da cunha salina no campo I. A estratificação também é bem percebida em alguns horários no segundo campo, porém não apresenta nenhuma relação com a movimentação da maré.

6.3 Maré

A amplitude da maré apresentou variações no decorrer dos dois campos apresentam. No campo I, em maré de sizígia a amplitude da maré foi de 1,4m com profundidade mínima de 2,5 m e máxima de 3,9 m (FIGURA 24a). O campo II em maré de quadratura apresentou amplitude de 1,2 m com máxima de 3,6 m e mínima de 2,4 m (FIGURA 24b).

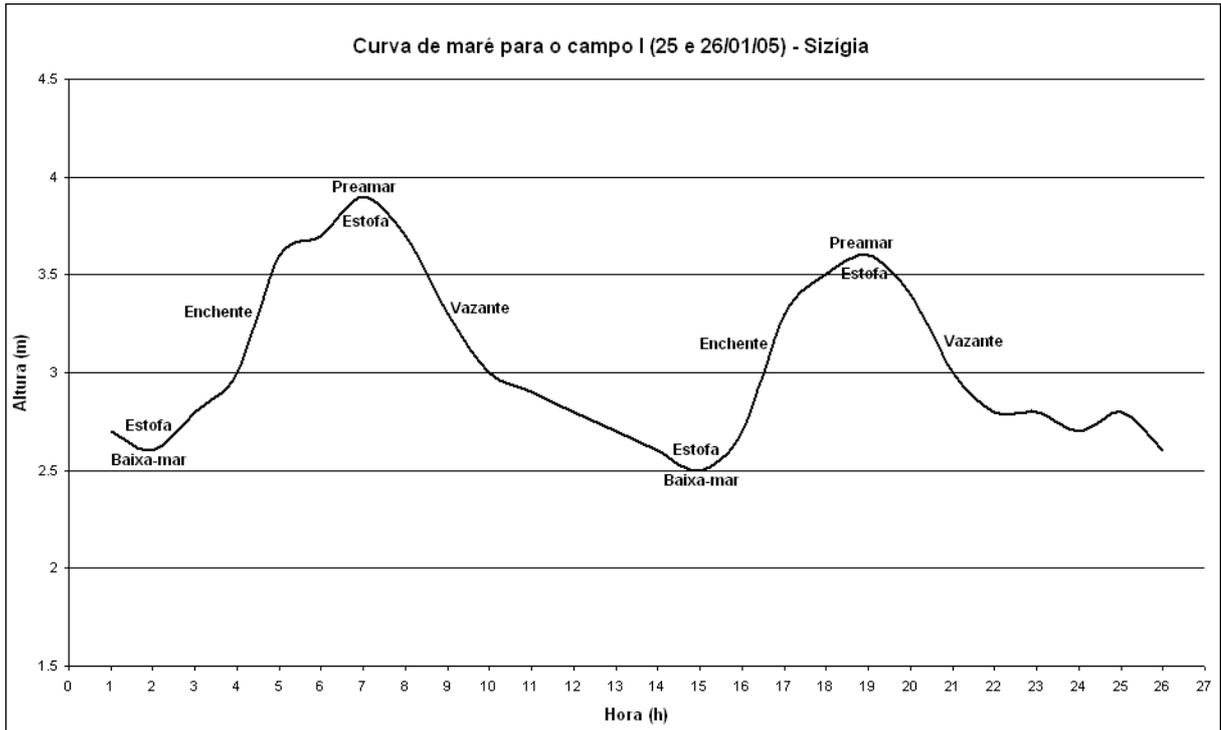


FIGURA 24a - Curva da maré para o campo I em maré de sizígia e suas principais nomenclaturas.

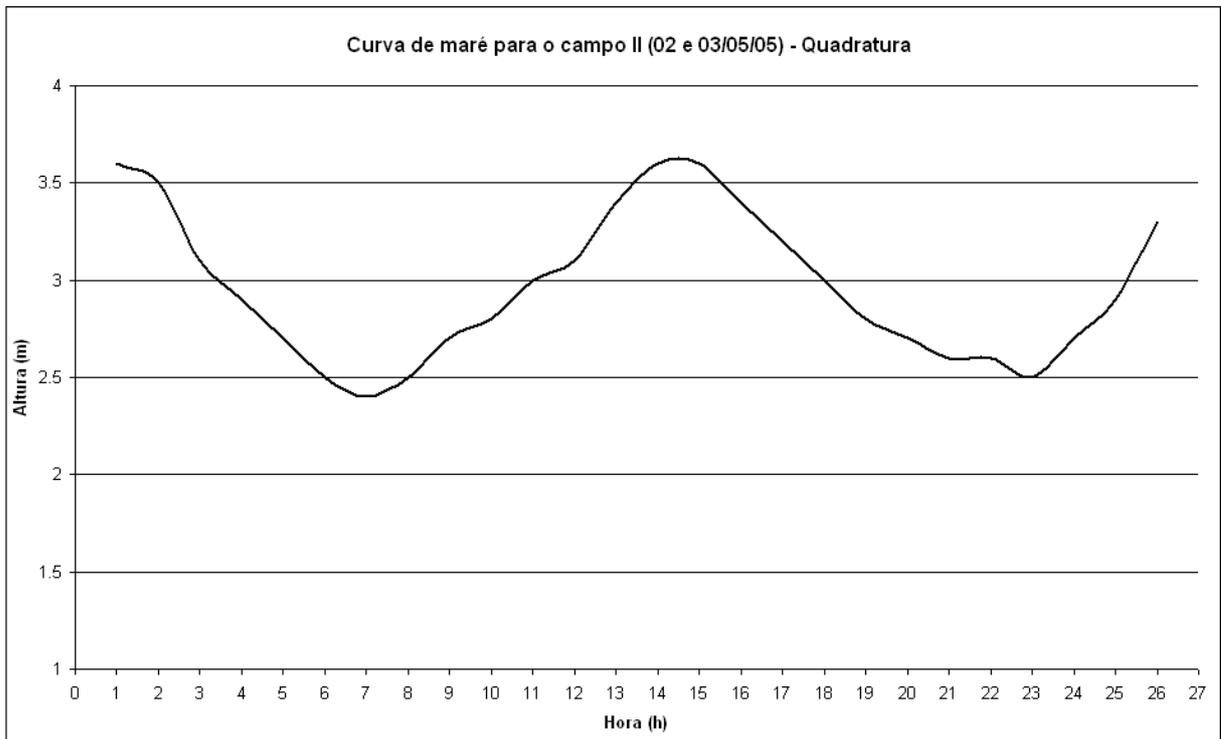


FIGURA 24b - Curva de maré para o campo II em maré de quadratura.

Apesar do menor tempo decorrido para as marés de enchente, essas foram as responsáveis pela ocorrência das maiores velocidades, mostrando assim uma maior energia das águas oceânicas em comparação com as continentais para os dois casos.

6.4 Ventos

A tomada de medida da velocidade dos ventos foi realizada durante os intervalos das medidas de correntes e das coletas d'águas horárias, sendo dessa forma medidos em dois dias, no período da tarde e da manhã. A tabela 2 apresenta os resultados da intensidade, direção e temperatura dos ventos coletados em intervalos de 10 e 15 min com a média pela manhã de $2,22 \text{ m s}^{-1}$, mínima de $0,4 \text{ m s}^{-1}$ e máxima de $5,4 \text{ m s}^{-1}$, prevalecendo a direção NE. À tarde a velocidade média dos ventos foi de $1,66 \text{ m s}^{-1}$, sendo a mínima $0,4 \text{ m s}^{-1}$ e a máxima $4,9 \text{ m s}^{-1}$, com direções predominantes de N e NNE, e significativa ocorrência de W.

TABELA 2 - Velocidades, direções e temperaturas dos ventos adquiridos na margem do Rio Choró.

18/9/2004				19/9/2004			
Hora	Vento (m s-1)	Direção	Temp. (°C)	Hora	Vento (m s-1)	Direção	Temp. (°C)
14:52	3.6	N	27	10:36	1.8	WNW	37
15:12	2.2	W	27	10:46	2.7		37
15:17	0.9	WNW	27	10:56	1.7	WSW	37
15:22	1.3	W	27	11:06	1.3	E	37
15:27	0.4	W	27	11:16	1.8	W	36
15:37	2.2	W	27	11:38	0.4	SE	36
15:47	0.4	WNW	27	11:50	4.9	NE	34
15:52	3.6	W	27	12:00	1.3	NNE	33
16:07	2.7	WNW	27	12:15	3.6	NE	38
16:27	0.4	ENE	27	12:35	4.5	NE	34
16:32	2.2	N	27	12:50	0.4	NW	32
16:37	1.8	N	27	13:00	3.1	NNE	32
16:42	4.9	N	27	13:10	5.4	ENE	33
16:47	3.1	N	27	13:20	1.8	NE	32
16:52	2.9	NNE	27	13:30	1.8	SSW	33
16:57	0.6	NNE	27	13:40	0.4	S	33
17:02	0.9	N	27	13:50	0.5	NW	33
17:12	0.9	NNW	26	14:00	2.7	NNE	36
17:17	0.9	NW	26				
17:22	4.5	N	26				
17:32	1.3	NNW	26				
17:37	0.4	W	26				
17:42	0.4	SW	26				
17:47	0.4	NNE	26				
17:58	1.3	W	26				
18:18	1.3	NNE	26				
18:28	1.8	S	26				
18:42	0.4	NNE	26				
19:05	0.4	NNE	25				

A estação anemométrica foi instalada na margem esquerda do Rio Choro a 2 m de altura, sendo esse setor do rio cercado do seu lado direito por um grande campo de dunas com

mais ou menos uns 10 m de altura, e no seu lado esquerdo por uma pequena escarpa esculpida pelo próprio rio em momentos de maior nível, que certamente interferem na circulação do vento para esse setor do rio. Isso provavelmente explicaria a grande diversidade de direções e velocidades dos ventos encontrados nos dois dias acompanhados nesse setor, gerados pela canalização do vento provocada pelas margens do rio descritas acima.

Na margem esquerda do Estuário do Rio Choró, apesar deste trecho se localizar cercada por barreiras para o vento, conseguiu-se caracterizar bem a incidência dos ventos na região com a maior ocorrência de ventos vindo de nordeste (NE) com velocidades média de 5 m s⁻¹.

6.5 Parâmetros Físicos

6.5.1 Distribuição Faciológica da Calha Estuarina

A calha do Estuário do Rio Choró está subdividida em dois setores distintos: (1) o primeiro na zona mais interna do rio caracterizado pela presença de areias lamosas ao longo do canal meandriforme gerado, provavelmente, pela mistura da lama trazida rio abaixo com as areias das dunas da margem direita do rio; (2) o segundo abrange a zona onde o canal do rio começa a se alargar em direção a foz, onde ocorrem pequenos bancos de areias médias que na baixa maré confere uma morfologia de estuarino assoreado com a presença de muitos meandros.

Mais detalhadamente tem-se para o primeiro setor a ocorrência maior de estoques de areias finas lamosas seguidas de lama e areia média que ocorre também no segundo setor (FIGURA 25a). Estes estoques sedimentares são, sem dúvida, provenientes do transporte de sedimentar da dinâmica costeira que movimenta as areias das praias e das dunas dessa região no sentido leste para oeste. Neste caso, a acumulação desses sedimentos na parte interna do estuário ocorre em função da fraca descarga fluvial do Estuário do Rio Choró que não possui energia suficiente para carrear esses sedimentos para o mar como normalmente é feito dentro do balanço sedimentar costeiro típico da dinâmica local.

Alguns fatores tais como a dinâmica presente no leito estuarino promovida pela constante movimentação das águas em conjunto com o grande aporte sedimentar local (FIGURA 25b).

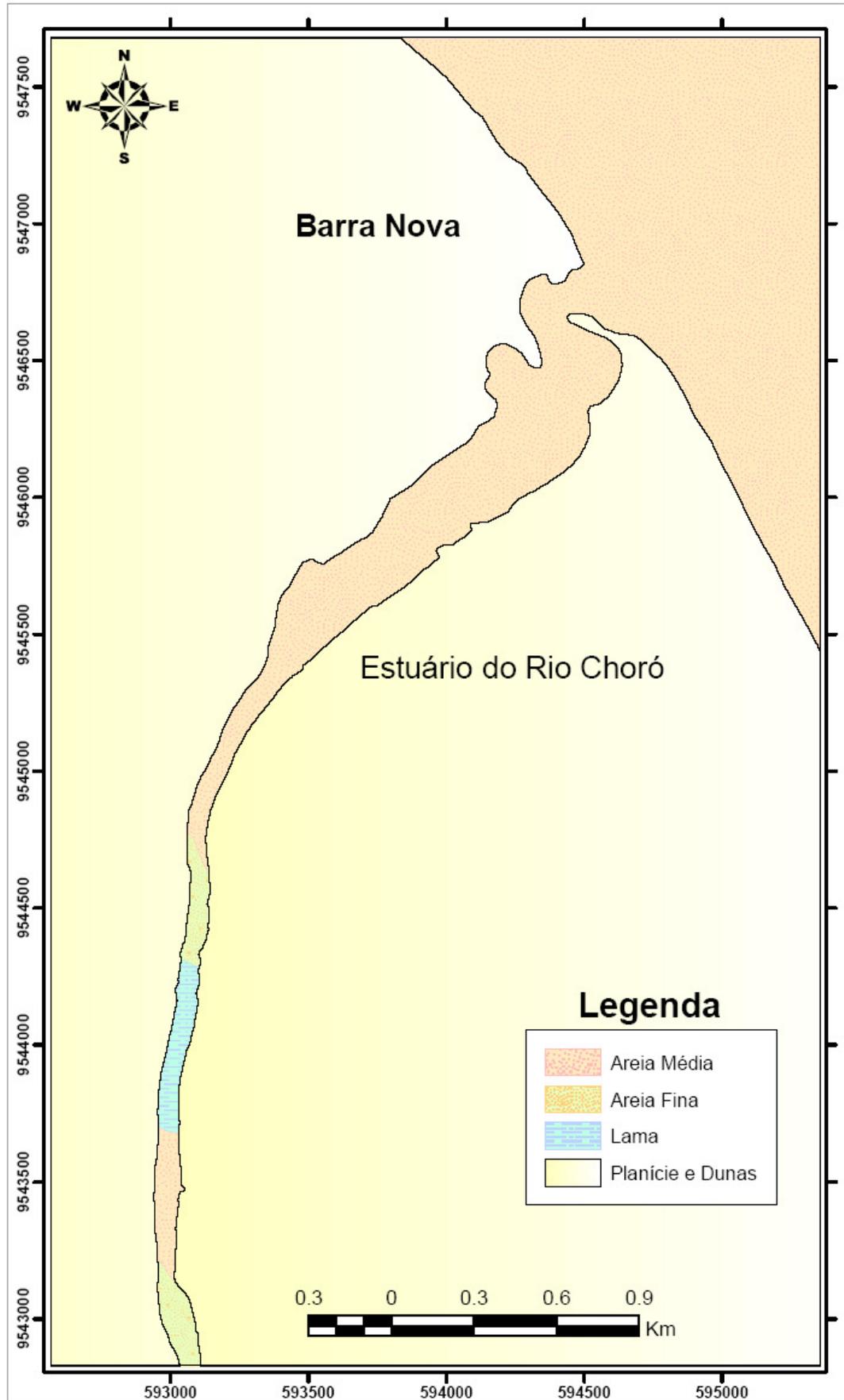


FIGURA 25a - Mapa faciológico do Estuário do Rio Choró.

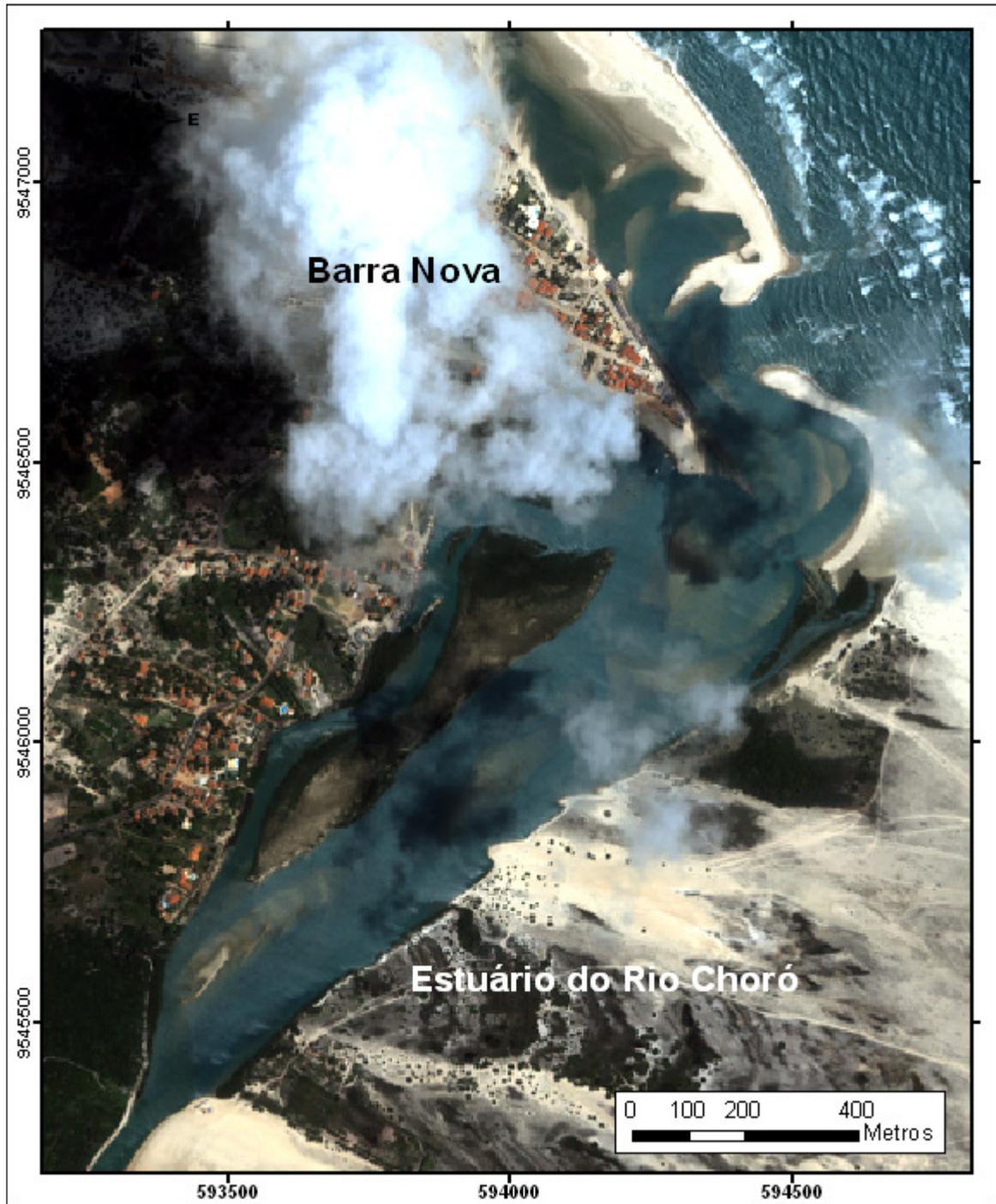


FIGURA 25b - Imagem aérea da zona estuarina do Rio Choró e seu entorno.

Na foz do Estuário ocorrem pequenos bancos de areia e na margem leste a migração do material arenoso no estuário tanto da planície como também de dunas móveis. A dinâmica presente nesse setor, promovida principalmente pela ação dos ventos, movimenta os sedimentos disponíveis de leste para oeste, como acontece em praticamente toda a costa cearense, depositando estoques de areias médias nesse trecho da foz.

O Estuário do Rio Choro apresenta dois setores basicamente influenciado pela dinâmica costeira local que transporta os sedimentos para dentro da zona mais externa do estuário próximo a foz, onde prevalecem as areias médias típicas de praias e dunas, diferente do que ocorre na zona mais interna, onde se encontram areias finas lamosas em mistura com areias médias lançadas ao rio pelo campo de dunas presente na sua margem direita.

6.5.2 Águas

6.5.2.1 Material em Suspensão (MES)

Numa visão apenas quantitativa do material particulado encontrado em suspensão (MES) tanto nas águas de superfície como nas águas do fundo faz-se a seguir alguns comentários, sempre relacionando seus valores com o comportamento da maré para os dois campos.

Dentre os principais resultados quantitativos para o MES, têm que para o Campo I os valores médios, mínimos e máximos, respectivamente, ficaram em 14,65 mg L⁻¹, 7,6 mg L⁻¹ e 23,17 mg L⁻¹ para as águas de superfície e 17,37 mg L⁻¹, 6,39 mg L⁻¹ e 35,4 mg L⁻¹ para as águas de fundo. Já no campo II o comportamento do MES para a superfície e fundo em valores médios, mínimos e máximos corresponde a 15,28 mg L⁻¹, 10,5 mg L⁻¹ e 31 mg L⁻¹ e 24,3 mg L⁻¹, 13,09 mg L⁻¹ e 69,75 mg L⁻¹.

A análise das distribuições desses valores dentro da circulação promovida pelas marés no período estudado permite verificar que de um modo geral há uma estreita relação entre a quantidade de material particulado em suspensão e a maré atuante, se sizígia ou quadratura, assim como também entre os valores presentes nas águas de fundo, para os dois campos realizados.

Apesar de a maré de sizígia apresentar um maior poder de erosão em relação a maré de quadratura e, conseqüentemente, poder carrear uma maior quantidade de MES nas suas águas, o que se pode perceber nos resultados das análises no MES, para os dois campos, é uma maior presença de sedimentos nas águas do período de maré de quadratura e para os dois casos sempre com valores maiores nas águas de fundo.

Esse fato evidencia a complexidade da circulação estuarina para o ambiente estudado, assim como também mostra concretamente o caráter de baixa energia presente no

estuário do Rio Choró conferindo-o atualmente, um comportamento de um simples braço de mar.

O comportamento do MES nos dois campos teve sempre uma predominância de maiores valores no fundo, onde se percebe que no geral suas concentrações estiveram sempre acima das de superfície, sendo para o Campo I 16 horas de maiores valores de fundo contra 10 de superfície e para o campo II, mais evidente, 20 para 6 (FIGURA 26a e 26b).

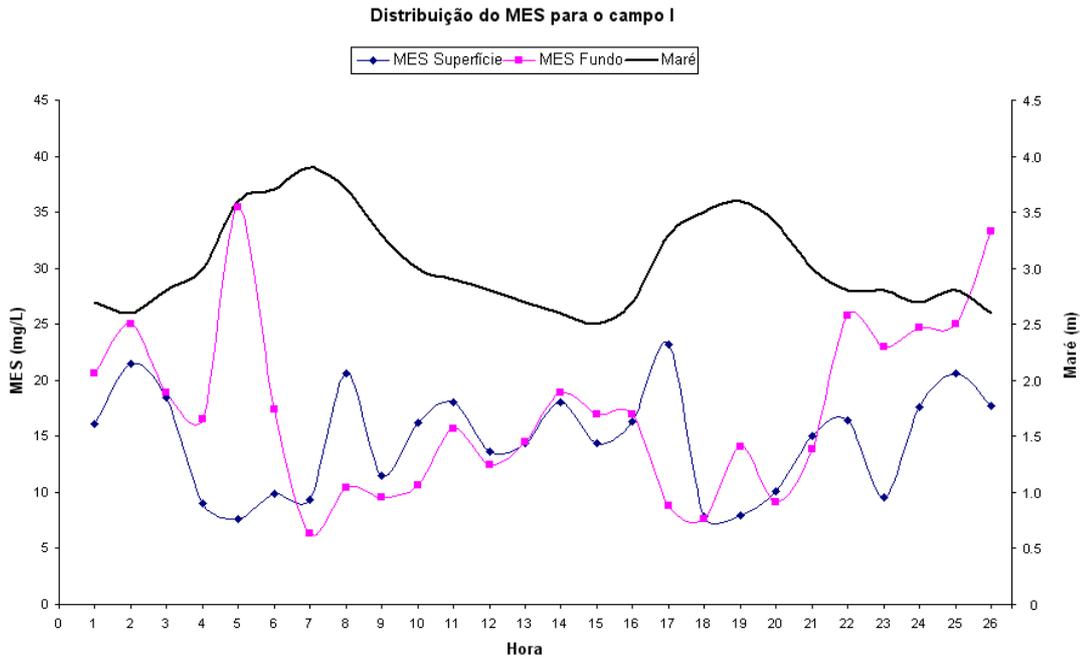


FIGURA 26a - Distribuição do MES para o campo I e a curva de maré referente.

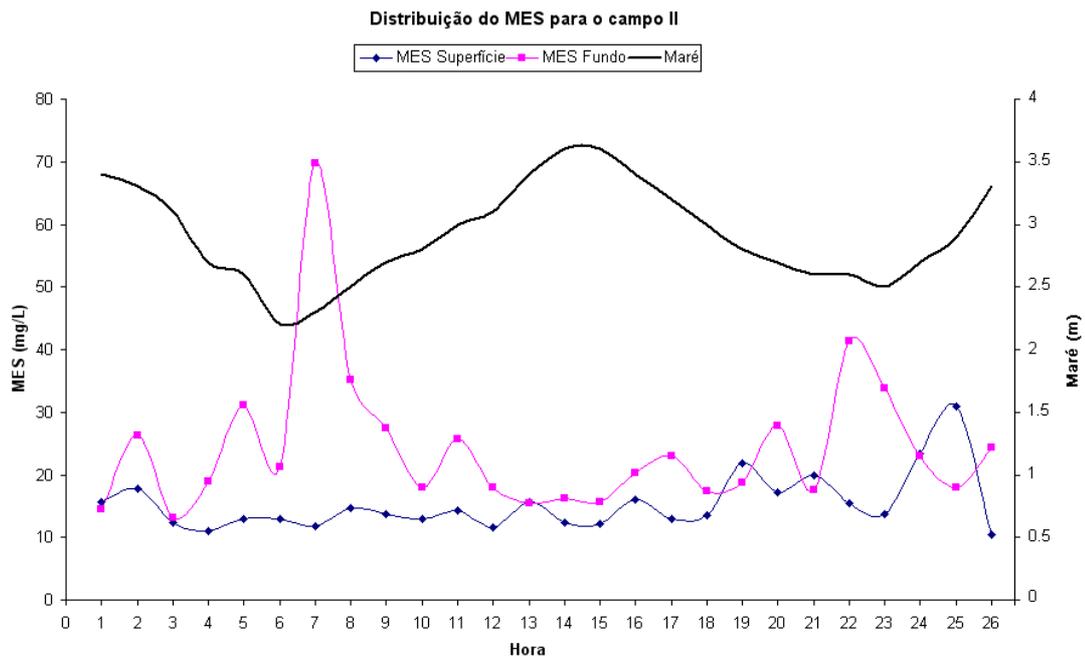


FIGURA 26b - Distribuição do MES para o campo II e a curva de maré referente.

6.5.2.2 Salinidade

A salinidade no Estuário do Rio Choró mantém-se sempre com alto teor de sal, apresentando apenas pequenas variações nos períodos acompanhados, percebidos muito suavemente nas trocas das marés e também na camada de fundo em alguns horários (FIGURA 27a e 27b).

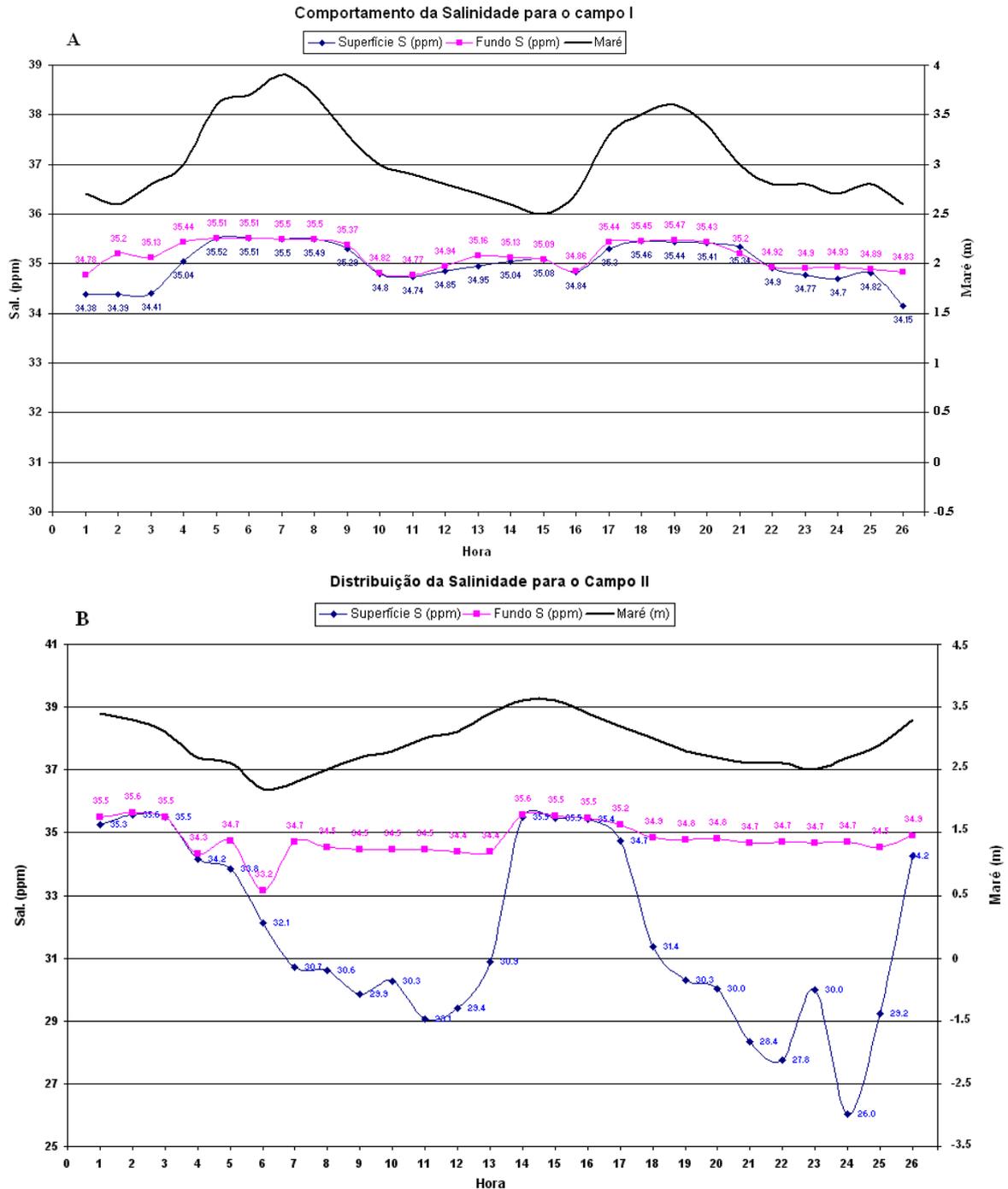


FIGURA 27 - a, Comportamento da salinidade nas 26 horas acompanhadas para o campo I, e b, comportamento da salinidade nas 26 horas acompanhadas para o campo II.

As águas possuem salinidade características de ambiente marinho durante todo o período analisado, inclusive nas marés de vazante, onde o fluxo fluvial com sua menor vazão não consegue diluir as águas e diminuir sua salinidade. No campo I a salinidade para a superfície variou entre 34.15 e 35.52 com média de 35. Os valores de salinidade no fundo para esse campo, por sua vez, ficaram entre 30.36 e 35.51 com média de 34.97. No campo seguinte para a superfície obtiveram-se valores entre 26 e 35.6 com média de 31.8, e no fundo, com a salinidade variando entre 33.2 e 34.8 e média de 34.8.

A figura 27a referente ao primeiro campo mostra a leve diminuição da salinidade no momento intermediário das marés de vazante, assim como, também, verifica-se a maior diferença entre a salinidade das duas camadas no momento da estofa de baixa-mar, no primeiro ciclo de maré, com estratificação vertical, confirmando a presença da cunha salina nesse momento.

A figura 27b mostra salinidades levemente variáveis para as águas de fundo com perceptível controle da troca das marés diminuindo em maré vazante e com maiores valores em maré enchente. Já na curva que representa as salinidades na superfície é maior a variação em todo o período provocada pela acentuada diminuição da salinidade em alguns horários. Esta diminuição se explica pela ocorrência de chuvas que diluíram as águas superficiais nesses horários.

6.5.2.3 Temperatura

Os dados de temperatura levantados através do sensor de temperatura do correntógrafo no acompanhamento horário das águas no período estudado encontra-se na tabela 3.

TABELA 3 - Distribuição das temperaturas da água medidas pelo correntógrafo.

Campo I, 25* e 26/01/05**		temperatura Correntógrafo		Campo II, 02* e 03/05/05**		temperatura Correntógrafo	
Maré	Hora	Sup	Fundo	Maré	Hora	Sup	Fundo
2.7	12h*	30.60	30.45	3.4	11h*	31.6	31.08
2.6	13h*	31.09	30.84	3.3	12h*	32.217	31.62
2.8	14h*	31.03	30.73	3.1	13h*	31.25	31.62
3	15h*	32.65	32.58	2.7	14h*	31.5	31.58
3.6	16h*	30.01	29.89	2.6	15h*	31.467	31.70
3.7	17h*	29.81	29.77	2.2	16h*	32.025	31.83
3.9	18h*	29.41	29.47	2.3	17h*	30.95	31.48
3.7	19h*	29.48	29.16	2.5	18h*	30.825	31.40
3.3	20h*	30.06	26.04	2.7	19h*	30.7	31.32
3	21h*	29.92	29.86	2.8	20h*	30.967	31.25
2.9	22h*	29.59	29.68	3	21h*	30.3	31.15
2.8	23h*	29.53	29.62	3.1	22h*	30.767	30.88
2.7	24h*	29.40	29.49	3.4	23h*	30.45	30.13
2.6	1h**	29.45	29.33	3.6	24h*	29.25	29.28
2.5	2h**	29.38	29.36	3.6	1h**	28.975	29.15
2.7	3h**	29.10	29.15	3.4	2h**	28.4	29.27
3.3	4h**	28.12	28.18	3.2	3h**	28.6	29.20
3.5	5h**	28.20	28.08	3	4h**	29.05	29.30
3.6	6h**	28.16	28.16	2.8	5h**	28.983	29.18
3.4	7h**	28.19	28.16	2.7	6h**	29.15	29.15
3	8h**	28.55	28.47	2.6	7h**	29.475	29.70
2.8	9h**	29.73	29.70	2.6	8h**	29.9	29.80
2.8	10h**	30.34	30.70	2.5	9h**	30.2	29.88
2.7	11h**	30.97	30.05	2.7	10h**	31.275	30.20
2.8	12h**	31.49	30.35	2.9	11h**	30.625	30.45
2.6	13h**	31.32	30.00	3.3	12h**	30.363	30.02

Durante o campo I, temperatura mínima de 26.04°C, média de 29.97°C e máxima de 32.65°C, e para o campo II respectivamente, 28.40°C, 30.55°C e 32.06°C (FIGURA 28a e 28b).

O comportamento das temperaturas adquiridas pela sonda e pelo correntógrafo para superfície e fundo, nas 26 horas acompanhadas associadas a maré referente ao campo realizado. No primeiro gráfico as temperaturas ocorrem para os dois aparelhos de forma quase semelhante com as maiores temperaturas às 15 horas do primeiro dia e as menores de 4 a 7 horas, na madrugada do dia seguinte.

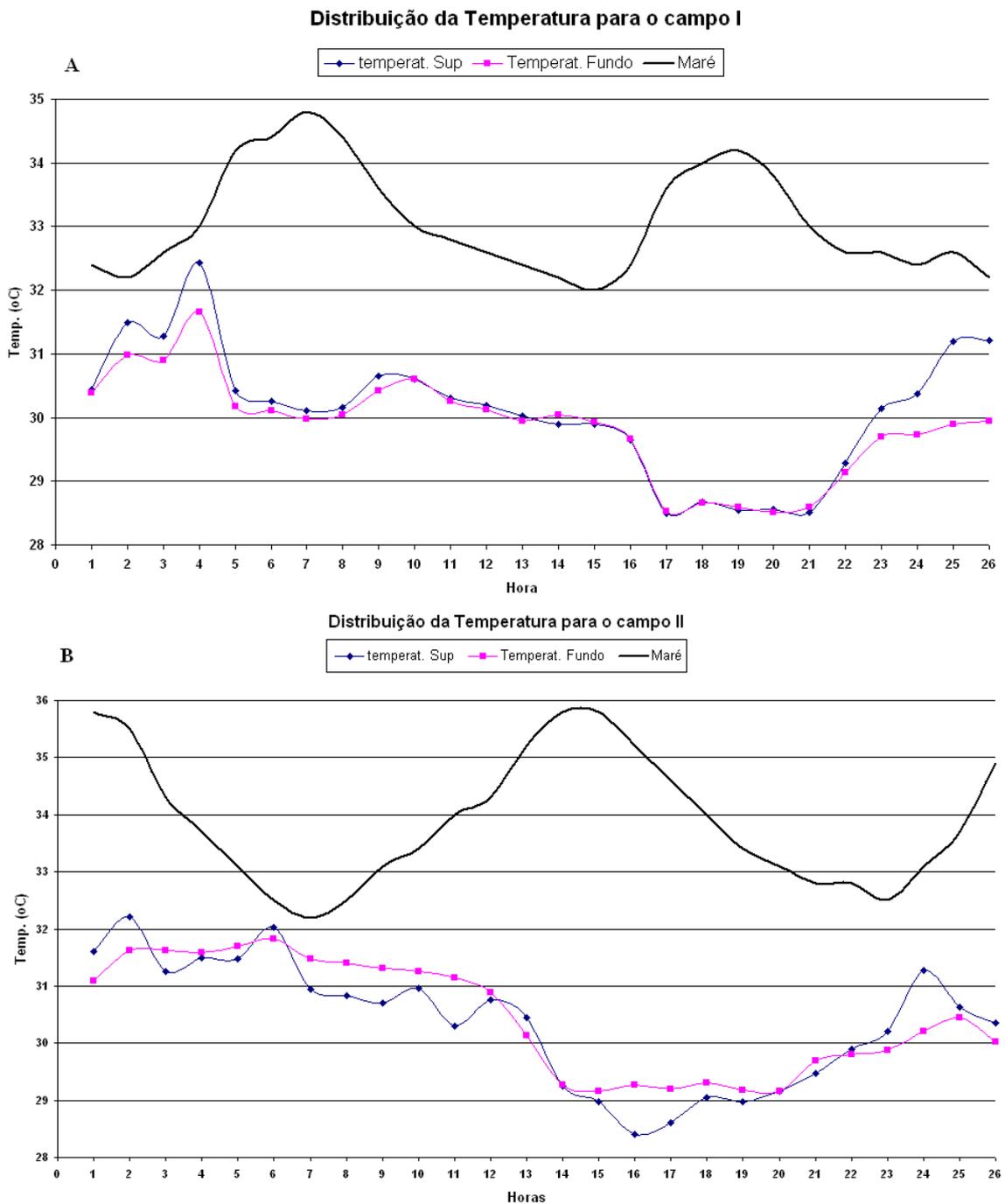


FIGURA 28 - a, Comportamento das temperaturas adquiridas durante o campo I, e b, para o campo II.

No gráfico seguinte, que ilustra o comportamento das temperaturas para o campo II, vemos uma maior variação, principalmente nas temperaturas das águas superficiais registrada nos dois aparelhos com picos 12 e 14 horas da tarde do primeiro dia e mínimas na madrugada entre 1 e 7 horas da manhã.

Os dois campos apresentam uma queda brusca na temperatura de um dia para o outro, mostrando para o segundo campo uma queda de quase 2°C. Pode se perceber também

nos dois campos a maior elevação da temperatura nas águas de superfície ao meio dia, o que provavelmente seja causado pela radiação solar que incide primeiro nessa camada.

6.6 Balanço Sedimentar (MES)

No Estuário do Rio Choró em relação ao material particulado ora em suspensão nas águas estuarinas movidas pelas forças da maré e das descargas fluviais, faz-se uma análise mais detalhada do balanço sedimentar desse material segundo informações de vazões obtidas no desenvolvimento desse estudo.

O conhecimento do balanço sedimentar está intimamente ligado aos processos de erosão, transporte e deposição, característicos do ambiente estudado, sendo facilmente estabelecidos quando conjugadas as informações de correntes horárias, áreas das seções no período estudado e seus respectivos valores de concentração de MES para cada profundidade medida.

O estabelecimento das vazões foi possível apenas com as informações de intensidade e direção das correntes horárias. Após determinar a direção perpendicular ao rio, orientada pelos azimutes 98° e 278° , separou-se as direções das correntes e definiu-se que as direções dentro dos limites para Norte pertencem aos fluxos fluviais, e as direções orientadas para o Sul pertencem aos fluxos marinhos.

Dessa forma produzem-se os parâmetros (vazões líquidas e sólidas) necessários ao estabelecimento da troca de material ocorrida na seção do estuário monitorado para os dois períodos estudados.

6.6.1 Vazão Líquida (Q_l)

Primeiro, obteve-se a vazão líquida (Q_l) em $m^3 s^{-1}$ através do produto das correntes horárias e suas respectivas áreas da seção para posteriormente chegar aos valores de vazões sólidas (Q_s) em $Kg s^{-1}$ do material particulado em suspensão para cada hora dentro das 26 horas medidas. As vazões foram obtidas através da fórmula 1 usada para obter Q_l e da fórmula 2 usada para obter Q_s , onde C_1 é a corrente na hora 1, A_{s1} é a área da seção na hora 1 e MES_1 é a concentração de MES em $mg s^{-1}$ na hora 1.

$$QI_1 = C_1 \times A_{s1} \tag{1}$$

$$Q_{S1} = QI_1 \times MES_1 \tag{2}$$

O balanço líquido e sólido foi realizado com o somatório das respectivas vazões considerando o sentido de escoamento das mesmas para promover adequadamente o real valor resultante do balanço em questão.

Tendo em vista que os resultados obtidos desses cálculos representam todas as vazões dos dois ciclos de maré para os dois campos e que pertencem tanto às descargas de origem fluviais como também as vazões de origem oceânicas, tem-se que considerar e somar apenas às vazões de cada sentido para analisar o balanço que ocorreu no final dessas 26 horas. A tabela 4 mostra as vazões líquidas horárias para cada campo e suas respectivas origens ilustradas pelas cores azuis para as vazões positivas de origem fluvial e vermelha para vazões negativas de origem marinha.

TABELA 4 - Vazões líquidas e suas respectivas origens, em azul as vazões fluviais e em vermelho as vazões marinhas para os campos I e II.

Campo I			Campo II		
Maré	QI Sup (m3/s)	QI Fun (m3/s)	Maré	QI Sup (m3/s)	QI Fun (m3/s)
2.7	31.94	30.44	3.4	42.15	28.80
2.6	34.87	8.36	3.3	30.48	6.02
2.8	134.87	12.70	3.1	26.97	14.61
3	170.92	187.87	2.7	18.27	14.82
3.6	328.92	264.58	2.6	25.17	11.75
3.7	282.66	276.94	2.2	13.41	4.70
3.9	371.32	179.21	2.3	38.74	1.80
3.7	341.17	71.17	2.5	21.95	-
3.3	312.63	72.37	2.7	21.94	1.05
3	-	75.60	2.8	25.04	5.19
2.9	31.86	17.23	3	2.79	2.58
2.8	24.20	13.08	3.1	61.97	22.57
2.7	23.73	10.87	3.4	97.63	78.79
2.6	40.26	27.34	3.6	194.78	67.53
2.5	16.36	17.18	3.6	6.12	4.99
2.7	120.65	31.50	3.4	101.35	46.19
3.3	369.09	249.20	3.2	100.02	36.98
3.5	444.21	239.12	3	87.88	6.61
3.6	57.75	79.70	2.8	75.51	4.94
3.4	193.68	113.77	2.7	47.52	1.43
3	223.52	10.61	2.6	18.60	4.66
2.8	54.12	9.27	2.6	21.64	2.91
2.8	25.86	15.37	2.5	-	8.74
2.7	23.53	30.64	2.7	52.61	9.95
2.8	20.11	6.55	2.9	145.01	57.15
2.6	26.88	8.79	3.3	118.76	138.60

As figuras 29a e b ilustram, separadamente, as vazões de cada origem (fluvial e marinha) junto com a curva da maré do dia para os dois campos analisados. Dessa forma considera-se então que as vazões referentes às descargas fluviais receberam o sinal positivo enquanto as vazões provenientes da maré receberão o sinal negativo apenas para se representar de forma separada cada vazão e dar a possibilidade de melhor se obter uma interpretação e um resultado final do balanço em questão.

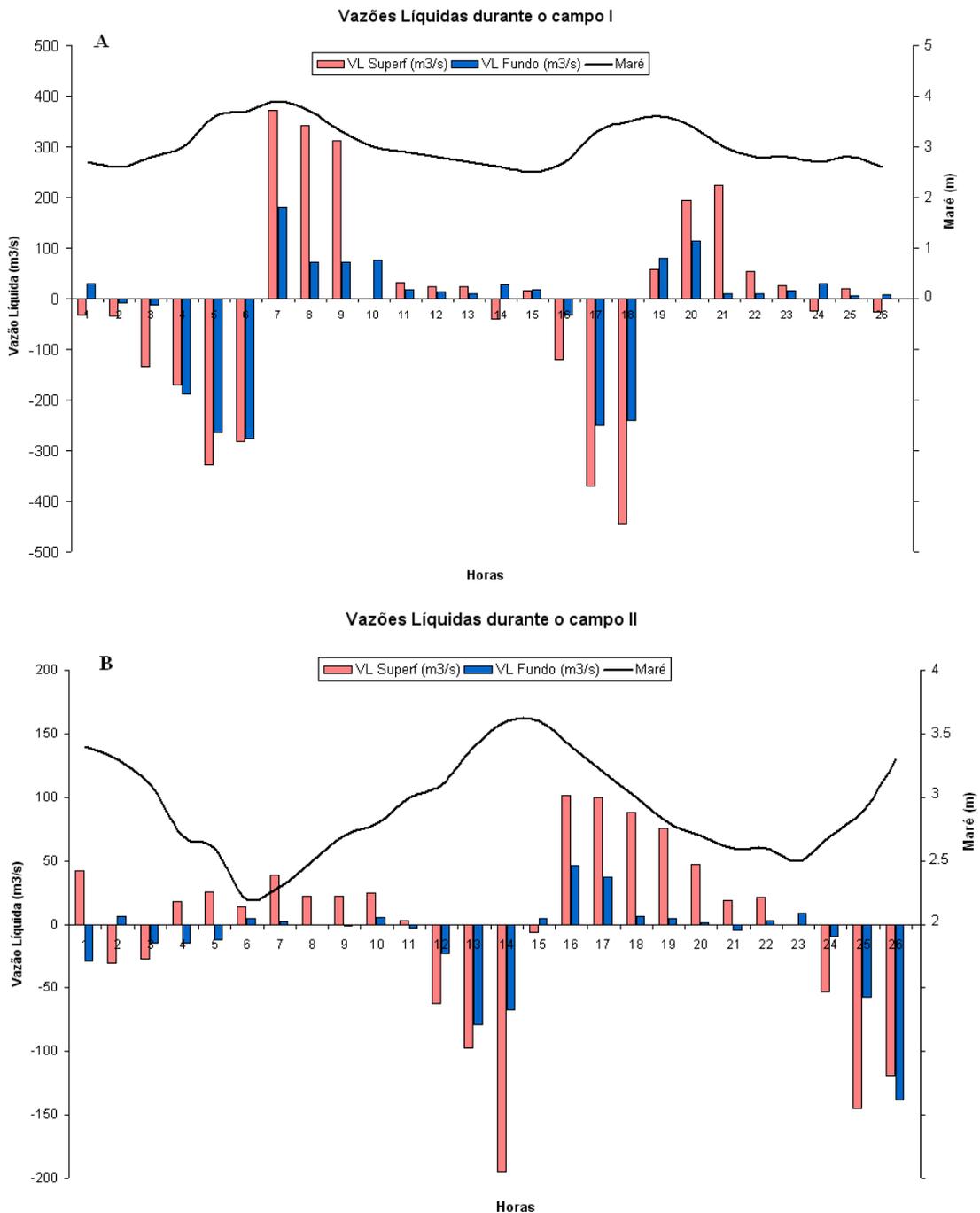


FIGURA 29 - a, Distribuição das vazões Líquidas Fluviais (positivas) e Marinhas (negativas) para a superfície e fundo da seção molhada do Estuário do Rio Choró referentes ao campo I, e b, referente ao campo II.

Levando em consideração as distribuições a cada hora em confronto com a movimentação da maré o que se percebe de imediato é a maior fluidez das vazões de superfície se comparadas com as vazões de profundidade, o que ocorre para os gráficos dos dois campos. Esse fenômeno vem evidenciar a provável presença da cunha salina provocando estratificação vertical instantânea, onde a massa d'água de fundo mais densa tende a frear o fluxo fluvial no momento imediatamente anterior as estofas sempre que há a troca das marés.

Os gráficos mostram bem esse processo de estratificação sempre próximo as estofas de maré vazante/enchente, o que indica muito provavelmente que ao cessar o horário da maré vazante ocorre um freamento da massa de água de fundo e uma antecipação de movimento no sentido contrário dessa camada, rio acima, promovida pela força da maré trazendo uma água mais salina e conseqüentemente mais densa. Tal fato é observado para os dois campos o que confere a esse estuário uma característica de estuário parcialmente misturado com a presença marcante de estratificação vertical promovida pela cunha salina com diferenças de densidade das águas presentes na circulação estuarina.

A distribuição das vazões líquidas normalmente apresenta fluxos controlados pela subida e descida do nível de água provocado pela interação entre a maré e a vazão fluvial, ou seja, com a subida do nível normalmente o fluxo da água sobe rio acima e com a descida do nível o fluxo vai na direção do mar, rio abaixo. Isso acontece na distribuição das vazões líquidas para o campo I, porém não ocorre no campo II como mostra o gráfico da figura 29b.

A explicação para tal fato pode estar no fenômeno muito bem conhecido e observado em diversos estuários chamado de maré dinâmica, que pode causar a elevação do nível do estuário rio adentro mesmo no momento da maré vazante por causa da pressão da massa de água oceânica que freia a vazão fluvial provocando a elevação.

As figuras 29 a e b, mostram a maior fluidez das águas de superfície em comparação com as águas de fundo, o que pode ocorrer tanto pela maior densidade da camada inferior como também pelas antecipações das entradas da cunha salina no fundo freando a vazão fluvial nesses momentos.

Pode-se identificar ainda que as maiores vazões ocorrem no horário da maré de enchente, momento em que prevalecem as maiores velocidades promovidas pela força da maré, fato bem evidenciado para o campo I e menos marcante no campo II. Mais uma vez tem-se a clara comprovação da maior competência das águas oceânicas em confronto com as continentais para esse caso, mostrando que atualmente o Estuário do Rio Choró tem se comportado como um simples braço de mar.

Isso provavelmente esteja ocorrendo pela junção de fatores naturais e antrópicos, tais como a estiagem que assola grande parte do ano e é característica do clima semi-árido, a própria dinâmica costeira do litoral, a construção de barragens para implementação de açudes para abastecimento humano, o aumento da especulação imobiliária e das práticas de criação em cativeiro de espécies do mar. Tais fatores aceleram o processo de assoreamento do rio, dentre outros, que favoreceram a perda de competência do Estuário do Rio Choró ao longo do tempo o deixando nas condições atuais.

O Rio Choró é o maior rio em extensão da bacia metropolitana e possui poucos afluentes em sua trajetória da cabeceira a foz e ainda tem suas águas represadas em dois locais. No Município de Choró, ele abastece o Açude Pompeu sobrinho e nos Municípios de Pacajus, Chorozinho e Cascavel o Açude de Pacajus. O volume de água retida nesses dois corpos d'água já contribui de forma excessiva para a diminuição da descarga normal do rio junto com os outros fatores, provocando, paulatinamente, a perda do caráter perene do Rio Choró.

Como tem acontecido com alguns rios do litoral leste, que simplesmente se transformam de uma temporada para a outra em lagoas ou lagunas com ligação ocasional com o mar, nas grandes ressacas. Um exemplo disso é o Rio Uruaú que hoje dá lugar e nome a Lagoa do Uruaú. Provavelmente, será esse também o futuro do Rio Choró diante do processo que se vê hoje no entorno do seu estuário.

6.6.2 Vazão Sólida (Q_s)

Em relação à vazão sólida (Q_s) ocorrida durante a realização dos dois campos, pode-se destacar alguns números resultado das vazões horárias numa análise geral. Para o campo I as vazões médias, mínimas e máximas em superfície e fundo respectivamente foram, 1,96, 0,24 e 8,55 Kg s^{-1} , e 1,22, 0,15 e 9,37 Kg s^{-1} , levando em consideração todas as vazões sem a distinção de origem. Já para os mesmos valores das vazões continentais e oceânicas tem-se, respectivamente, para a superfície, médias de 1,76 e 2,18 Kg s^{-1} , mínimas de 0,24 e 0,41 Kg s^{-1} , e máximas de 7,02 e 8,55 Kg s^{-1} , e para o fundo médias de 0,53 e 2,79 Kg s^{-1} , mínimas de 0,15 e 0,21 Kg s^{-1} , e máximas de 1,14 e 9,37 Kg s^{-1} .

O campo II apresenta valores gerais médios de 0,91 Kg s^{-1} na superfície e 0,47 Kg s^{-1} no fundo, mínimos de 0,04 e 0,03 Kg s^{-1} e máximos de 4,5 e 3,37 Kg s^{-1} , ambos para superfície e fundo, respectivamente. Os mesmos valores para as vazões continentais e

oceânicas são respectivamente para a superfície 0.63, 1,40 Kg s⁻¹ (médias), 0,04 e 0,07 Kg s⁻¹ (mínimas), e 1,64 e 4.50 Kg s⁻¹ (máximas), e para o fundo 0,25 e 0,68 Kg s⁻¹ (médias), 0,04 e 0,03 Kg s⁻¹ (mínimas), e 0,93 e 3,37 Kg s⁻¹ (máximas). Os demais valores de vazão para cada hora dos dois campos estão dispostos na tabela 5.

TABELA 5 - Vazões sólidas e suas respectivas origens, em azul as vazões fluviais e em vermelho as vazões marinhas para os dois campos.

Campo I			Campo II		
Maré	Qs Sup (Kg/s)	Qs Fun (Kg/s)	Maré	Qs Sup (Kg/s)	Qs Fun (Kg/s)
2.7	0.5150	0.6270	3.4	0.657608699	0.420011244
2.6	0.7498	0.2091	3.3	0.541819502	0.157869281
2.8	2.4854	0.2395	3.1	0.335954182	0.19132247
3	1.5383	3.1155	2.7	0.200993162	0.281603584
3.6	2.4998	9.3660	2.6	0.324670223	0.365655728
3.7	2.7842	4.8187	2.2	0.172635689	0.099813646
3.9	3.4719	1.1413	2.3	0.457073497	0.125210297
3.7	7.0221	0.7450	2.5	0.320996649	-
3.3	3.5953	0.6948	2.7	0.301714065	0.028801449
3	-	0.8064	2.8	0.321923863	0.093422875
2.9	0.5758	0.2704	3	0.04014765	0.066054721
2.8	0.3291	0.1635	3.1	0.720401462	0.406239667
2.7	0.3409	0.1573	3.4	1.532825857	1.221190882
2.6	0.7247	0.5160	3.6	2.42388617	1.093949064
2.5	0.2361	0.2910	3.6	0.073950084	0.078412407
2.7	1.9649	0.5354	3.4	1.621524838	0.934045597
3.3	8.5535	2.2072	3.2	1.30032045	0.8504733
3.5	3.4853	1.8173	3	1.186415424	0.114840858
3.6	0.4620	1.1224	2.8	1.642427502	0.092591441
3.4	1.9645	1.0365	2.7	0.817268866	0.039774562
3	3.3529	0.1467	2.6	0.372074722	0.081745228
2.8	0.8875	0.2392	2.6	0.334428516	0.120663364
2.8	0.2483	0.3535	2.5	-	0.295387177
2.7	0.4134	0.7558	2.7	1.231164687	0.2288406
2.8	0.4137	0.1638	2.9	4.49545911	1.028719699
2.6	0.4754	0.2930	3.3	1.24694387	3.369024246

A distribuição das vazões sólidas horárias nos dois níveis de profundidade para o campo I (FIGURA 30a), mostram que apesar de apresentar um pico de vazão no fundo na quinta hora acompanhada, momento de máxima velocidade da maré de enchente, no decorrer do período, as vazões de fundo estiveram sempre inferiores às vazões da superfície.

Analisando em particular as vazões de cada profundidade vê-se que para a superfície as maiores vazões ocorrem sempre nos inícios das marés, tanto nas de enchente quanto nas marés vazantes. No fundo, também, se vê um pequeno controle da maré sobre o comportamento das vazões, porém apenas na maré de enchente.

O campo II possui uma distribuição mais regular das vazões sólidas no período das duas marés estudadas, mas, também, mostra claras evidências da grande relação entre a presença de material particulado em suspensão nas águas e a movimentação da maré. As vazões de superfície, assim como no campo anterior, também, ficaram quase sempre superiores às vazões no fundo, e para os dois níveis de profundidades houve controle da maré em conferir maiores valores às vazões nos momentos de ápice das marés (enchente e vazante) (FIGURA 30a).

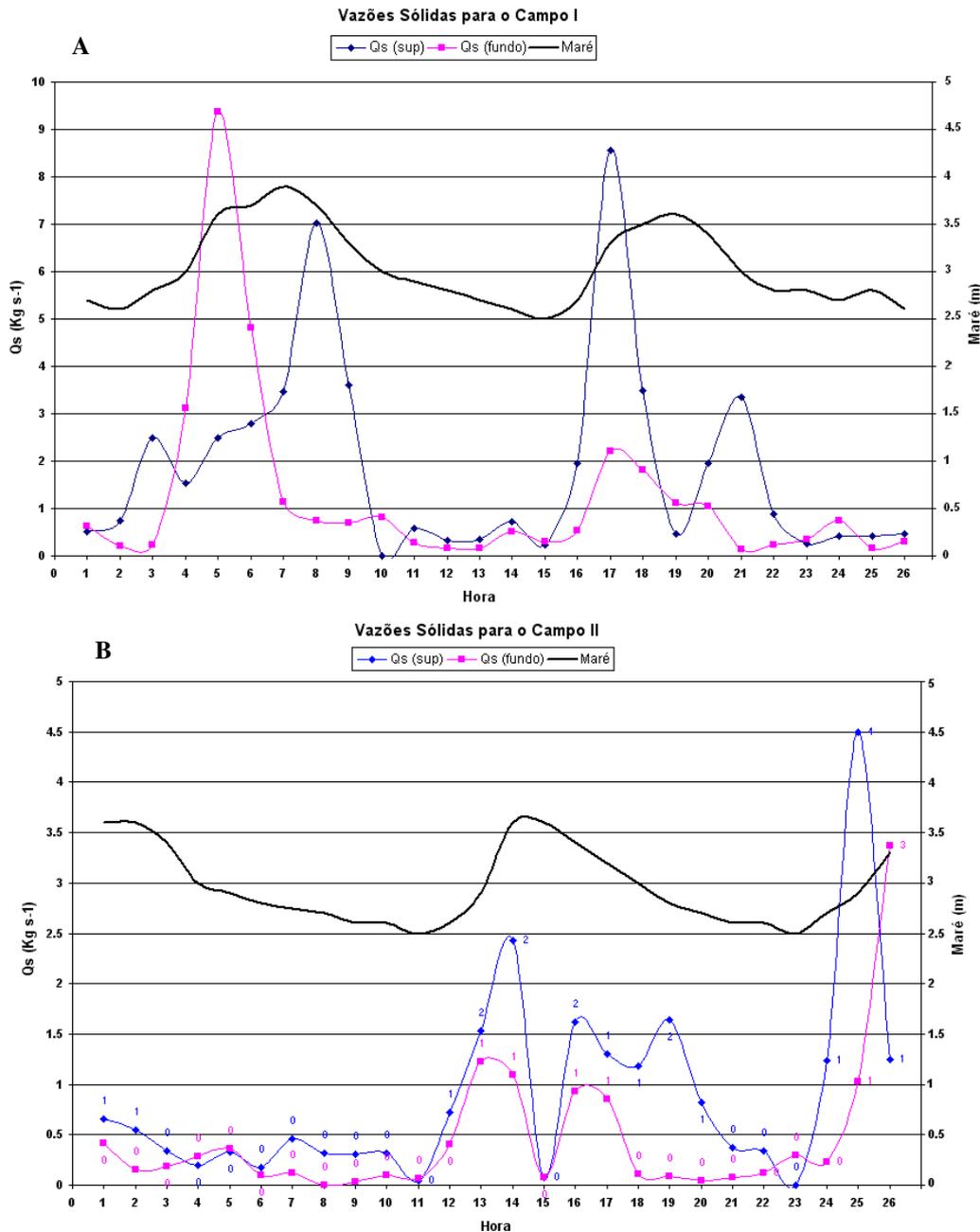


FIGURA 30 - a, Distribuição das vazões sólidas para a superfície e fundo da seção molhada do Estuário do Rio Choró referentes ao campo I, e b, referentes ao campo II.

Os resultados das vazões sólidas quando confrontados de maneira a produzir um balanço final para os dois ciclos de maré acompanhados, nos dois campos realizados, mostram conclusivamente o que de fato ocorreu na troca de material particulado em suspensão nas águas do Estuário do Rio Choro. A subtração entre o somatório das vazões continentais e o somatório das vazões oceânicas (TABELA 6) revela a vazão resultante indicando o que verdadeiramente ocorreu dentro estuário, se o rio forneceu (exportou) ou foi fornecido (importou) de material em suspensão, e mostra a quantidade real de material que teria sido fornecido entre os dois ambientes em questão.

TABELA 6 - Vazões sólidas e os respectivos balanços horários.

Hora	Campo II				Campo III			
	Maré	Qs (sup) (Kg/s)	Qs (fundo) (Kg/s)	Balanço Hora (T)	Maré	Qs (sup) (Kg/s)	Qs (fundo) (Kg/s)	Balanço Hora (T)
1	2.7	0.51	0.63	0.11	3.4	0.66	0.42	0.24
2	2.6	0.75	0.21	0.96	3.3	0.54	0.16	0.38
3	2.8	2.49	0.24	2.72	3.1	0.34	0.19	0.53
4	3	1.54	3.12	4.65	2.7	0.20	0.28	0.08
5	3.6	2.50	9.37	11.87	2.6	0.32	0.37	0.04
6	3.7	2.78	4.82	7.60	2.2	0.17	0.10	0.27
7	3.9	3.47	1.14	4.61	2.3	0.46	0.13	0.58
8	3.7	7.02	0.74	7.77	2.5	0.32	-	0.32
9	3.3	3.60	0.69	4.29	2.7	0.30	0.03	0.27
10	3	-	0.81	0.81	2.8	0.32	0.09	0.42
11	2.9	0.58	0.27	0.85	3	0.04	0.07	0.03
12	2.8	0.33	0.16	0.49	3.1	0.72	0.41	1.13
13	2.7	0.34	0.16	0.50	3.4	1.53	1.22	2.75
14	2.6	0.72	0.52	0.21	3.6	2.42	1.09	3.52
15	2.5	0.24	0.29	0.53	3.6	0.07	0.08	0.01
16	2.7	1.96	0.54	2.50	3.4	1.62	0.93	2.56
17	3.3	8.55	2.21	10.76	3.2	1.30	0.85	2.15
18	3.5	3.49	1.82	5.30	3	1.19	0.11	1.30
19	3.6	0.46	1.12	1.58	2.8	1.64	0.09	1.74
20	3.4	1.96	1.04	3.00	2.7	0.82	0.04	0.86
21	3	3.35	0.15	3.50	2.6	0.37	0.08	0.29
22	2.8	0.89	0.24	1.13	2.6	0.33	0.12	0.46
23	2.8	0.25	0.35	0.60	2.5	-	0.30	0.30
24	2.7	0.41	0.76	0.34	2.7	1.23	0.23	1.46
25	2.8	0.41	0.16	0.58	2.9	4.50	1.03	5.52
26	2.6	0.48	0.29	0.18	3.3	1.25	3.37	4.62

Partindo do pressuposto básico de que as zonas terminais de rios representadas pelos ambientes estuarinos sempre foram ricas fontes de nutrientes para o oceano e que são importantes, também, pela contribuição na dinâmica costeira dentro do ciclo sedimentar, procura-se encontrar a mesma relação no Estuário do Rio Choro tentando estabelecer o que de

fato ocorre na circulação de suas águas e o real caminho de deposição dos sedimentos em suspensão.

Dessa forma, buscou-se mensurar para o período estudado e, posteriormente, fazer cenários em escalas maiores, a quantidades de material particulado em suspensão trocado entre o continente e o oceano, estabelecendo se há no Estuário do Rio Choro importação ou exportação. Considerou-se importação o material transportado do mar para o rio e exportação o material cedido do rio para o mar.

As figuras 31a e 31b mostram o balanço presente em cada campo realizado com a curva de maré referente, indicando o resultado das vazões para cada hora. Ou seja, dependendo do comportamento da vazão na superfície e no fundo seus valores são somados ou subtraídos, resultando num valor final que se encontra expresso para cada hora possibilitando, por sua vez, a obtenção do balanço final para os dois ciclos de marés acompanhados.

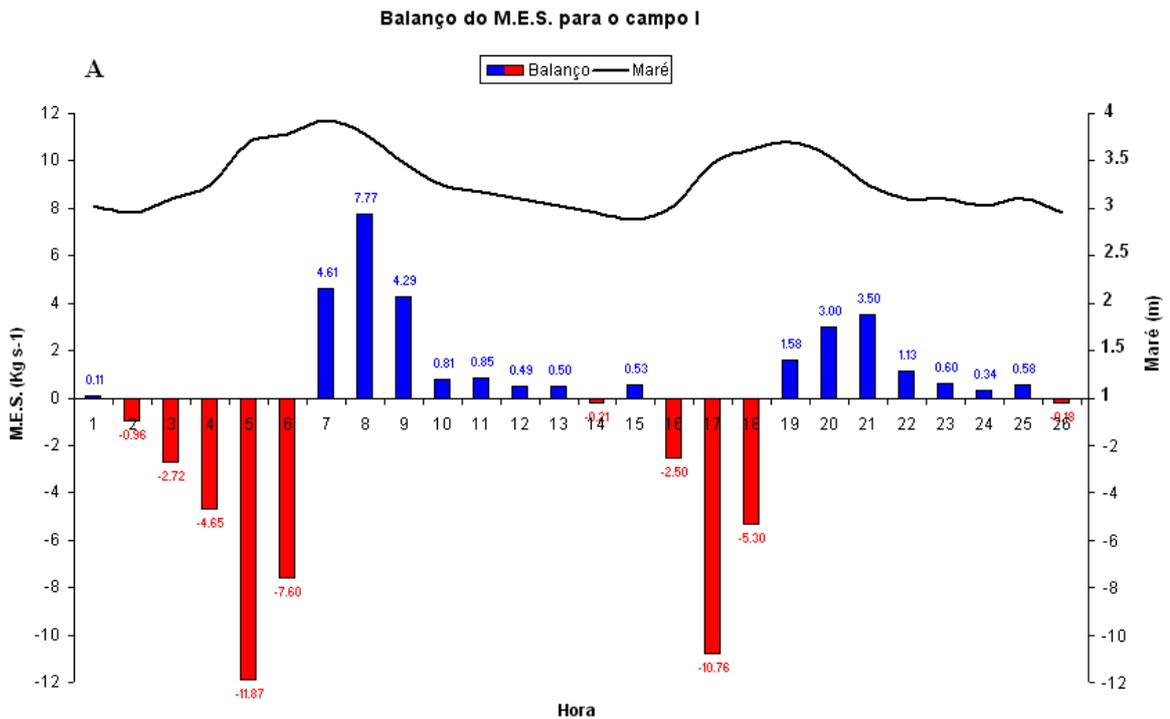


FIGURA 31a - Balanço das vazões sólidas com MES para o campo I e a curva de maré referente.

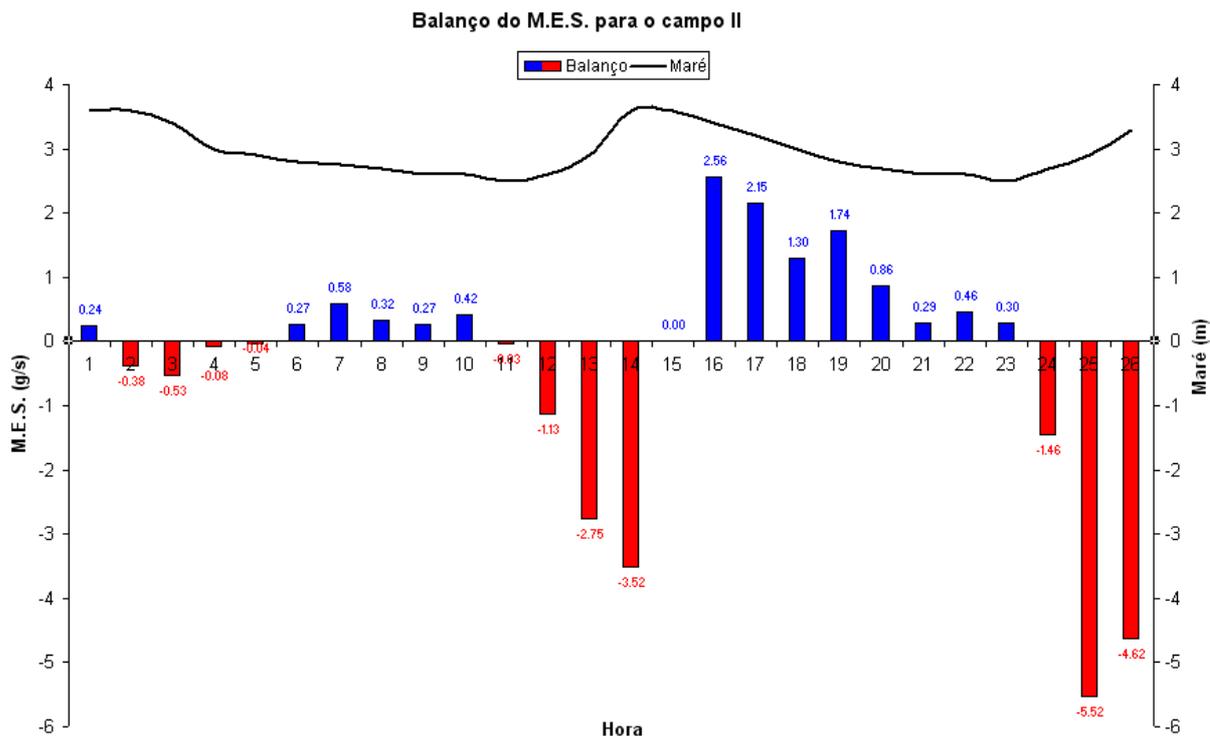


FIGURA 31b - Balanço das vazões sólidas com MES para o campo II e a curva de maré referente.

O balanço horário do material particulado em suspensão para o campo I mostra claramente a divisão da contribuição de cada ciclo de maré, como também na enchente e na vazante, com maiores valores nas vazões negativas, de importação do mar para o continente, nos momentos de ápice da maré de enchente. O valor médio das vazões sólidas nesse campo foi $2,98 \text{ Kg s}^{-1}$, o mínimo foi $0,11 \text{ Kg s}^{-1}$, e o máximo foi $11,87 \text{ kg s}^{-1}$.

A contribuição continental apresentou vazão sólida média de $1,92 \text{ Kg s}^{-1}$, mínima de $0,11 \text{ Kg s}^{-1}$ e máxima de $7,77 \text{ Kg s}^{-1}$, distribuídas em 16 horas das 26 medidas, sendo 8 horas para cada ciclo de maré, todas na maré vazante. Isso mostra que apesar de encontrar uma estratificação vertical das camadas (superfície e fundo) desse estuário todas as vazões de exportação ocorreram no momento em que o movimento das águas segue para o mar.

Já a contribuição oceânica apresentou vazão sólida média de $4,68 \text{ Kg s}^{-1}$, mínima de $0,18 \text{ Kg s}^{-1}$ e máxima de $11,87 \text{ Kg s}^{-1}$, distribuídas em 10 horas das 26 medidas, das quais 8 ocorrem em maré de enchente e 2 em maré de vazante, apresentando mesmo assim maiores valores no geral em comparação com a contribuição continental. Nesse caso, atribui-se à estratificação vertical a causa da ocorrência de duas medidas de vazão oceânica em momento de maré vazante, provocada aqui pelo fato de a vazão na camada de fundo no momento apresentar maiores valores de material em suspensão do que a camada de superfície no mesmo momento.

Vale salientar aqui que, normalmente, as vazões em momento de maré de enchente levam suas águas contendo partículas em suspensão do mar para o rio e que na maré de vazante ocorre o contrário. Porém, a presença de diferenças nas propriedades físicas dessas águas e do próprio ambiente provoca fenômenos como o da estratificação vertical, típica em uma grande classe de estuários que modifica o resultado do balanço do material ali transportado conferindo a esses estuários anormalidades aparentes, sendo na verdade o balanço entre as vazões das profundidades do local e hora.

No campo II as vazões sólidas estão distribuídas aproximadamente da mesma forma que no campo anterior, tendo apenas a diferença de no primeiro ciclo ocorrer vazões resultantes positivas e negativas em momento de maré aparentemente vazante, o que pode ter explicação numa provável atuação da maré dinâmica. A resultante das vazões sólidas para esse campo apresenta média de $1,22 \text{ Kg s}^{-1}$, mínima de $0,01 \text{ Kg s}^{-1}$, e máxima de $5,52 \text{ Kg s}^{-1}$ (FIGURA 32b).

As exportações horárias ocorreram em 14 horas das 26 monitoradas, quase todas na maré vazante com exceção de uma, apresentando média de $0,78 \text{ Kg s}^{-1}$, mínima de $0,01 \text{ Kg s}^{-1}$ e máxima de $2,56 \text{ Kg s}^{-1}$.

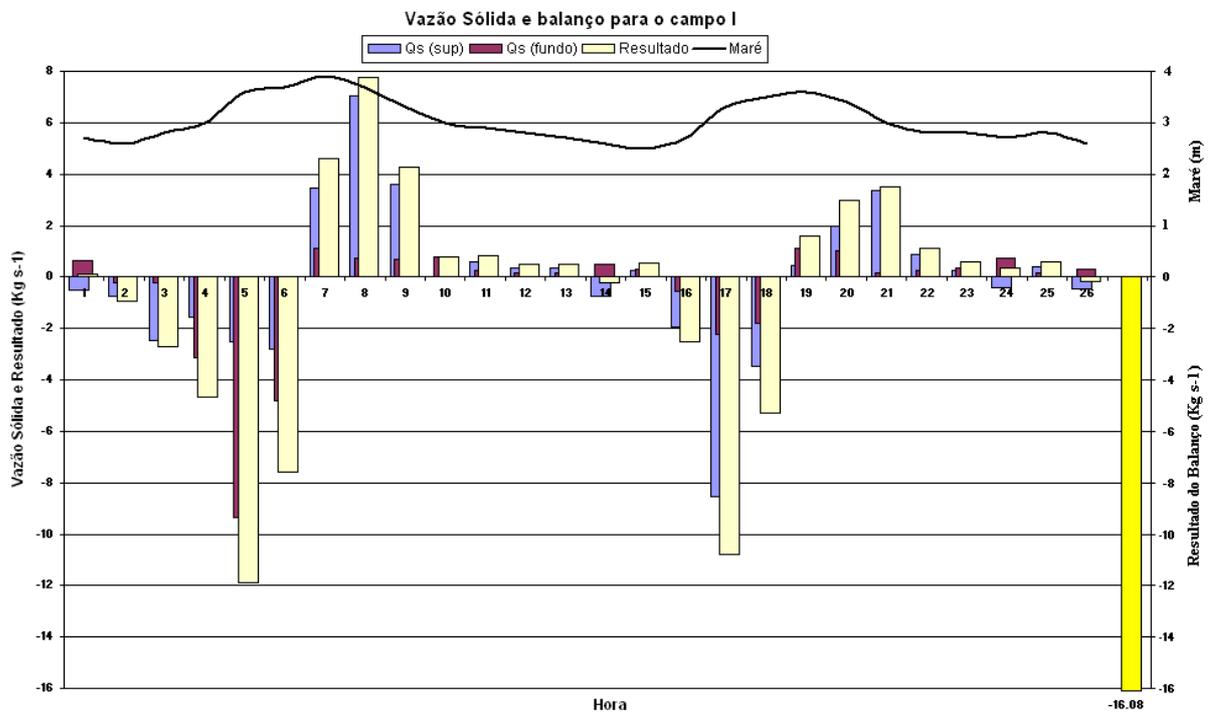


FIGURA 32a - Interação entre as distribuições das vazões sólidas e o balanço de cada hora com a apresentação do balanço final para os dois ciclos de maré do campo I e a curva de maré referente.

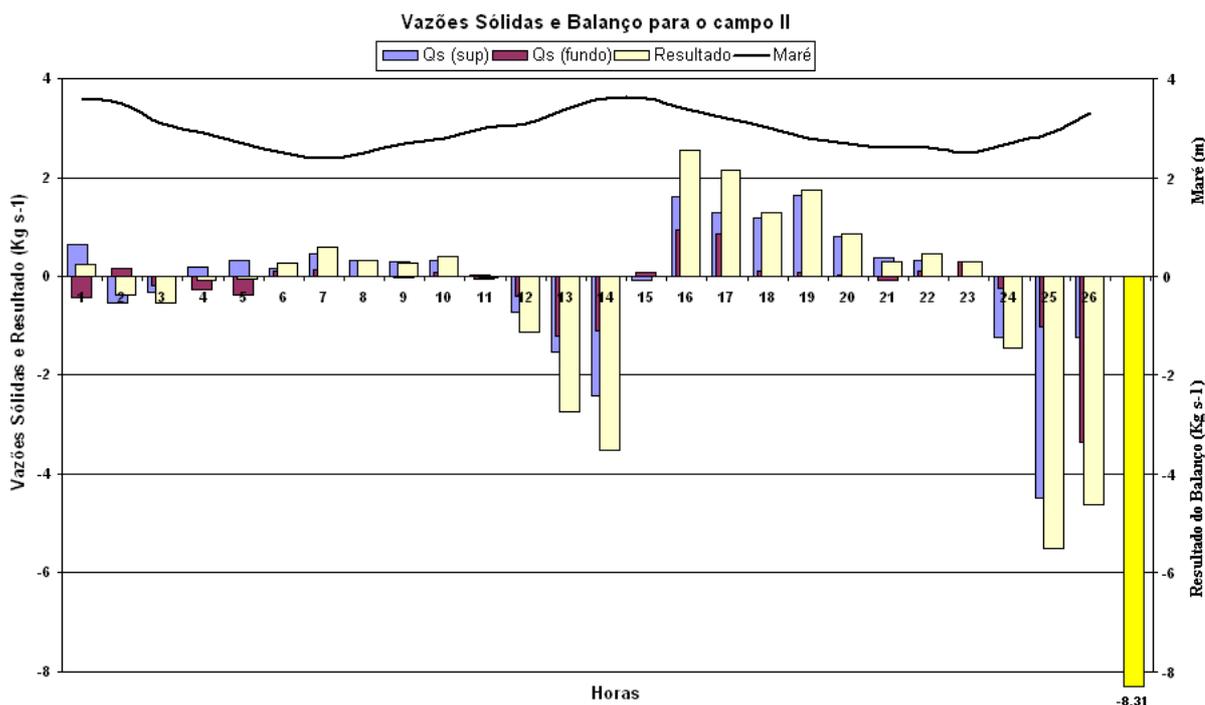


FIGURA 32b - Interação entre as distribuições das vazões sólidas e o balanço de cada hora com a apresentação do balanço final para os dois ciclos de maré do campo II e a curva de maré referente.

As importações apesar de ocorrerem em apenas 11 das 26 horas, novamente apresentaram maiores valores no geral do que as exportações. Nesse campo há a ocorrência de quatro vazões negativas (importação) em maré aparentemente vazante, que na verdade pode ser ainda o momento de transição da enchente para a vazante em que durante algumas horas as direções das correntes ficaram sem muita orientação, já que nesse campo acontecia a maré de quadratura com baixa amplitude e menores velocidades.

As figuras 32a e 32b apresentam as vazões sólidas com o teor de material em suspensão em Kg s^{-1} para cada hora, o resultado do balanço de cada medida (hora) e também o resultado final do balanço para as 26 horas acompanhadas. Os valores positivos pertencem às vazões fluviais e os valores negativos às vazões oceânicas. Observa-se que os momentos com vazões no mesmo sentido revelam, conseqüentemente, resultados da mesma origem (fluvial ou marinho) e os de origem diferentes apresentam resultados de acordo com a maior vazão. Nesses momentos em que as camadas apresentam sentidos contrários a vazão resultante pode ser tanto fluvial como oceânica, não tendo sido encontrado nenhum controle com a maré para nenhum dos casos.

Como resultado final encontrado para o campo I, tem-se -16,08 Kg de material em suspensão em 26 segundos de cada hora medida nas 26 acompanhadas, o que na verdade representa uma vazão de importação de $0,62 \text{ Kg s}^{-1}$ e conseqüentemente $55,64 \text{ T d}^{-1}$ (lê-se

toneladas por dia) de material em suspensão sendo importado rio adentro, caracterizando os dois ciclos de maré de Sizígia em 25 e 26 de janeiro de 2005 no Estuário do Rio Choró (TABELA 7).

No campo II chega-se a um resultado de -8,31 Kg de material em suspensão para as 26 horas medidas, que por sua vez resulta numa vazão de importação de 0,32 Kg s⁻¹ ou 28,77 T d⁻¹ no balanço diário para uma maré de quadratura (em 02 e 03 de maio de 2005) no Estuário do Rio Choró (TABELA 7).

Os dois balanços obtidos caracterizam dois ciclos de maré que ocorrem durante aproximadamente um dia, em maré de Sizígia e em maré de Quadratura, trazendo a possibilidade de uma análise temporal de maior escala através da extrapolação dos valores obtidos aplicados às mesmas características em outras escalas.

Sendo assim compilou-se as informações de maré do Porto do Mucuripe para todo o ano de 2005, período de realização da pesquisa, no intuito de identificar para esse ano o número de maré de sizígia e de maré de quadratura ocorridos mensal e anualmente. A partir dessa informação foi possível estabelecer o balanço mensal e anual da contribuição do material particulado em suspensão que ocorreu em 2005 no Estuário do Rio Choró. A tabela 7 apresenta os valores do balanço de material em suspensão para os meses de 2005 e, também, o resultado do balanço para todo o ano.

Tabela 07. Balanço mensal e anual do material em suspensão para o ano de 2005.

Mês	Sizígia	Quadratura	Importação M.E.S. (T d ⁻¹)	
			Sizígia	Quadratura
jan/05	16	15	890.31	431.52
fev/05	16	12	890.31	345.22
mar/05	17	14	945.96	402.76
abr/05	17	13	945.96	373.99
mai/05	17	14	945.96	402.76
jun/05	15	15	834.67	431.52
jul/05	15	16	834.67	460.29
ago/05	14	17	779.02	489.06
set/05	14	16	779.02	460.29
out/05	17	14	945.96	402.76
nov/05	17	13	945.96	373.99
dez/05	17	14	945.96	402.76
2005	192	173	10683.74	4976.91
Total importado de M.E.S. em 2005 (T a-1)				15660.65064

Os valores da tabela 7 representam para cada mês do ano de 2005 a quantidade de ocorrência de marés de sizígia e de quadratura, e, também, com base nos valores apresentados pelo comportamento dos dois campos realizados por esse trabalho. Encontram-se dispostos na

tabela também à extrapolação em escala mensal e anual do balanço encontrado para o Estuário do Rio Choró segundo os resultados obtidos para a quantidade de material em suspensão presente.

Dentre os resultados pode-se destacar que com os 192 dias de marés de sizígias ocorridas no ano de 2005, o Estuário do Rio Choró tenha recebido cerca de 10683 toneladas de material em suspensão importados do oceano para o continente, em pouco mais de 6 meses. As marés de quadraturas com suas amplitudes de menor expressão foram responsáveis pela importação de aproximadamente 5 mil toneladas de material particulado suspenso nas águas desse período em 173 dias.

Os resultados indicam maiores trocas de material presente em suspensão nas águas das marés de sizígia, as quais ocorrem em maior número em 8 dos 12 meses do ano em questão, sendo os dias dessa maré responsáveis por mais de 68 % de todo o material importado para o Rio Choró que teve no ano de 2005 cerca de 15660 toneladas de MES importados.

O balanço das vazões fluviais (líquidas e sólidas) caracterizado em dois ciclos de maré em sizígia e em quadratura nos períodos estudados também indicam não só para o pequeno aporte como também para a maior influência das águas oceânicas em comparação com as fluviais mostrando que em resumo o Rio Choró tem se comportado não mais como rio e sim como braço da mar. Sua águas possuem salinidade de águas marinhas e no geral, tanto para as marés de sizígia como para as de quadratura ocorrem importação de nutrientes evidenciado pela análise do balanço do material particulado em suspensão.

6.7 Modelagem Hidrodinâmica

Identificar e quantificar a hidrodinâmica da área, através da modelagem matemática se configura como informação de suma importância, fornecendo subsídios técnicos indispensáveis a uma gestão mais adequada desse recurso hídrico natural frente à execução de possíveis impactos visando à proteção e defesa dos ecossistemas costeiros envolvidos.

Como resultado da modelagem tem-se a obtenção de alguns cenários modelados de escalas de tempos e intervalos diferentes que tentam representar a hidrodinâmica local em ciclos completos de marés, segundo as informações configuradas.

A representação em papel da imagem conjugada é notavelmente impossível, portanto, apresentam-se, em seguida, imagens do comportamento hidrodinâmico de quatro momentos do período modelado mostrando o campo de vetores das correntes no Estuário do Rio Choró em momento de maré de enchente (FIGURA 33) posteriormente outra imagem da 17ª hora de uma modelagem de dois ciclos de maré (FIGURA 34).

A figura 33 mostra uma simulação que cobriu um ciclo de maré completo (13 horas), apresentando também as isolinhas de contorno do módulo da velocidade da corrente para cada hora modelada. Na figura 34 apresenta-se isoladamente os vetores de velocidade de um instante, referente à 17ª hora, de uma modelagem que cobriu dois ciclos de maré (26 horas) para o Estuário do Rio Choró.

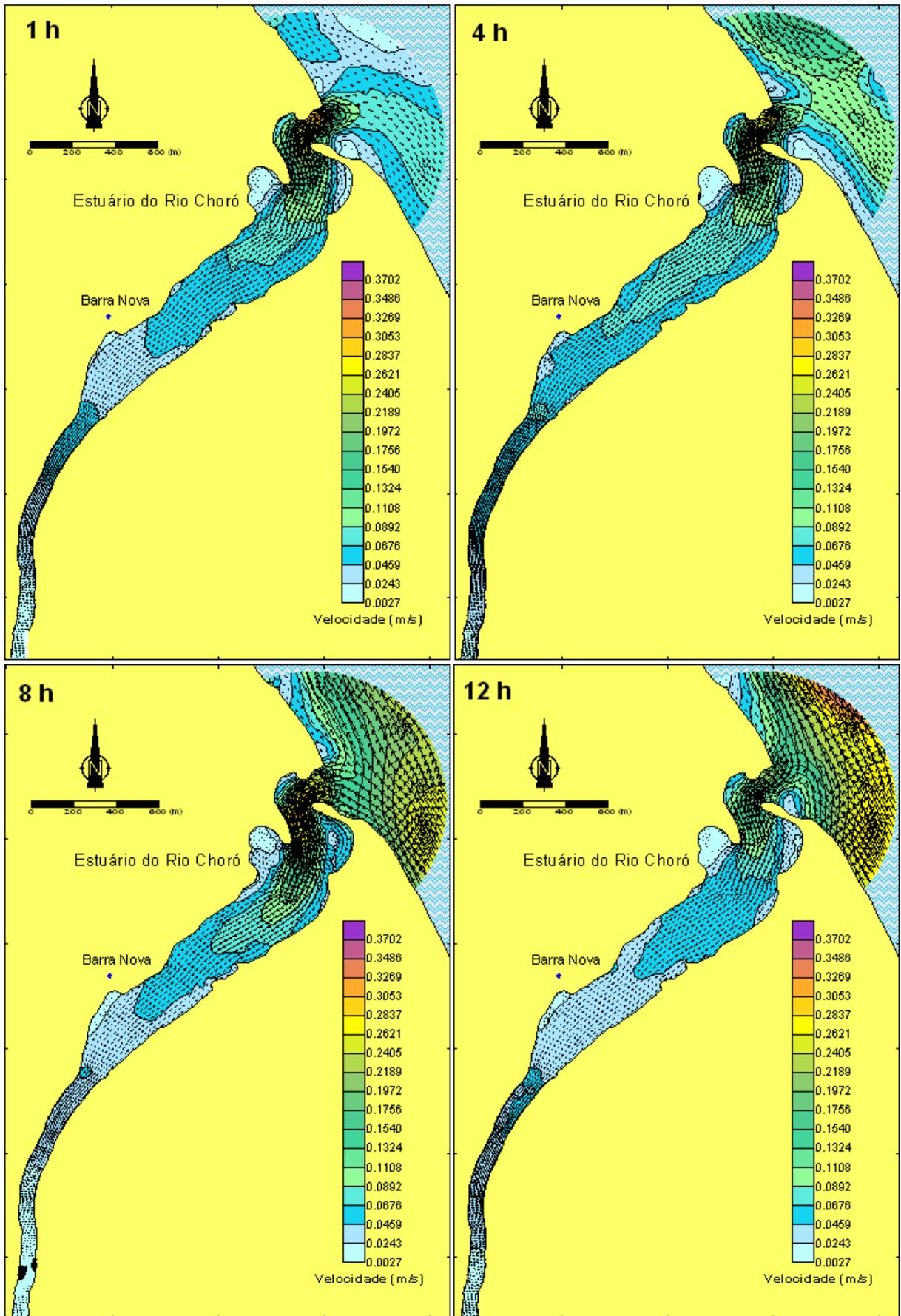


FIGURA 33 - Quatro momentos da modelagem hidrodinâmica do Estuário do Rio Choró através do SisBAHIA.

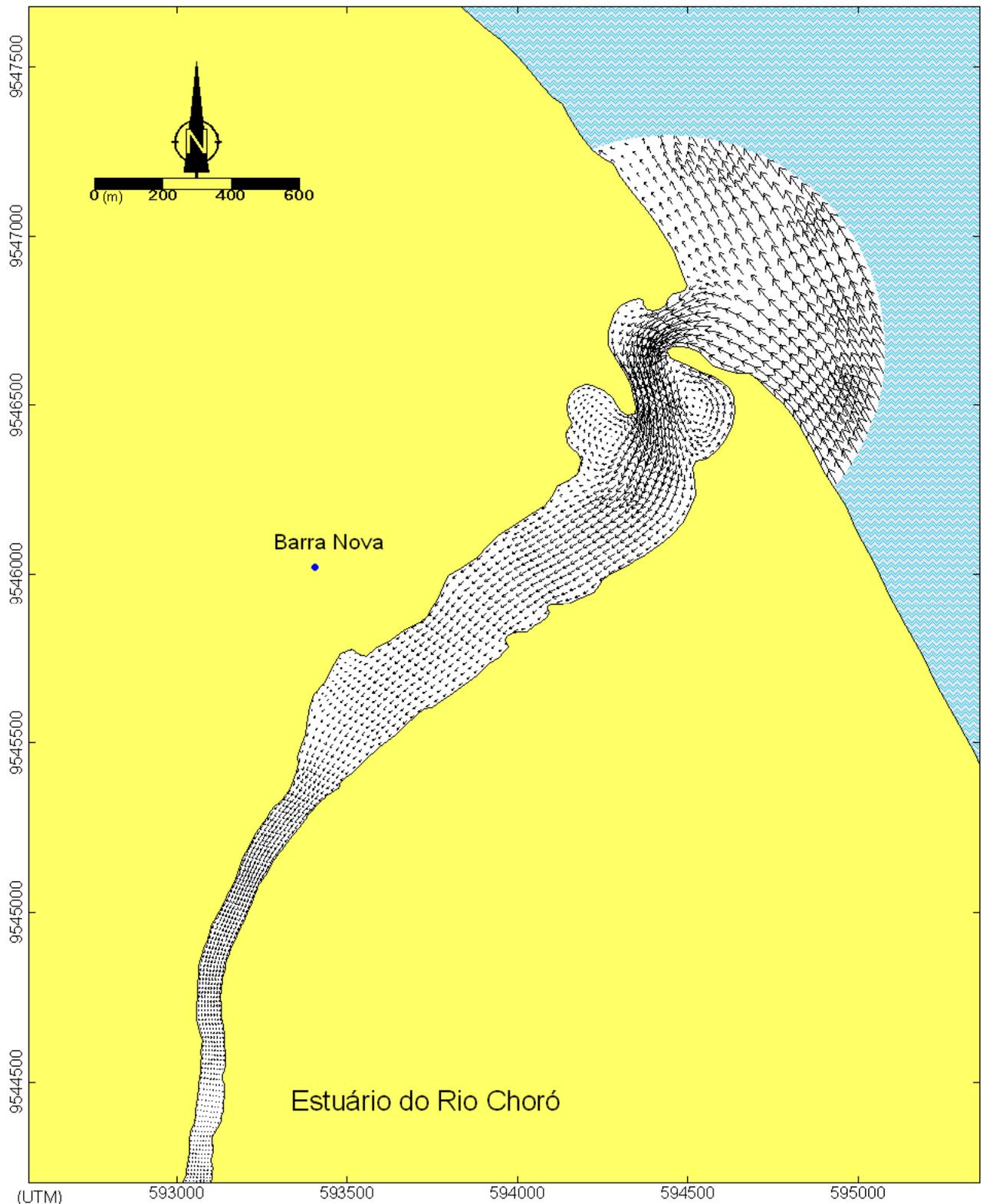


FIGURA 34 - Circulação Hidrodinâmica do Estuário do Rio Choró para 24 horas a partir da modelagem gerada pelo SisBAHIA, figura referente a 17 horas (maré de enchente).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES

A iniciativa de estudar o ambiente estuarino do Rio Choró e principalmente sua circulação e o balanço sedimentar presentes nas suas águas, partiu inicialmente da vontade de se aprofundar no estudo da oceanografia física desse rico ambiente. Posteriormente, tentou-se aplicar a ferramenta de modelagem da hidrodinâmica no corpo de água de interesse a fim de checar a boa qualidade, já comprovada, do modelo em retratar fenômenos em ambientes semi-fechados e também de produzir informações de importância ambiental para o adequado gerenciamento das atividades que possivelmente causem impactos ameaçando o equilíbrio ambiental dessa regiões.

Nesse momento da pesquisa nota-se que o esforço despendido para executar o trabalho, por mais trabalhoso e oneroso que possa ter sido, provocado ainda pela grande dificuldade de fazer pesquisa com a pequena fatia de recursos destinadas a esse fim, contribui ambientalmente gerando o conhecimento da atual situação em que se encontra a região estudada e servindo de alerta ou até mesmo de registro de uma feição que futuramente poderá não mais existir.

O Estuário do Rio Choró apresenta na sua foz dificuldades à navegabilidade de embarcações de maior porte em momentos de maré baixa, provocadas pela grande formação de bancos de areia que assoreiam a sua foz e diminuem efetivamente as profundidades na entrada do estuário impossibilitando a navegação muitas vezes de embarcações de pequeno porte. Essa foi a primeira dificuldade local em adentrar no estuário para iniciar a instalação dos equipamentos e começar a pesquisa.

A pouca profundidade encontrada na foz, também, ocorre a pouco mais de 5 km rio adentro, onde em momentos próximos a baixa-mar torna-se impossível a movimentação das menores das embarcações. Nesse trecho, com água a aproximadamente 30 cm, pescadores ribeirinhos aproveitam para extrair espécies de crustáceos e moluscos que utilizam o substrato arenoso do rio como o *Lucina pectinata*, um molusco bivalve popularmente chamado de “unha de véi ou pichuleta” aqui no Ceará, também chamado de “lambreta” em alguns estados do nordeste, como a Bahia. Sendo essa aliás uma atividade que merece maior discussão acerca da questão social que certamente já afetou, afeta e continuará afetando as populações do entorno dificultando cada vez mais sua sobrevivência.

O comportamento da sedimentologia no Estuário do Rio Choró chama a atenção pelo grande aporte de material que se deposita na sua foz, causado pela dinâmica local e pela

fraca vazão fluvial que favorecem o assoreamento dessas áreas. Como já foi mencionado em páginas anteriores diversos fatores, naturais e antrópicos, têm provocado a diminuição da vazão e conseqüentemente da energia do Rio Choró o que faz com que a dinâmica na sua foz seja prejudicada em detrimento do ciclo sedimentar.

Ver-se que esse processo tem produzido efeito não só na mudança física, química e biológica do ambiente estuarino, que por si só já justifica a necessidade de uma maior atenção dos órgãos responsáveis a fim de promover um gerenciamento dessas áreas, mais principalmente prejudica a questão social modificando a vida das famílias que fazem do rio a principal fonte de alimentação e muitas vezes também de meio de vida.

Como tem ocorrido em outros rios dessa região durante anos em resposta ao mau uso e gerenciamento da região costeira, o estrangulamento do Rio Choró é uma realidade que pode vir a ocorrer se não forem implantadas ações emergenciais que regulem as atividades degradantes que estão acelerando o processo de assoreamento na foz do Rio Choró e que pode mudar bruscamente a vida dos que dele ainda vivem.

A análise do balanço sedimentar do material particulado em suspensão revelou que a pequena competência presente nas águas fluviais do Estuário do Rio Choró não é capaz de exportar sedimentos e nutrientes para o mar, ocorrendo o inverso até mesmo em marés de baixa amplitude.

Com essa análise pode-se chegar ao impressionante número de cerca de 15 mil toneladas de MES, que provavelmente entrou rio adentro durante o ano de 2005, tomando como base os resultados obtidos nos dois campos realizados. Isso torna o estuário do Choró um receptor de nutrientes marinhos ao contrário do que normalmente ocorre com a maioria dos estuários em equilíbrio, cedendo nutrientes, gerados nesse ambiente, que são exportados para o mar.

Dentre as ações que potencialmente podem remediar ou amenizar os impactos provocados pelas interações dos diversos processos atuantes no Rio Choró desde sua nascente até a foz estão:

- Promover a execução de estudos multidisciplinares que contemplem os problemas ambientais verificados, em escalas de tempo adequadas ao melhor diagnóstico dos principais impactos provocados ao ambiente e de suas características. Nesse sentido, o acompanhamento da evolução desses ambientes em períodos adequados facilitará o entendimento dos processos envolvidos que atuam na modificação das características ambientais que provocam o desequilíbrio;

- Fiscalizar de forma preventiva as atividades de criação em cativeiro de espécies marinhas (carciniculturas) e suas emissões, que muitas vezes utilizam as águas do estuário sem preocupação com o ambiente. O cuidado com as emissões e com a tomada de água do estuário deve ser tomado a fim de evitar problemas futuros ao ambiente que mais cedo ou mais tarde sentirá os efeitos de uma má utilização desse recurso hídrico.

- Realizar estudos de avaliação do represamento das águas do Rio Choró desde sua nascente até a foz, identificando e analisando as barragens presentes no seu curso e executando se necessário a retirada ou quebra das barreiras que não tenham utilidade justificada para servir de abastecimento público;

- Analisar, em alguns setores do estuário, a necessidade da realização de dragagens a fim de desobstruir barreiras às águas fluviais e facilitar o lançamento dessas águas para o mar; e

- Por fim, promover a educação ambiental para a comunidade ribeirinha com a finalidade de gerar uma maior preocupação de preservação dos próprios agentes diretamente envolvidos no processo.

8 BIBLIOGRAFIA

BRANCO, P. N. C. Análise dos Sistemas Depositionais e Dinâmica Costeira do Município de Aquiraz, Estado do Ceará, com Auxílio de Imagens de Sensoriamento Remoto. Tese de doutorado em processamento de dados em geologia e análise ambiental. Universidade de Brasília, 2003.

CABY, R. & ARTHAUD, M.H. Major Precambrian nappes of the Brazilian Belt, Ceará, Northeast Brazil. *Geology*, 14:871-874.1986.

CAVALCANTE et. al., CPRM, Atlas Digital de Geologia e Recursos Minerais do Ceará - sistema de informação geográfica-Sig. mapa na escala 1:500000. Fortaleza – CE, 2003.

CAMERON, W. M. & PRITCHARD, D. W. *Estuaries. The Sea. Ideas and Observations on progress in the Study of the Seas.* New York, Interscience, 1963, pp. 306-324.

CLARK, I. The semivariogram – part 2. *Engineering and Mining Journal*, New York, p.92-97, 1979a.

DHN, Tábuas de Marés para 1997 / Diretoria de Hidrografia e Navegação - Marinha do Brasil 34 ed. – Rio de Janeiro A Diretoria, 1996. 194 p.

DYER, K. R., *Estuaries – A Physical Introduction* – Instituti of Marine Studies. University of Plymouth. UK. 2nd Edition. 1997.

FAIRBRIDGE, R. W. “The Estuary: Its Definicion and Geodynamic Cycle”. *Chemistry and Biogeochemistry of Estuary.* New York, Wiley, 1980, pp 1-35.

KOZCIAK, S.; ROSTIROLA. S.P.; FIORI, A.P. Análise comparativa entre métodos de interpolação para construção de modelos numéricos do terreno. *Boletim Paranaense de Geociências.* Curitiba, v. 47, p.19-30, 1999.

FOLK, L. R. & WARD, W. C. 1957. **Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters.** *Journal of Sedimentary Petrology*, 27 (1): 3 – 26.

GOMES, D.F. Mapeamento Geológico e Geoambiental do Distrito de Parajurú, Município de Beberibe/CE. Relatório de Graduação. Universidade Federal do Ceará-UFC. Fortaleza. 144p. 1995.

GOLDEN SOFTWARE Inc. Surfer, versão 8.0: Surface Mapping System. Golden, 2002. CD-ROM.

GUERRA, P.A.G. Geoestatística Operacional. Brasília:DNPM, 1988. 143 p.

HOF Consultoria Ambiental Ltda. **Planejamento de Contingências para incidentes Ambientais no Terminal Marítimo do Porto do Pecém - CE** (Quarto Relatório de Acompanhamento) – Rio de Janeiro – RJ, 2000.

KÖPPEN, W. Climatología: con un estudio de los climas de la Tierra. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 172p.

KJERFVE, B. Description of the Georgia Estuary. M. S. Essay. Seattle. Dept. of Oceanography, University of Washington, 1970, 43p.

LARSSONEUR ...

LIMA, S.F. et al. 2001. ANASED - Programa de Análise, Classificação e Arquivamento de Parâmetros sedimentológicos. In: VIII CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, Mariluz, IMBÉ. Boletim de Resumos. Porto Alegre: ABEQUA., v. 01.

MIRANDA, L. B., CASTRO, B. M., KJERFVE, B., Princípios de Oceanografia Física de Estuários. – São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002. – (Acadêmica; 42).

PRITCHARD, D. W. “Estuarine Classification – A help or a Hindrance”. Clifton, Humana, 1989, pp. 1-38.

ROSMAN, P. C. C., Mascarenhas, F. C. B., Miguez, M. G., Eiger, R. O. G. C. S. Métodos Numéricos em Recursos Hídricos. Vol. 5. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 2001.

ROSMAN, P. C. C., **SisBAHIA – Sistema Base de Hidrodinâmica**: Documentação de Referência Técnica. Universidade Federal do Rio de Janeiro. COPPE-PENQ – (Área de Engenharia Costeira & Oceanográfica) – Rio de Janeiro, RJ. 151 p. 2000.

SALLES, P. J. F., BENTES, M. C. F., SANTOS, A. J. – **Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras** – 1ª ed. – Rio de Janeiro: FEMAR. 280 p. 2000.

SHEPARD, F. P. 1954. **Nomenclature based on sand– silt –clay ratios**. Journal of Sedimentary Petrology, 24 (3): 151 – 158.

SILVA FILHO, W. F. **Domínios Morfoestruturais da Plataforma Continental do Estado do Ceará**. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004. 272p.

SILVA, R. C. V. ; MASCARENHAS, F. ; MIGUEZ, M. G. . **Hidráulica Fluvial**. 2. ed. Rio de Janeiro: Coppe/ufRJ, 2003. v. 1. 305 p.

SOARES, A.M.L. **Zoneamento Geoambiental do Município de Beberibe-CE**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Ceará-UECE. 118p. 1998.

VELOSO, J.R. “**Considerações sobre a Análise Granulométrica de Sedimentos Praiais**”. Tese M. Sc., COPPE/UFRJ, 122pp. 2001.

WOLANSKI, E., YOSHIHIRO, M., KING, B. & GAY, S., **Dynamics, flushing and trapping in Hinchinbrook Channel, a giant mangrove swamp, Australia**. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 31:555-579. 1990.

WOLGEMUTH, K.M.; Burnett, W.C.; Moura, P.L. **Oceanography and suspended material in Todos os Santos Bay**. Rev.Bras.Geoc. 11 (3): 172-178. 1981.