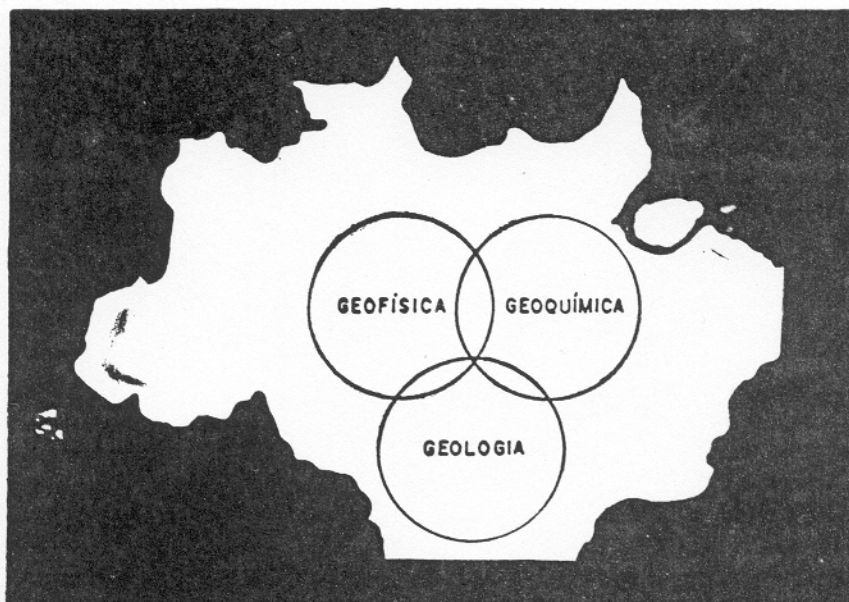


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS



Estudo Hidrodinâmico e Sedimentológico do Estuário Guajará-Belém (PA)

TESE APRESENTADA POR
Roberto Vizeu Lima Pinheiro

**BELÉM — PARÁ
1987**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CURSO DE POS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

ESTUDO HIDRODINÂMICO E SEDIMENTOLÓGICO DO ESTUÁRIO
GUAJARÁ-BELÉM (PA)

Tese Apresentada por

ROBERTO VIZEU LIMA PINHEIRO

como requisito parcial à obtenção do grau em

MESTRE EM CIÊNCIAS

Na área de

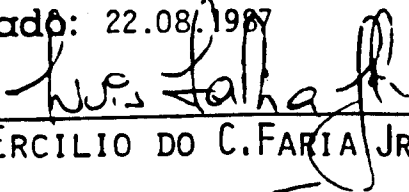
GEOLOGIA

Conferido pelo Curso de Pós-Graduação em

Geociências da

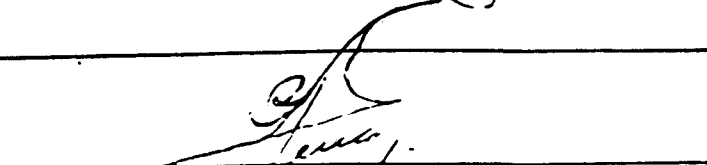
Universidade Federal do Pará

Aprovado: 22.08.1987

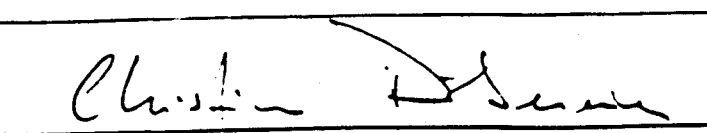


Comitê de Tese

LUIS ERCILIO DO C. FÁRIA JR. (ORIENTADOR)



PAULO SUCASAS DA COSTA JR.



CHRISTIAN E. DÖBEREINER

T. 295 PINHEIRO, Roberto Viseu Lima

Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do Estuário Guajará - Belém.(PA). Belém, UFPA. 1987

164 p.

Tese apresentada ao Centro de Geociências da UFPA para obter o grau de mestre em ciências na área de Geologia.

1.Geologia. 2.Bacia Hidrográfica-
Amazônia. 3.Plataforma Continental-
Amazônia. 4.Estuário-Guarajá-
Belém. I. Universidade Federal do
Pará/Centro de Geociências. II Tí
tulo.

S U M Á R I O

	Pag.
AGRADECIMENTOS	I
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	III
ABSTRACT	IX
RESUMO	01
1- INTRODUÇÃO	03
1.1- Objetivos.....	03
1.2- Localização da Área de Pesquisa	03
1.2.1- Registros Históricos.....	04
1.2.2- Caracterização Física.....	09
1.2.3- O Papel da Vegetação	11
1.2.4- Aspectos Climáticos.....	14
1.3- Bacia Hidrográfica Amazônica.....	18
1.3.1- Hidrodinâmica e Transporte Sedimentar do Rio Amazonas	18
1.3.2- A Plataforma Continental Adjacente ao Amazonas	21
2- METODOLOGIA	23
2.1- Princípios Gerais	23
2.2- Estudo dos Ventos e Ondas	23
2.3- Estudo das Marés	24
2.3.1- Maré Dinâmica	24
2.3.2- Maré Salina	24
2.4- Estudo dos Parâmetros Físico-Químicos	25
2.5- Estudo dos Sedimentos do Estuário	27
2.5.1- Sedimentos em Suspensão	27
2.5.2- Sédimentos do Fundo	29
2.6- Elaboração da Base Cartográfica.....	30
3- ANÁLISE HIDRODINÂMICA E FÍSICA DO ESTUÁRIO GUAJARÁ	31
3.1- Batimetria	31
3.1.1- Alto Fundo da Baía	31
3.1.2- Zona do Canal Principal	33
3.1.3- Barra do Guajará-Açu	34
3.1.4- Evolução Morfológica da Baía do Gua jará	34

	Pag.
3.2- Estudo das Ondas e dos Ventos na Baía do Guajarã	38
3.2.1- Comentários e Conclusões	44
3.3- As Marés no Estuário Guajarã	45
3.3.1- A Maré Dinâmica	45
3.3.1.1- Aspectos Gerais	45
3.3.1.2- Características das Marés Dinâmicas no Estuário	45
3.3.1.3- Estudo das Correntes de Marés	48
3.3.1.4- Velocidades de Correntes....	49
3.3.1.5- Análise da Variação de Velocidade de Correntes no Estuário	55
3.3.1.6- Relação entre as estofas de Marés e as Correntes	61
3.3.2- A Maré Salina	65
3.3.2.1- Mecanismo de entrada da Maré Salina no Estuário	67
3.3.2.2- Classificação do Estuário...	70
3.4- Análise dos parâmetros físico-químicos das águas do Estuário Guajarã.....	73
3.4.1- Teor de Oxigênio Dissolvido	73
3.4.2- Temperatura	92
3.4.3- pH	96
3.4.4- Condutividade.....	97
3.4.5- Material em Suspensão	99
3.4.5.1- Composição Mineralógica	103
4- ESTUDO DOS SEDIMENTOS RECENTES.....	103
4.1- Pesquisas Anteriores	103
4.2- Análise Granulométrica.....	105
4.3- Distribuição dos Fácies Texturais	113
4.4- Composição Mineralógica dos Sedimentos	115
4.4.1- Minerais Essenciais dos Sedimentos ..	115
4.4.2- Minerais Pesados Transparentes da Fração Areia	117

	Pag.
4.4.2.1- Descrição dos Principais <u>Mi</u> nerais	121
4.4.3- Procedência dos Sedimentos	122
5- GEOLOGIA E EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA REGIÃO ESTU <u>A</u> ARINA	127
5.1- Contexto Tectônico	127
5.2- Estratigrafia do Quaternário	129
5.3- Geologia da Região de Belém	132
5.4- Geomorfologia do Estuário Guajará	136
5.4.1- Relação com o Rio Amazonas	136
5.4.2- Unidades do Relevo	136
5.4.2.1- Terrenos Pleistocênicos - A "Terra Firme"	137
5.4.2.2- Terrenos Holocênicos.....	138
5.4.3- Geomorfologia e Tectonismo	140
5.5- Evolução Paleogeográfica	144
6- CONCLUSÕES	148
7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	152

A G R A D E C I M E N T O S

Este trabalho foi realizado com o apoio financeiro da Comissão Interministerial para Recursos do Mar, através de sua Secretaria -SECIRM, a quem agradeço inicialmente.

Manifesto, ainda, minha gratidão:

- ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico -CNPq- e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -CAPES- pela concessão das bolsas de estudo durante o Curso de Mestrado;

- a Empresa de Portos do Brasil S/A (PORTOBRÁS); Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE); Companhia de Docas do Pará (CDP); Sindicato Nacional dos Oficiais de Náutica de Práticos de Portos da Marinha Mercante; Companhia de Desenvolvimento Metropolitano de Belém (CODEM) e a Secretaria de Planejamento do Estado do Pará (SEPLAN-PA), pela colaboração no fornecimento de dados e informações sobre a Região Estuarina, bem como pelas informações cartográficas da área estudada.

- aos Profs. Drs. Luís Ercílio do Carmo Faria Jr. e Christian E. Döbereiner pela orientação e valiosas sugestões concedidas durante o desenvolvimento desta pesquisa e elaboração do texto final da Tese.

- ao Prof. Dr. Paulo Sucasas da Costa Jr. por sua imprescindível colaboração durante toda a fase de levantamento de campo e coletas de dados.

- aos Profs. Werner Truckenbrodt, Ana Maria Gões e Ruth Lea Bemerguy pelas críticas oportunamente apontadas durante a execução deste trabalho.

- a amiga Odete Machado da Silveira, em particular, por seu constante incentivo e espírito inovador, responsável em boa parte pelo êxito de meu trabalho. Da mesma forma

agradeço ao companheiro Expedito (o "Abacate") por sua compa
nhia sempre prestativa.

- A bióloga Alba Lins pela estimulante discus
são durante os trabalhos de campo envolvendo os levantamentos'
botânicos da Região Estuarina.

Ao Prof. Dr. João Batista S. Costa pelo auxílio
na interpretação das fotografias aéreas.

- Aos companheiros: Vaquera, pelo auxílio no
tratamento dos dados no computador; Carlos Lopes pelo auxílio
no laboratório de Sedimentologia; Carmen, do Laboratório de
Química, pelo acompanhamento durante o tratamento das amostras
de água, e, ainda, aos técnicos Cândido e Afonso pela colabo
ração na confecção e manutenção dos equipamentos.

- A Cleise Cordeiro pelo apoio e troca de i
dêias que muito contribuiu para o amadurecimento das conclu
sões aqui apresentadas.

- Agradeço, ainda, ao colega Mauro R. Ferreira
pelo auxílio no tratamento do material em suspensão, ao
Elves de Freitas pelos serviços datilográficos e dos Srs. Ma
teus e Artêmio que acompanharam as campanhas no estuário pilotan
do o Barco Curupira do Centro de Geociências.

Deixo ainda meu agradecimento a todos os amigos
da Geociências da UFPA que indiretamente foram também respon
sáveis por muitos passos que finalizaram neste trabalho.

LISTA DAS ILUSTRAÇÕES

Figuras		Pag.
01	Mapa de Localização da área e das estações de medições	05
02	Mapa de Localização do Estuário Guajará no contexto regional da desembocadura do Rio Amazonas	06
03	Variações mensais médias da temperatura(a) e precipitação pluviométrica (b) no período 1960-1980, para Belém	16
04	Variações mensais médias da precipitação pluviométrica entre 1984 e 1985 em Belém (a) e variação da Descarga do Rio Guamã para o período 1965/75, na Estação Bom Jardim(b).	17
05	Carta de calibração salinidade (‰) - condutividade (Mmhos).....	26
06	Carta batimétrica de detalhes do Estuário Guajará (em anexo)	32
07	Cartas Batimétricas do Estuário Guajará, referentes aos de 1843 (a), 1959-61 (b) , 1978 (c) e 1985 (d)	35
08	Gráfico de representação das direções predominantes dos ventos da Região de Belém..	40
09	Curvas de velocidades das correntes de marés de sizígia para a Baía do Guajará, montadas a partir de dados da PORTOBRÁS (1980b). A localização dos pontos relativos a cada curva pode ser vista nas figuras 12 e 13 .	56

- 10 Curvas de velocidade das correntes de ma rês de Quadratura para a Baía do Guajarã , montadas a partir de dados da PORTOBRÁS (1980b). A localização dos pontos relati vos a cada curva pode ser vista nas figu ras 12 e 13. 57
- 11 Curvas de velocidade de correntes de marés para o Rio Guamã (Canal Principal) montadas a partir de dados da PORTOBRÁS (1980b).... 59
- 12 Quadro da dinâmica das correntes de marés' de sizígia, em superfície, na Baía do Gua jarã, para o momento de implantação da va zante (aprox. 2hs após a estofa da preamar). 63
- 13 Quadro da dinâmica das correntes de marés de Quadratura, em superfície, na Baía do Guajarã, para o momento de implantação da enchente (aprox. 1h a 1:30h após a estofa de baixa-mar)..... 64
- 14 Curvas de isocondutividade/isohialinas pa ra o estuário guajarino, em superfície, em momento de final de vazante/início de en chente. Data: 5/dez/86 (maré intermediária entre Sizígia/Quadratura). Temperatura da água variando entre 28.8°C a 29.2°C..... 68
- 15 Curvas de isocondutividade/isohialinas pa ra o estuário guajarino, a cerca de 4-5 m de profundidade, em momento final de vazan te início de enchente. Data: 5/dez/86 (ma ré intermediária entre Sizígia/Quadratura). Temperatura da água variando entre 28.8°C a 29.2°C. 69
- 16 Curvas de isocondutividade/isohialinas para

	a foz do Rio Guamã, com maré no início da vazante, em superfície (A) e no fundo (B). Temperatura da água variando entre 27°C e 28,8°C, dia 11/nov/86.....	71
17	Curvas de isocondutividade/isohialinas para a foz do Rio Guamã, com maré em posição de meio de enchente, em superfície (A) e no fundo (B). Temperatura da água variando entre 29°C e 29,8°C, dia 5/dez/86	72
18	Variação da concentração de O ₂ (A), temperatura (B), pH (C), condutividade (D) e concentração de material em suspensão (E) em um ciclo de maré de sizígia (F) para o dia 10/maio (86).....	83
19	Idem fig. 18, para maré de quadratura do dia 17/maio/86	84
20	Idem fig. 18, para maré de sizígia do dia 23/maio/86	85
21	Idem fig. 18, para maré de Quadratura do dia 30/maio/86	86
22	Idem fig.18 anterior, para maré de Quadratura do dia 26/set/86	87
23	Idem fig.18 para maré de Quadratura dos dias 25 e 26/outubro/86	88
24	Idem fig.18 para maré de sizígia do dia 03/nov/86	89
25	Idem fig.18 para maré de Quadratura do dia 10/nov/86	90
26	Idem fig.18 para maré de sizígia do dia	

	Pag.
17/nov/86	91
27 Curvas de variação da temperatura do ar pa ra datas correspondentes aos dias de medi ções de temperatura de água. Dados da Esta ção Meteorológica da UFPA (Belém)	94
28 Difratoograma de Raio-X representativo de amostras do material em suspensão das guas estuarinas	104
29 Localização de pontos de amostragem de se dimentos de fundos, do estuário guajjarino.	108
30 Curvas granulométricas para os sedimentos recentes do Estuário Guajará.....	109
31 Mapa de distribuição do diâmetro médio dos sedimentos recentes do Estuário Guajará ..	111
32 Distribuição das amostras de sedimentos do Estuário Guajará no Diagrama de Shepard (1954, in Pettijhon et al, 1972)	114
33 Distribuição dos principais Fácies Textu rais no Estuário Guajará	116
34 Difratoograma de Raio-X representativo dos sedimentos argilosos depositados no fundo e margem do Estuário Guajará	118
35 Mapa de distribuição quantitativa dos prin cipais minerais pesados transparentes dos sedimentos do Estuário Guajará	120
36 Arcabouço estrutural da Região Costeira e de parte da Plataforma Norte Brasileira (Modificado de Gorini, 1979, in Palma, 1979).	128

37	Coluna estratigráfica da Bacia Sedimentar da Foz do Rio Amazonas (modificando de Schaller et. al. 1971, incluindo sugestões de Ferreira, 1982)	130
38	Coluna estratigráfica esquemática para a região de Belém e adjacências	133
39	Perfil geológico esquemático, composto a partir de dados de sondagem realizadas no Porto de Belém (Companhia de Docas do Pará, 1972, modificado).	134
40	Mapa de alinhamentos estruturais e fotogeológicos, da região estuarina da Baía do Guajará (elaborado a partir fotografias aéreas)	142
41	Perfil esquemático da região estuarina relacionando as principais unidades litológica com as feições geomorfológicas e estruturais da área	143
42	Curva de variação do nível do mar no Holoceno para a costa do Suriname, segundo Brinkman e Pons (1968, in Prost, 1986) ..	145

Tabelas

01	Resumo dos valores médios mensais do vento na Baía do Guajará. Estação UFPA-Belém	39
02	Características das Ondas da Baía do Guajará	42
03	Parâmetros da onda de maré dinâmica no Estuário/Ano 1986	46

	Pag.	
04 e 05	Relação entre velocidades máximas de fluxo e o comportamento da maré dinâmica na Baía do Guajarã	50 e 51
06	Relações entre velocidades máximas de fluxo e o comportamento da maré dinâmica no Rio Guamã	52
07	Defasagens médias entre as estofas de preamar e baixa-mare as "viradas" de correntes.	54
08	Percentagens das frações argila-silte-areia das mostras estudadas na Baía do Guajarã	106
09	Parâmetros estatísticos para as amostras estudadas	107
10	Frequência dos principais minerais pesados do Estuário Guajarã	119
11	Assembléias de minerais pesados apontadas por diversos autores, para áreas adjacentes ao Estuário Guajarã	125
12 ã 20	Variação dos Parâmetros Físicos-Químicos (O ₂ , T, pH, Condutividade, Conc. Mat. Susp.) para o Estuário Guajarã	74 a 82

A B S T R A C T

This work presents the hidrodynamic and sedimen tologic characteristic of the Guajará Estuary near Belém. It includes geomorphologic and geologic aspects, the behaviour of the waves, winds, tides, tidal currents and the investigation of the physical and chemical parameters of the water.

The Guajará Estuary, near Belém (Pará-Brasil) is marked by the absence of any important type of stratification, being partialy mixed, classified as the type "B" of Pritchard (1955), with significant lateral salinity changes. It's sybmitted to a mechanism of circulation controled by strong tidal cur rents.

Two principals systems of winds are responsible for the formation of several wave sets whose characteristics are dependent on the speed intensity, time of atuation and di rection of these winds. The tides and tidal currents strongly interfere with the wave geration. The dinamic tide presents mean amplitude in spring tide and quadrature tide, of around 3,5 and 3,0 m respectivly at Belém Port.

The surfave tidal currents show a circulation complex mecanism, always following the individual caracteris tics of ebb and flood channels during the moments of flows change. The mecanism of saline tide mixing go along with this pattern. The condutivity ended up to be the most important para meter to define the mecanism of saline tide mixing. Important changes in the mean values of pH, concentration of O_2 and sus pended material and condutivity of estuarine waters follow the anual sazonal changes with are marked by the flutuation of rainy and dry seasons. Hourly modifications during both the tides and lunar position changes (spring tide and quadrature tide) are important as well. The water temperature follows the oscilations of are temperature with expressive dayly amplitude on the region.

R E S U M O

Este trabalho apresenta as características hidrodinâmicas e sedimentológicas do Estuário Guajará, nas adjacências da cidade de Belém. Sua abordagem abrange aspectos geológicos e geomorfológicos, o comportamento das ondas, ventos, marés, correntes de marés e a investigação dos parâmetros físico-químicos das águas, com o objetivo de esboçar um modelo quantitativo para esse ambiente além de apresentar uma proposta para a evolução física da região.

Sob o ponto de vista oceanográfico, o Estuário Guajará caracteriza-se pela ausência de estratificação térmica marcante, enquadrando-se como parcialmente misturado, do tipo B na classificação de Pritchard (1955), com apreciáveis variações laterais de salinidade. Está sujeito a um mecanismo de circulação controlado por fortes correntes tidais, as quais definem canais facilmente individualizados de enchentes e vazantes.

Dois sistemas principais de ventos são responsáveis pela formação de vários conjuntos de ondas com características que vão depender da velocidade, intensidade, tempo de duração e direção destes em relação a geografia do estuário. As marés e correntes de marés interferem decisivamente na formação das ondas. A maré dinâmica apresenta amplitude média em sizígia e quadratura, no Porto de Belém, em torno de 3,0m e 2,5m respectivamente.

As correntes de marés em superfície, durante os momentos de mudança de sentido, mostram um mecanismo complexo de circulação, sempre obedecendo as características de individualização dos canais de enchentes e vazantes. O mecanismo de entrada da maré salina obedece, também, a este padrão. A condutividade revelou-se o mais importante parâmetro para a definição do mecanismo de intrusão da maré salina. Importantes variações dos valores médios de pH, concentração de O_2 , concentração de material em suspensão e da condutividade nas águas estuarinas acompanham, aproximadamente as variações sazonais durante o ano, marcadas por períodos muito chuvosos seguidos pela época de

estiagem. Variações horárias durante os ciclos de marés, bem como variações decorrentes dos movimentos quinzenais da Lua (sizígia e quadratura) são da mesma forma importantes. A temperatura das águas acompanha as variações de temperatura do ar, na região, com expressivas amplitudes diárias.

Os sedimentos holocênicos que preenchem a calha estuarina são predominantemente arenosos, variando de selecionados a bem selecionados, por vezes siltosos. A sedimentação é balizada pelas condições hidrodinâmicas do ambiente, sendo reconhecidas duas fácies texturais importantes: Fácies Lamosa e Fácies Arenosa. A distribuição desta fácies texturais aparentemente oscila em função da periodicidade das marés.

A fração pelítica dos sedimentos estuáricos é composta por caolinita, illita, esmectita e interestratificados de illita-esmectita, ocorrendo ainda, traços de clorita. Na fração arenosa o quartzo é o mineral principal em associação com grãos de óxido de ferro. Dentre os minerais pesados transparentes predominam estauroлита, turmalina, cianita, zircão, epidoto e anfibólios, além de granada, rutilo e andaluzita. Como áreas fontes principais são apontados os rios Tocantins e Guamá. Além destes, o Grupo Barreiras e os Terrenos Holocênicos deve suprir com sedimentos o leito estuarino. Propõe-se um modelo evolutivo geológico-geomorfológico para o Estuário Guajarã, admitindo-se a idade de sua implantação do Holoceno Inferior a Médio, associada as manifestações da Transgressão Flandriana.

1- INTRODUÇÃO

1.1- Objetivos

O presente trabalho objetiva essencialmente o estudo integrado, do Estuário Guajará, no sentido de buscar uma caracterização abrangente de todos os processos físicos que se integram simultaneamente neste ambiente. Dessa visão integrada procura-se mostrar o papel de cada agente geológico, isoladamente, e a importância de sua atuação no entendimento do contexto regional hidrodinâmico e sedimentar do Golfão Marajoara.

Parte inicialmente de uma abordagem geográfica da Região Guajarina e suas relações com a Bacia Hidrográfica Amazônica, na qual são enfocados aspectos hidrográficos, climatológicos e oceanográficos. Segue-se um estudo dos aspectos intrínsecos da dinâmica física do estuário (marés, ondas, ventos e regime fluvial) e, ainda dos fatores físico-químicos ligados às águas que circulam neste ambiente. Por fim, faz-se um retrato atual dos processos geológicos e sedimentológicos envolvidos no ambiente deposicional, culminando com a apresentação de uma proposta para explicar a evolução geológica e geomorfológica da Região Guajarina durante o Quaternário.

Por ser um trabalho até certo ponto inédito e de objetivos abrangentes, é preciso que se tenha em mente que as conclusões apresentadas representam um ponto de partida para trabalhos futuros, que poderão ter objetivos mais específicos. Por outro lado, esta pesquisa tem, ainda, como objetivo intrínseco, suprir as necessidades prementes de conhecimentos científicos das áreas adjacentes a região urbana de Belém, que com seu ritmo acelerado de progresso tem sido exposta a substanciais modificações ambientais. Estas mudanças precisam ser avaliada e quantificadas visando, sobretudo, permitir um acompanhamento das transformações resultantes do desenvolvimento urbano na região.

1.2- Localização da Área de Pesquisa

A área pesquisada estende-se desde a desembocadura

ra do Igarapé do Utinga, no Rio Guamã, até a extremidade da Ilha da Barra, na Baía do Guajará. A área de estudo pode ser enquadrada, aproximadamente, dentro dos paralelos 1º22'S e 1º30'S e dos meridianos 48º25'W e 48º35'W, distante cerca de 120 km do Oceano Atlântico (figs. 1 e 2).

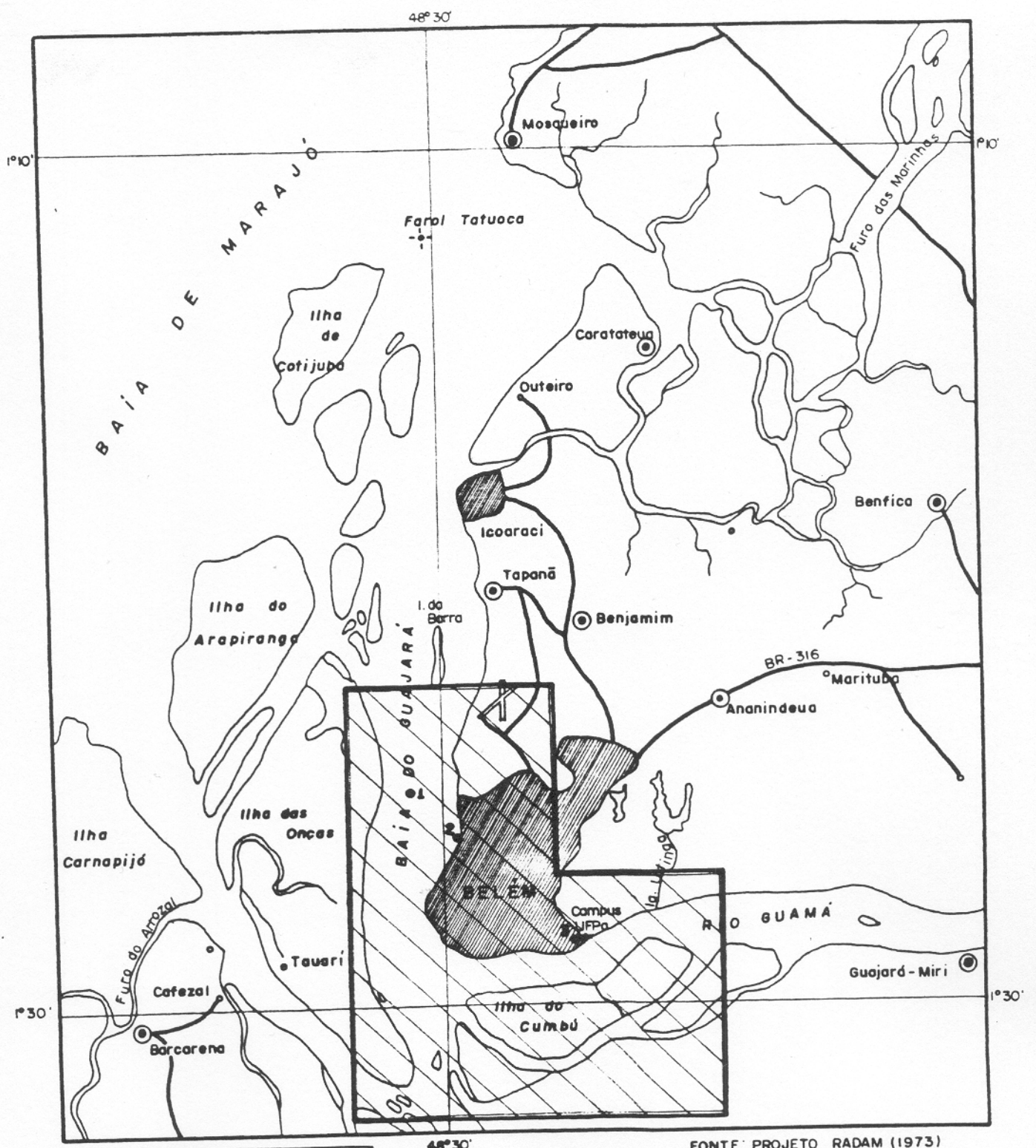
As investigações realizadas envolvem diretamente as massas líquidas e seus contornos, incluindo, portanto, a sua morfologia, os sedimentos de fundo e em suspensão. Este trabalho investiga um ambiente em contínua transformação, refletindo as condições da área na ocasião em que foi desenvolvida a pesquisa.

1.2.1- Registros Históricos

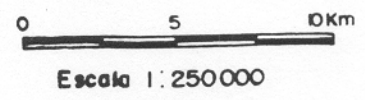
Talvez a mais antiga dentre as informações sobre a região da Baía do Guajará, data de 1616, quando da chegada da expedição portuguesa comandada por Francisco Caldeira Castelo Branco, que resultou na construção do Forte do Presépio, ponto de partida para o nascimento da cidade de Belém. Outras notas falam de viajantes franceses e holandeses que navegavam anteriormente pelo estuário mantendo um comércio clandestino de açúcar e drogas do sertão (Cruz, 1973a).

Em 1784, o naturalista Alexandre Rodrigues Ferreira, descreveu pela primeira vez detalhes da cidade de Belém, atualmente reunidas na obra "Miscelanea Histórica para servir de Explicação do Prospecto da Cidade do Pará" (in Cruz, 1973a). Dentre as observações mais interessantes com relação a geografia da região, este naturalista destaca o aspecto plano e baixo do relevo, chamando atenção para a ocorrência de solos argilosos encobertos totalmente no inverno, pelas marés. Descreve, ainda, a ocorrência de areias na área que corresponde ao Bairro da Campina, associadas a terrenos menos pantanosos com declives pouco acentuados. Segundo este naturalista, não haviam "pedras" em nenhum local da cidade, podendo-se encontrá-las, no entanto, nas suas imediações onde havia "uma pedreira areienta mineralizada de ferro".

Na referida obra, Alexandre Ferreira tece ainda



FONTE: PROJETO RADAM (1973)



- 1 Ponto de Medições dos Parâmetros Físico-Químicos e Evantamento de Ondas.
- 2 Estação Maregráfica PORTOBRAS / CDP
- 3 Estação Meteorológica UFPA.

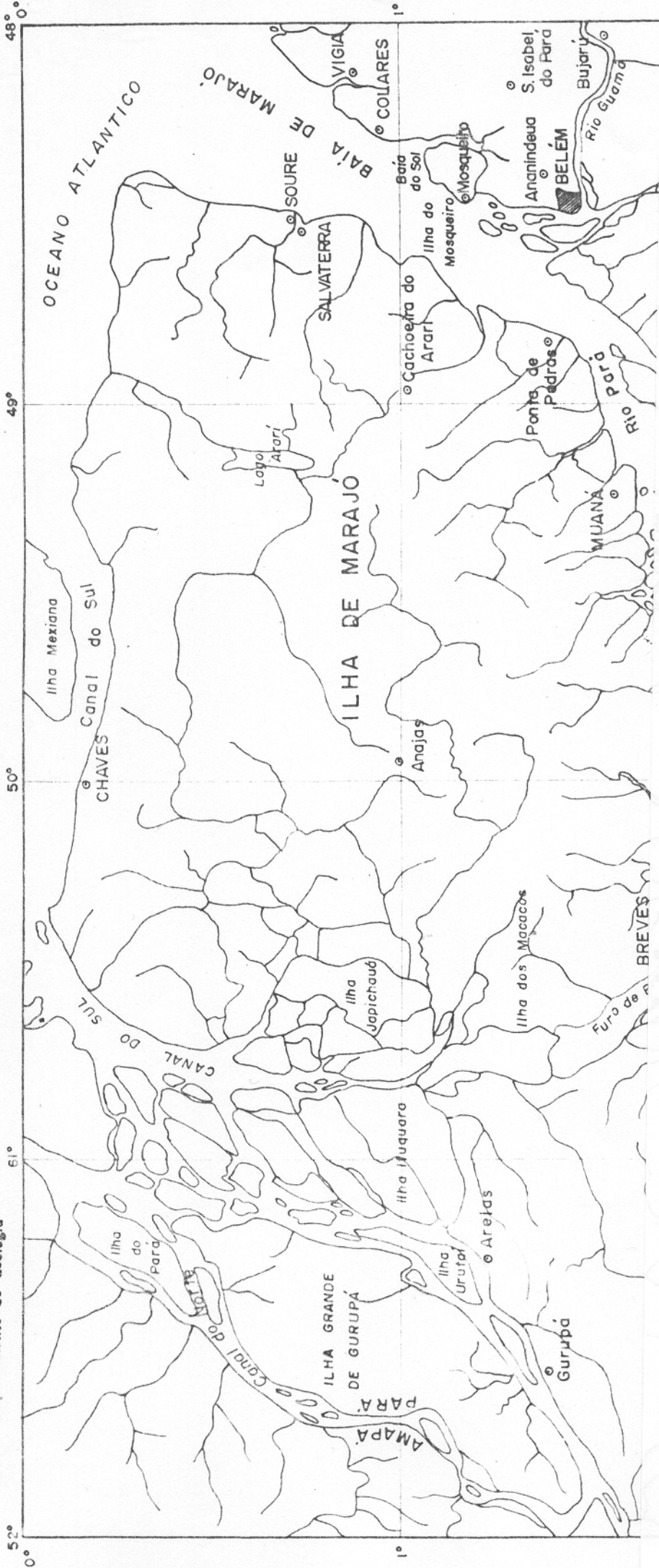


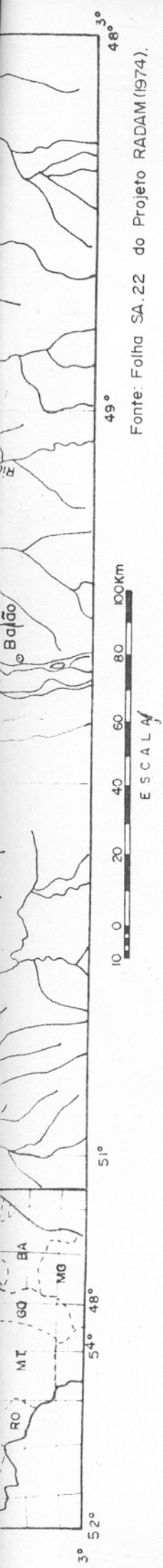
Área Estudada

Fig.1- Localização da área e das estações de medições.

Roberto Vizeu Pinheiro

UFPA - Departamento de Geologia





Fonte: Folha SA.22 do Projeto RADAM (1974).

Fig.2 - Mapa de localização do Estuário Guajará no contexto regional da desembocadura do Rio Amazonas.

te e a vazante a favor desta última, tecendo ainda comentários sobre a pororoca.

Wallace (1979) que esteve na Amazônia no período



comentários sobre a variação do nível hidrostático da região se gundo as estações de inverno e verão e as oscilações das marés.

Sobre a vida comercial da época, ressalta que "nem entram nem saem as embarcações, sem maré; para sairém po rém esperam a conjunção de águas vivas", referindo-se os pro blemas decorrentes de elevada taxa de sedimentação no estuário e seu sistema de drenagem.

Baena, A.L.M (1816) em seu Compêndio dos Eras apresenta descrição sobre o caráter pantanoso da área que hoje é ocupada pela cidade de Belém, justificando-o pela presença de vários igarapês que desciam quilômetros em dire ção à Baía do Guajará ou mesmo em direção ao Rio Guamã. A pre sença de tais igarapês era tão marcante que em 1771, o engenhei ro alemão Gaspar Gerardo Gronfelts apresentou um plano de apro veitamento destes, projetando a construção de canais artificiais que se interligariam mutuamente e, construção de um porto adequa do para a cidade. O principal destes igarapês, chamada Piry, descia do Arsenal de Marinha bifurcando-se a altura do Ver-o-Peso à esquerda do prédio da Prefeitura, atravessava a área onde fi ca atualmente o Corpo de Bombeiros e desembocava na Baía do Gua jará. Era responsável pela presença de um amplo alagadiço cha mado na época "alagadiço da Juçara" (Cruz, E. 1973a). Em 1980, Dom Marcos de Noronha e Brito (o Conde dos Arcos), mandaria a terrar definitivamente o canal do Piry para a construção de es tradas, abandonando o projeto do engenheiro Gaspar Gronfelts. (Cruz, 1973a).

Spix e Martins (1811) quando de passagem pelo estuário em 1819, descreveram sucintamente o arquipélago de pe quenas ilhas que marcam a geografia local. Além disso, referi ram-se as consequências de seus bancos e baixios e localizaram' o que atualmente se conhece como o Canal da Ilha das Onças. So bre as marés, observavam uma defasagem de uma hora entre a enche nte e a vazante a favor desta última, tecendo ainda comentários so bre a pororoca.

Wallace (1979) que esteve na Amazônia no período

de 1823 a 1913, além de descrever e explicar a pororoca, faz breves comentários sobre o fenômeno de salinização das águas estuarinas: "Nas marés altas a água torna-se salobra mesmo a montante da cidade de Belém, sendo que umas poucas milhas abaixo to da água do rio é inteiramente salgada". Wallace descreve, ainda, o sistema hidrográfico estuarino, referindo-se ao Rio Pará como apenas uma saída de água do rio Tocantins e de diversos outros cursos menores, sem fazer parte do Rio Amazonas.

Em 1826, A. D'Orbigny (1976) assinala que as rochas, próximas a Belém, "estão encobertas por uma ou duas fortes camadas de humo nos locais sêcos, e de argila nos lugares mais baixos e inundados". Este naturalista, refere-se a "depósitos de argilas coloridas (tabatinga) ou cinzentas, recobertos por uma camada de lama fluvial, mais ou menos endurecida, com espessura de até 5 pés (1,65m)", aflorando nas margens do Rio Pará e seus afluentes.

Inácio Acioli de Cerqueira e Silva, em sua "Corografia Paraense ou Descrição Física, Histórica e Política da Província do Pará", datado de 1833 (in Cruz, 1973b) registrou que a preamar nas marés de lua nova e lua cheia se dá aos 45' depois do meio dia e sobem cerca de 15 pés (4,95m), em Belém.

H.W. Bates (1944) estudando a região de Belém em 1848, refere-se a ela como sendo baixa em toda sua extensão e levemente ondulada, com alternancias entre zonas de terra seca a alagada, ressaltando as características distintas da vegetação e da fauna.

Merece citação neste apanhado histórico, a obra de Raimundo Morais, intitulada "Anfiteatro Amazônico" (in Cruz, 1973b). Nela o autor descreve sucintamente o sistema de circulação dos ventos na Baía do Guajará e em Belém: "das 4 horas da tarde em diante, principalmente no verão e sobretudo, quando a maré vaza, o vento noroeste conhecido como Marajó, varre Belém, ... Pela madrugada o vento pula para o quadrante oposto e sopra de terra, enfunando as velas que cruzam a Baía do Guajará".

Em 1882, o Presidente da Província, general Baão de Maracajá, autorizou pela primeira vez a desobstrução da área portuária de Belém. Cumprindo essa determinação, em 1886, a draga "Maracujá" e a alvarenga "Alfredo" iniciaram o primeiro serviço que se tem registro de dragagem da Baía do Guajará, (Cruz, 1973b). Essa operação iria se repetir com frequência a partir de então, ocorrendo de modo mais intensivo após a construção, concluída em 1913, do atual Cais do Porto de Belém. Referida construção, esteve intensamente ligada com o Ciclo da Borracha pois, foi através do crescimento das exportações que foram surgindo as necessidades de melhoramentos no Porto para comercialização da borracha que enriquecia os cofres da região.

Outros trabalhos de âmbito mais regional, datado do início do século, fazem referências a aspectos geológicos mais abrangentes do Estuário dentre os quais destacam-se os de Hartt (1885), Kraatz-Koschlau e Huber (1900) e Katzer (1933).

Nos últimos 30 anos poucos foram os trabalhos de cunho científico levados a efeito na Região Guajarina exetutando-se aqueles desenvolvidos pela PORTOBRÁS/MT cujos resultados encontram-se contidos nos relatórios técnicos daquela Empresa.

1.2.2- Caracterização Física

A desembocadura do Rio Amazonas, abrangendo uma área de cerca de 60.000 km², aloja um grande número de ilhas onde se sobressaem a Ilha do Marajó; Mexiana e Caviana, além de outras menores. A este agrupamento de ilhas, Carvalho (1942, in Soares, 1977) denominou "arquipélago amazônico", referindo-se especificamente as ilhas mais fronteiriças ao oceano, sofrendo marcante influência marinha. Na parte mais interna do estuário, encontra-se outro conjunto de ilhas, ao qual Le Coite (1945) denominou "delta interno", que por sua posição geográfica recebe maior influência das águas fluviais. Deste "delta interno" (fig. 2), fazem parte as ilhas dos Porcos, Grande de Gurupá, do Pará, Vieira Grande, Queimada, Mututi, Itaquara, Antonio Lemos e uma infinidade de outras de menores dimensões. Toda essa região da

desembocadura é também usualmente denominada de Arquipélago Marajoara (IDESP, 1974).

A oeste da Ilha do Marajó, separando esta do continente e definindo o conjunto de ilhas internas acima referido, ocorre o que regionalmente se conhece como "região dos furos"^{*1}, caracterizada por apresentar inúmeros canais que interligam o Rio Amazonas ao Rio Pará. Quanto a este último (Rio Pará), pode-se defini-lo como um canal flúvio-estuarino que separa a borda sul da ilha do Marajó da porção continental nordeste do Pará, representando o denominado "braço direito da foz do Rio Amazonas". (fig. 2).

Estudos de hidrografia isotópica efetuados pelo IDESP/CENA (1976, in Franzinelli, 1976) comprovam a interligação através dos "furos" de águas do Rio Amazonas com as da Baía do Marajó, posicionada na foz do Rio Pará.

São afluentes principais do Rio Pará, à direita, o Rio Anapú, que desemboca próximo do "estreito"^{*2} de Breves, o Rio Tocantins, que se encontra com o Pará na Baía de Marapatã, ainda os rios Acará Grande e Guamã. Pela margem esquerda, os rios Ararí e Camará provenientes da Ilha do Marajó.

Na confluência dos rios Acará e Guamã forma-se a denominada Baía do Guajará, localizada em frente a parte noroeste da cidade de Belém e prolongando-se até próximo da Ilha do Mosqueiro, onde se encontra com a Baía de Marajó, no Rio Pará (fig. 2). Numerosas ilhas e canais compoem a margem esquerda da Baía do Guajará, sobressaindo-se a Ilha das Onças, Jararaca, Mirim, Paquetã-Açu e Jutuba. Ao longo da margem direita segue-se a cidade de Belém e mais a norte, separadas pelos "furos" do Maguary e das Marinhas, as ilhas do Outeiro e do Mosqueiro, respectivamente (fig. 1). Com relação aos canais que entrecor

*1- Furo: tipo de canal que liga um curso d'água a outro, ou a um lago, ou ainda pela montante da foz, onde deságua. (Oliveira, 1983).

*2- Estreito: Canal que liga dois mares ou baías. (Oliveira, 1983).

tam estas ilhas, sobressaem-se por sua importância para a navegação regional, o Canal do Carnapijô, um prolongamento do Rio Acará em direção ao Rio Pará, o Canal de Cotijuba, posicionado nas imediações da ilha de mesmo nome servindo de ligação entre a Baía do Guajará e o Rio Pará, e o Canal do Piramanha que atravessa a Ilha das Onças desde confronto a Belém até o Canal do Carnapijô, em frente ao "Furo" do Arrozal.

Um aspecto importante a ser tratado, diz respeito a relação entre o Rio Guamã e seu afluente principal, o Rio Capim. Embora o Rio Capim seja considerado um tributário do Rio Guamã, conforme publicado na literatura cartográfica (ver Mapa do Estado do Pará-IDESP), uma análise da rede de drenagem destes dois rios permite concluir que o Capim representa, na verdade, o eixo principal do sistema. O correto seria portanto, admitir o Rio Guamã como afluente do Capim e este ser o curso d'água que contorna a parte sudeste e sul da cidade de Belém.

1.2.3- O Papel da Vegetação

A vegetação das margens estuarinas encontra-se fortemente condicionada aos fatores geomorfológicos, podendo-se distinguir, predominantemente, três tipos: 1) vegetação de várzea, típica de área inundável, sob controle periódico das marés; 2) vegetação de floresta densa associada aos terrenos mais elevados ditos de terra firme; 3) floresta secundárias, associadas a áreas desmatadas, ocupando uma apreciável distribuição na Região.

A vegetação de várzea domina cerca de 60% da área estudada e está intimamente relacionada aos processos de colmatção natural provocada pelas inundações nos períodos de enchente em consequência de elevada concentração de material sólido em suspensão das águas estuárias. Assim é que, pequenas variações geomorfológicas propiciam apreciáveis modificações neste tipo de vegetação. Em outras palavras, a composição florística da várzea depende fundamentalmente da relação entre o relevo e o regime de marés. Sob este domínio, são distintas desde zonas permanentemente inundáveis (igapós) até regiões mais e

levadas, ditas de várzea alta.

Nas várzeas muito baixas, associadas a áreas de deposição recente de sedimentos, predominam espécies ditas pioneiras, que segundo Lima, (1956) são marcadas pela presença quase que absoluta da aninga (Montrichardia arborescens Schott). Ocasionalmente podem ocorrer, ainda o mururé (Eichhornia azurea Kunth), canarana (Panicum elephantipes Nees) e outras, menos frequentes.

Após a implantação deste tipo vegetacional, conforme observou Huber (1902), o contínuo aporte de sedimentos provenientes das águas barrentas e a aceleração progressiva da taxa de sedimentação, auxiliada em parte pela presença das espécies pioneiras, fazem com que os sedimentos anteriormente depositados se tornem cada vez mais consolidados. Em decorrência disto, o nível topográfico tende a se elevar, condicionando, de maneira decisiva a implantação de novos tipos vegetacionais. Surgem então, o aturiã (Machaerium lunatum L.), a verônica (Dalbergia monetária Pers L.) e a mamorana (Pachira aquatica, Aubl.), em associação e mútua competição com diversas palmeiras típicas de áreas baixas. Com relação a estas últimas, Moreira (1976) e Lima (1956) citam como sendo as principais, o buriti (Mauritia flexuosa L.), o jupatí (Raphia taechigera Mart.), o ubuçu (Manicaria saccifera Gaerth) e o açai (Euterpe oleracea Mart). Associadas ainda a esta composição encontram-se comumente o ananí (Symphonia globurífera L.), a ucuúba (Virola surinamensis Warb), o Mututí (Pterocarpus amazonicus Haber), a Jarandeuca (Pithecolobium latifolium (L.) Benth.) e o anauerã (Licania macrophylla Benth).

Nos terrenos mais elevados ou gradando desde a várzea alta até a terra firme, ocorrem as florestas densas, caracterizadas, principalmente, por uma maior diversidade de espécies com predominância das dicotiledôneas (Lima, 1956). Com pondo este tipo vegetacional, destacam-se como mais frequentes, a andiroba (Carapa guinensis Aubl), o açacu (Hura crepitans L.), o cacau (Theobroma cacao L.), a Seringueira (Hevea brasiliensis Muell. Arg.), o ingá (Inga cinnamomea Benth.), o acupurana (Ba

tesia floribunda Spr. ex Bth.) a Samaúma (Ceiba pentandra (L.) Goertn) e outras, conforme cita Lima (1956).

Assim sendo, a vegetação da várzea pode ser vista como um indicativo seguro dos processos geológicos- hidrodinâmicos atuando dentro de uma reduzida e limitada escala de tempo e mesmo, de um estágio geomorfológico distinto pelo qual transita o relevo. Na área estudada, vários são os exemplos que suportam estas conclusões. Na região do Furo do Maguary e Furo das Marinhas (principalmente nas partes mais internas destes), bem como nos diversos igarapés que deságuam na Baía do Guajará e Rio Guamã pode-se verificar a presença marcante de vegetação típica de várzeas baixas recentes, indicando zonas de sedimentação atual. O avanço pronunciado da vegetação nestes casos é um forte indicativo de que estas zonas estuarinas enfrentam um estágio de colmatação atual.

Por outro lado, margens onde as águas entram em contato direto com a vegetação de várzea alta, tal como ocorre em quase toda extensão da margem leste da Ilha das Onças, e em vários pontos no Rio Guamã fica evidente a atuação de processos erosivos recentes. No Furo da Paciência, que atravessa a Ilha do Cumbú, no Rio Guamã, a interpretação de fotografias aéreas permite verificar que o curso d'água encontra-se em franca migração para SW (fig. 39). Através de traços definidos pela implantação da nova vegetação associada aos paleocanais pode-se calcular um deslocamento destes, de cerca de 900m em relação ao primeiro curso estabelecido. Ao se observar esta área "in situ", percebe-se que a margem sobre a qual o canal avança (em vias de erosão), apresenta vegetação típica de várzea alta, enquanto que a margem concordante com a posição dos canais abandonados mostra uma gradação vegetacional, desde as espécies que se adaptam a terrenos fluviais mais estáveis. A julgar pela vegetação e pela posição dos paleocanais a velocidade de migração parece ser relativamente alta.

Um último e importante aspecto a ser abordado diz respeito às áreas onde a vegetação primária foi destruída. Na área investigada, este tipo vegetacional encontra-se em

amplo desenvolvimento, especialmente nas adjacências dos sítios urbanos.

A presença abundante de ervas e arbustos heli^ofi los caracterizam esta floresta secundária que recebe a denomi nação popular de "Capoeira" (Veloso, 1945 in Japiassú e Goes Filho, 1974). Segundo Japiassú e Goes Filho, (1974) sua evolu ção inicia logo após as primeiras destruições da vegetação pri mária com o surgimento de esclerófitas, representadas pela pre sença de um número reduzido de espécies como a imbaúba (Cecropia spp.) e o lacre (Vismia spp.). Esta vegetação, após alguns anos, vai se assemelhar à floresta primitiva, passando a ser dominado por arbustos maiores, árvores e palmeiras que nascem de semen tes dispersas por variados agentes geológicos, sobressaindo-se as marés. Ainda segundo Japiassú e Goes Filho (1974), mesmo nos últimos estágios da evolução, este tipo vegetacional nunca re adquire totalmente as características próprias das florestas pri márias. Isto acontece, principalmente, em virtude das modifica ções físico-químicas e biológicas que sofre o solo durante os processos de desmatamento, quer seja do tipo devastação comple ta (queimada) quer seja pela retirada das árvores de valor eco nômico.

1.2.4- Aspectos Climáticos

A microregião onde está inserida a área estudada é caracterizada por uma marcante originalidade climática den tro da Amazônia (Penteado, 1968). Sua posição geográfica, rela tivamente próxima do Oceano Atlântico, sua baixa altitude e re levo plano e sua vegetação arbórea densa, lhe conferem caracte rísticas bem distintas daquelas comuns à Região Amazônica no seu todo.

Na área metropolitana de Belém, em particular, o clima se caracteriza por uma especial isoterminia com amplitudes térmicas menores que 2°C. É importante destacar, entretanto, que estes valores de amplitude são calculados com base nas tempera turas médias dos meses mais quentes e mais frios (Penteado, 1968). Desta forma, nas horas de maior insolação (turno vespertino) po

dem-se registrar temperaturas acima de 30°C, enquanto que pela madrugada, estas comumente baixam para 23-24°C. A figura 3a mostra as médias das variações mensais da temperatura, calculadas para o período 1960-1980, indicando, também as temperaturas médias máximas e mínimas (Brasil/SUDAM, 1984). Ainda segundo Brasil/SUDAM (1984), os resultados das médias obtidas para 1960-1980 são muito semelhantes às aquelas correspondentes ao período de 1931/1960. Observação mais acuradas permitem concluir, finalmente que para intervalos de 5 anos de medições, os valores médios da temperatura se assemelham aos dos valores de períodos mais extensos.

Quanto as condições atmosférica, destaca-se o fato da região não apresentar meses secos bem definidos, além de não existir uma repartição muito uniforme das chuvas durante os anos. O que ocorre na verdade é uma sensível diminuição mensal das precipitações a partir do mes de junho (fig. 3b), geralmente atingindo índices mínimos por volta de outubro e novembro (Brasil/SUDAM, 1984).

Dados coletados na estação do Campus Universitário do Guamã, em Belém, durante os anos de 1984 e 1985, apresentam um quadro pouco diferente daquele apontado por Brasil/SUDAM (1974) (fig. 4a). Ao se comparar os resultados constantes nas figuras 3b e 4a, observa-se que em geral registram-se na Estação da Universidade valores bem distinto das médias mensais do período de 20 anos, e que a tendência geral se manteve: Janeiro, Fevereiro e Março são sempre os meses mais chuvosos e Julho, Agosto e Setembro os de menores precipitações.

O contraste decorrente dos diferentes índices pluviométricos, relativos aos períodos "chuvoso" e "menos chuvoso", resulta do fato de que no primeiro a média atinge 23 dias chuvosos enquanto que no segundo caso é reduzido para 13 dias (Penteado, 1968). A existência de um só mínimo pluvial por ano, dá ao sistema um aspecto que se aproxima do chamado Regime Tropical. Segundo Penteado (1968), isto deve ser visto, entretanto, como uma variação do regime pluvial definindo um microclima caracterizado pela ausência de amplitudes térmicas capazes de di

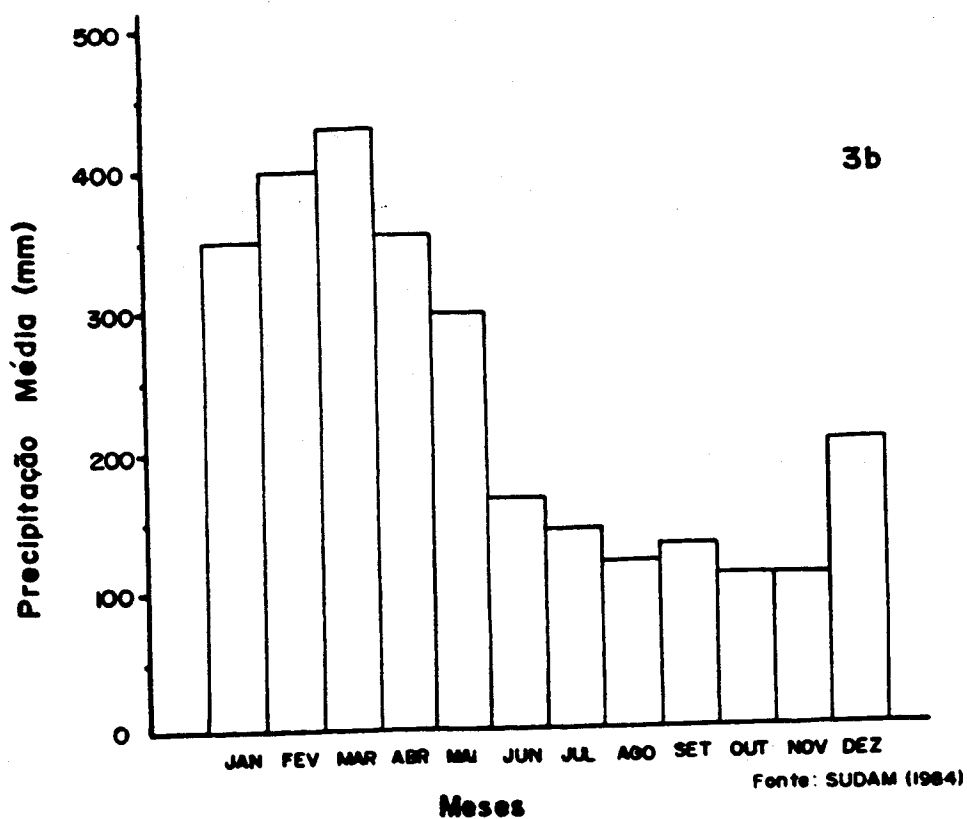
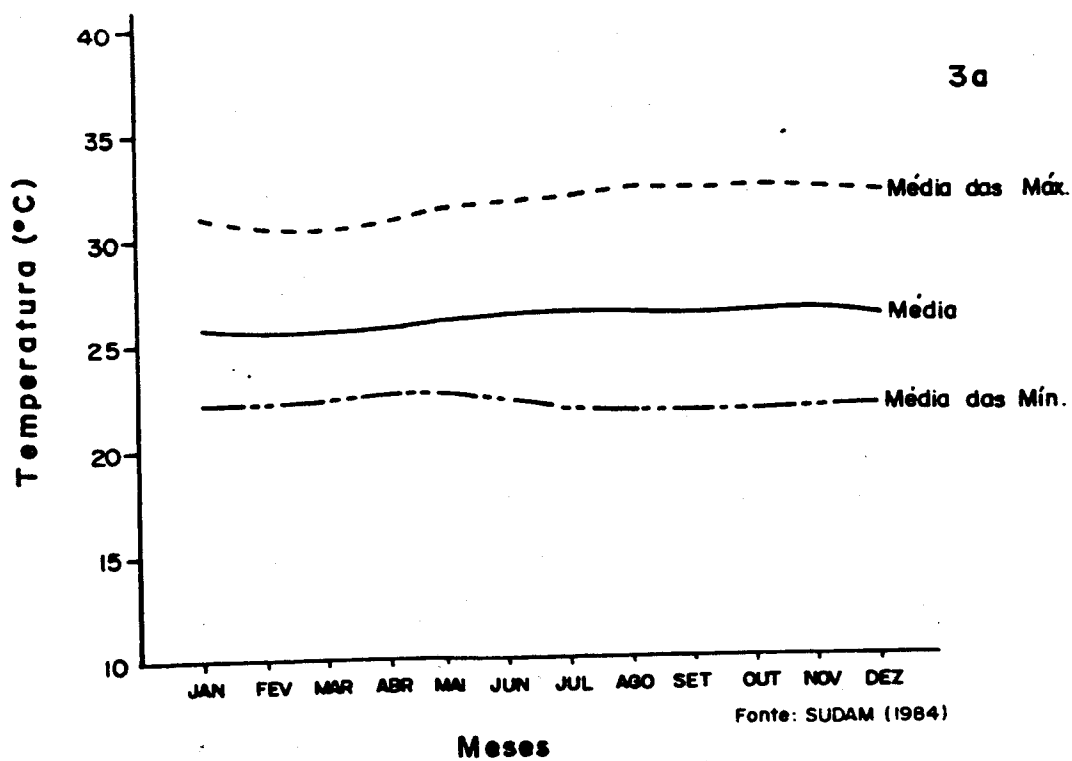


Fig. 3 - Variações mensais médias da temperatura (3a) e precipitação pluviométrica (3b) no período 1960-1980 para Belém.

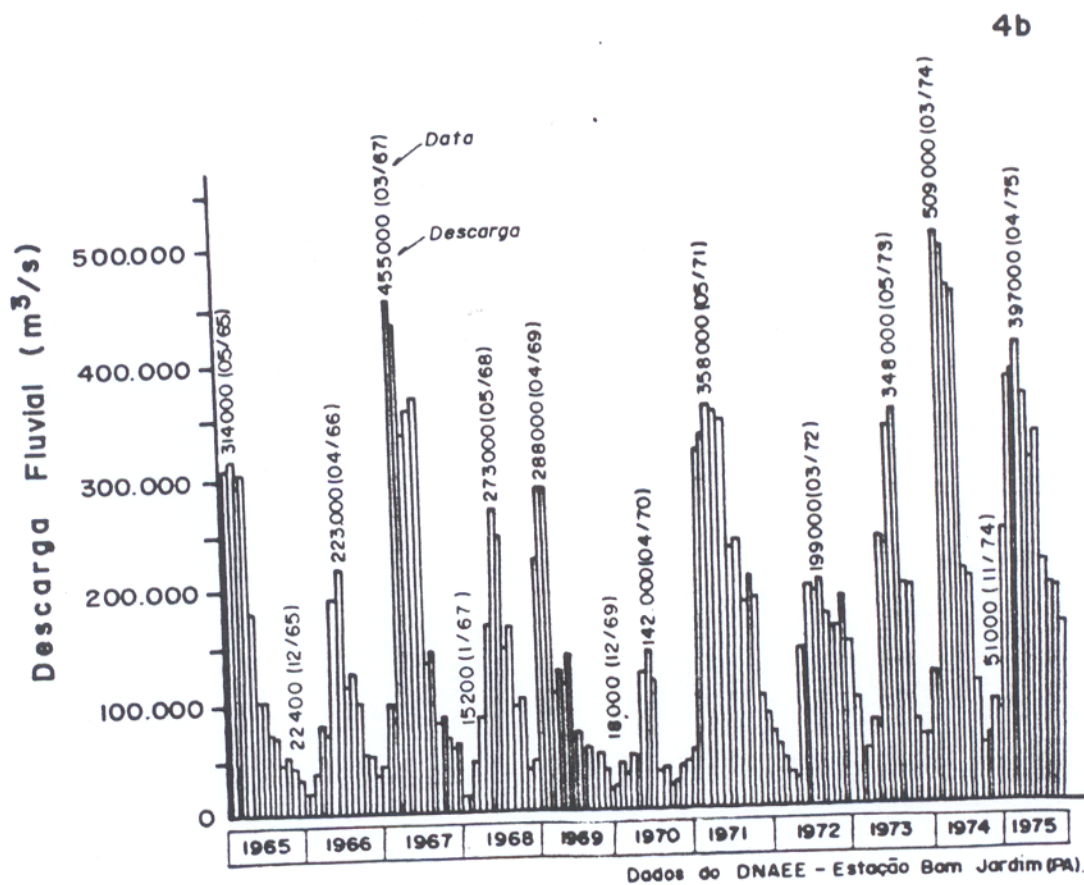
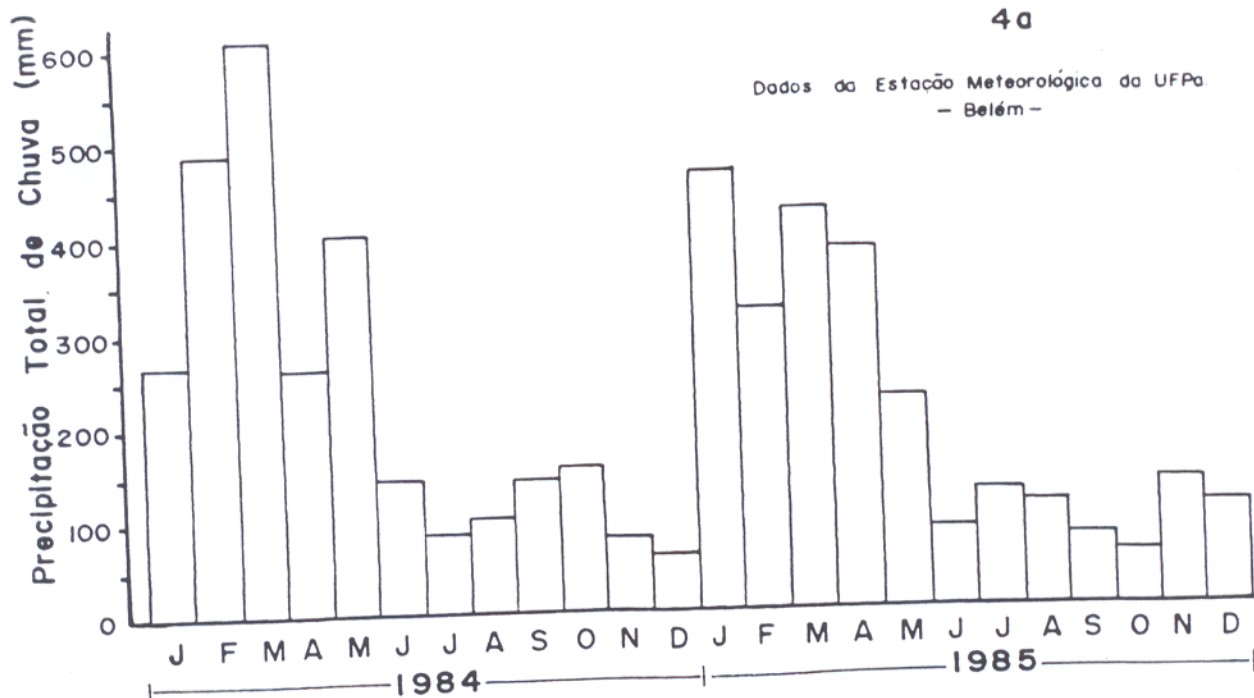


Fig. 4 - Variações mensais médias da precipitação pluviométrica entre 1984 - 1985, em Belém (4a) e variação da descarga do Rio Guamá para o período 1965/75 na estação Bom Jardim (PA).

vidir o ano em estações distintas.

O regime das chuvas exerce uma grande influência sobre os rios da região, que por sua vez interferem particularmente no Estuário Guajará. A figura 4b, apresenta um gráfico de variação da vazão do Rio Guamã, para o período de 1965 a 1975, obtido a partir de dados coletados pelo DNAEE na Estação Pluviométrica Bom Jardim, localizada no rio Guamã a montante de Belém, cerca de 150 km. Verificou-se naquela localidade, que os valores de vazão oscilaram consideravelmente, com os máximos ocorrendo nos meses de março, abril e maio, coincidindo com o período do final da estação chuvosa na região. A vazão máxima, absoluta, para o período observado ocorreu em 14 de março de 1974, quando foi observada uma vazão de 509.000 m³/s. A média oscilou em torno de 146.000 m³/s, durante o período observado.

Com relação, ainda ao microclima da Região Guajarina, um aspecto importante diz respeito a distribuição das chuvas locais, segundo Carvalho (1917), são comuns precipitações pluviométricas, ditas de convecção, trazidas pelos ventos NE sobre a Baía do Guajará e ilhas adjacentes enquanto pouco mais para o interior do continente o sol brilha sem nenhuma influência destas.

A umidade relativa do ar apresenta-se sempre superior a 82% favorecendo a formação de chuvas de convecção, que ocorrem geralmente após a insolação máxima, durante a tarde ou princípio de noite.

Em resumo, o clima da região estuarina do Guajará, pode ser classificado como um clima quente úmido, sem inverno, com baixas amplitudes térmicas e sem estação seca muito bem definida, podendo ainda, ser comparada ao tipo Afi de Köpen.

1.3- A Bacia Hidrográfica Amazônica

1.3.1- Hidrodinâmica e Transporte Sedimentar do Rio Amazonas

A Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas abrange uma

área total de cerca de $7 \times 10^6 \text{ km}^2$, reconhecidamente uma das maiores da Terra.

O clima equatorial quente e úmido com abundantes precipitações controla de maneira decisiva a descarga do Rio Amazonas, que em Óbidos, a cerca de 800Km a montante da desembocadura, alcança valores médios em torno de $1,75 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{s}$; (Gibbs, 1967). Embora os afluentes do Rio Amazonas, no extremo oeste de sua bacia hidrográfica apresentem contribuições nival andina, seu sistema de drenagem está condicionado, indubitavelmente, ao regime pluvial da Região Norte, que por sua vez depende do comportamento geral da atmosfera dentro da Zona Intertropical Sul-Americana (Soares, 1977).

A alternância de períodos chuvosos na parte meridional da Bacia Amazônica e na parte setentrional, garante a alimentação diferenciada dos rios das respectivas vertentes norte e sul, tendo como principais responsáveis os deslocamentos anuais a que está submetida a Massa Equatorial Continental. Desta maneira, em outubro-novembro (verão austral) ocorre a subida do nível das águas nos afluentes meridionais, enquanto que nos afluentes setentrionais, esta ocorre entre abril e maio (verão boreal). Estas enchentes muitas vezes prolongam-se por até 3 a 4 meses. Quando ocorre uma antecipação ou prolongamento das enchentes, quer na vertente norte, quer na sul, dá-se o chamado "fenômeno da interferência", responsável pela subida extraordinária das águas do Rio Amazonas em quase toda sua extensão.

No baixo curso, o nível do Amazonas chega a subir 5 a 7m acima do nível do mar, com seu pico de subida ocorrendo geralmente entre março/abril (Soares, 1977).

O volume de água doce descarregado pelo rio Amazonas, principalmente nos períodos de enchente, além de provocar variações sazonais marcantes no nível d'água geral da bacia

cia, é responsável, ainda, por fortes alterações nas propriedades físico-químicas das águas da região estuarina, chegando mesmo a impor características próprias no ecossistema marinho (Diégues, 1972; Gibbs, 1970; Ryther et al.; 1967; Nittrouer e DeMaster, 1986; Gibbs e Konwar, 1986; Curtin, 1986).

Segundo a classificação apontada por Sioli (1968) os rios da Bacia Amazônica podem ser subdivididos em: a) Rios de "água branca"; b) rios de "água preta" e c) rios de "água clara"; com base na quantidade do material em suspensão e no conteúdo das substâncias em estado coloidal.

A elevada taxa de sedimentos em suspensão dos rios de "águas brancas" tal como o Amazonas, se deve a ação erosiva de suas correntes sobre as margens e à aquela provocada por seus afluentes e sub-afluentes (Sioli, 1968). As mais recentes estimativas da taxa de descarga de partículas em suspensão nas águas do Amazonas mostram valores de ordem de $11-13 \times 10^8$ ton/ano, com um fator 6 de diferença entre a taxa de descarga máxima e mínima anual (Nittrouer e DeMaster, 1986). Aproximadamente 85 a 95% dos sedimentos transportados em suspensão neste rio está na faixa da granulometria silte e argila (Gibbs, 1967). Estes sedimentos, em concentrações na água em torno de 100-400 mg/l (Curtis et.al., 1979 e Meade et.al., 1979), são compostos predominantemente por quartzo, caulinita, illita, montmorilonita e feldspatos, que em grande parte (>80%), são provenientes dos Andes (Gibbs, 1967).

Os sedimentos de granulometria areia transportadas pelo Amazonas, são encontradas, no fundo principalmente próximas da foz, comumente formando ondas com 4 a 5m de altura e comprimento entre 110 e 200m (Nordin e Meade, 1985 in Nittrouer e DeMaster, 1986). Segundo Franzinelli e Potter (1983) a medida que se aproxima da desembocadura, ocorre um aumento relativo no conteúdo de quartzo e uma diminuição de minerais pesados instáveis nos sedimentos das margens e aluviões do Amazonas.

Com respeito a concentração de componentes químicos dissolvidos, registra-se na Bacia Amazônica uma média

Segundo Diéguas (1972), a distribuição superficial da salinidade na desembocadura do Amazonas está condicionada em grande parte pelas variações na descarga deste, ou seja, da dicotomia enchente-vazante, sofrendo ainda influência das fortes correntes marinhas atuantes. Este mesmo autor baseando-se em perfis verticais de salinidade, reconhece o Estuário Amazônico como moderadamente estratificado, segundo a classificação de Stommel (1951). Curtin e Legeckis (1986), mediram em 1983 durante os períodos de maiores descargas do Rio Amazonas, na plataforma, concentração de material em suspensão da ordem de 200 mg/l predominando nestas, partículas de tamanho médio 4 μ m. A cerca de 25 km da desembocadura, ainda em 1983, foram encontradas altas concentrações, na faixa de 50-200 mg/l. Essa taxa decai rapidamente em direção ao mar atingindo 10mg/l a 100 km da foz do Amazonas devido ao processo de coagulação trazida pelo aumento da salinidade (Milliman et al, 1975; DeMaster et al. 1983 in Nittrouer e DeMaster, 1986). Nittrouer e DeMaster (1986), observam que podem ocorrer eventos de alta turbidez das águas, em períodos de 7 a 10 dias, devido a aumentos relativos na taxa de descarga dos rios, ou mesmo devido a processos de ressuspensão.

Com relação ao material sedimentar acumulado na Plataforma Continental Norte, são comuns as ocorrências de lamas fluídas com estruturas laminadas, intercaladas com areias (Kuehl et al. 1986). Mapas qualitativos e quantitativos de distribuição de sedimentos nesta região tem sido apresentados por diversos autores, dando ênfase dos mais variados aspectos (Pomerancblum, e Costa, 1972a; Milliman et al. 1975; Kuehl et al, 1986 e outros).

As taxas de acumulação de sedimentos na plataforma adjacente ao Amazonas apresentam variações sazonais e locais, oscilando de nula, próximo a costa, até valores máximos de 10 cm/ano e 25 cm/ano nos locais mais distantes, com uma acumulação anual total cerca de 6×10^8 ton/ano de sedimentos (Kuehl et al, 1986).

2- METODOLOGIA

2.1- Princípios Gerais

A coleta de dados e de amostras de água e sedimentos foram procedidas, quase sempre, numa relação direta com os diversos ciclos associados a dinâmica do estuário, quais sejam :

- a) Ciclo Sazonal, definido pelas variações climáticas entre inverno chuvoso/verão menos chuvoso, com período de aproximadamente 6 meses.
- b) Ciclo Lunar, abrangendo as marés de "águas vivas" ou sizígia (Lua Cheia e Nova) e de "águas mortas" ou de quadratura (Lua de Quarto Minguante e Crescente), com período em torno de 14 dias.
- c) Ciclo de Marés, caracterizado pelas oscilações entre preamar e baixa-mar, com período de cerca de 12 horas e 25 minutos.

As etapas de amostragens e medições foram realizadas de modo a que fosse possível caracterizar cada período acima, reunindo suas principais diferenças e afinidades, e, ao mesmo tempo, obter uma maior representatividade para o conjunto de dados.

2.2- Estudos dos Ventos e das Ondas

Os dados relativos a velocidade e direção do vento foram obtidos em registros coletados na Estação Meteorológica da Universidade Federal do Pará (Belém).

As medidas de períodos e altura das ondas foram realizadas "in situ", na Baía do Guajará a um ponto aproximadamente equidistante de suas margens (fig. 1), em frente a Usina de Miramar. As alturas das ondas foram estimadas visualmente. Para o cálculo dos parâmetros L (comprimento de onda) utilizou-se o Ábaco de Bonnefille que relaciona L com a profundidade (d) e

o período (T). As profundidades de 5, 10 e 15m foram escolhidas com base na carta batimétrica da Baía do Guajará enquanto que as medidas de período (T) foram tomadas com o auxílio de um cronômetro, sendo, posteriormente, tratadas estatisticamente por médias simples. Os demais parâmetros, celeridade (C), velocidade de grupo (C_g), velocidade máxima próximo ao fundo (V_{mf}) e a declividade de onda (D) foram calculadas de acordo com equações propostas por Airy para a Teoria Linear de Ondas.

2.3- Estudo das Marés

2.3.1- Maré Dinâmica

Os dados de propagação, amplitudes e movimentos de massa d'água, incluindo as correntes de marés, foram obtidos, em grande parte, durante os levantamentos bibliográficos. Ressalta-se que os dados de amplitude de marés foram extraídos de maregramas da PORTOBRÁS/Companhia de Docas do Pará (CDP), obtidos no marégrafo localizado na margem direita da Baía do Guajará, no extremo norte do Cais do Porto (fig. 1). Cabe comentar que o nível de redução adotado pelo Departamento de Hidrografia e Navegação (DHN), no Porto de Belém, situa-se a 0,4565m abaixo do zero hidrográfico apontado pelo marégrafo da PORTOBRÁS/CDP, conforme informações obtidas junto ao 1º Distrito de Levantamento Geodésico do IBGE.

Com relação aos dados correntométricos, foram utilizados aqueles fornecidos pela PORTOBRÁS/INPH/DIDELE no relatório "Medições de Correntes e Material em Suspensão junto ao Porto de Belém-Pará" de 1980. Parte destes dados foram retrabalhados e reinterpretados em conjunto com as novas informações levantadas.

2.3.2- Maré Salina

A penetração da salinidade no estuário foi avaliada através de medidas de condutividade, uma vez que os valores muito baixos ($< 0,50\%$) não permitiam boa precisão das leituras em salinômetro / condutivímetro convencional, tal como o

empregado neste trabalho, de marca YSI (Yellow Springs Instruments Co. Inc.), modelo 33 com precisão de até 2,5 μ hos/cm para a condutividade e 0,5% para a salinidade.

As correlações entre os dados obtidos basearam-se no gráfico salinidade X condutividade ampliado, fornecido pelo fabricante do referido instrumento (fig. 5). Para algumas medidas, que apresentaram valores altos de condutividade, foram feitas, também, determinações de cloreto pelo Método Mercurimétrico, a partir da água coletada para estudo do material em suspensão.

2.4- Estudo dos Parâmetros Físico-Químicos

As medidas de variação do pH, condutividade, salinidade, temperatura e teor de oxigênio dissolvido na água, foram obtidas de hora em hora, a 1m da superfície e a cerca de 2-3m do fundo, acompanhando, sempre que possível, um ciclo completo de maré.

As campanhas para levantamento destes dados repetiram-se em duas marés de sizígia e em duas marés de quadratura, durante o período de estiagem (verão) e durante o período chuvoso (inverno), respectivamente. Para o monitoriamento das medidas montou-se uma estação de coleta, situada em frente a Usina de Miramar da CELPA, próximo a boia de sinalização nº 4 (Fig. 1).

As medidas de concentração de O_2 dissolvido na água foram feitas com um aparelho marca YSI, modelo 57, com precisão de 0,5mg/l. Os valores de pH e temperatura da água foram tomados "in situ", com um aparelho marca WTW (Wissenschaftliche Technische Werkstätten), modelo pH 91, com precisão de 0,01 para os valores de pH e 0,1°C para a temperatura.

O levantamento da distribuição da condutividade obteve-se a partir de 70 medidas pontuais, num intervalo de 3 horas, utilizando-se o condutivímetro acima citado. A localização dos pontos de medidas foi feita considerando diversos aci

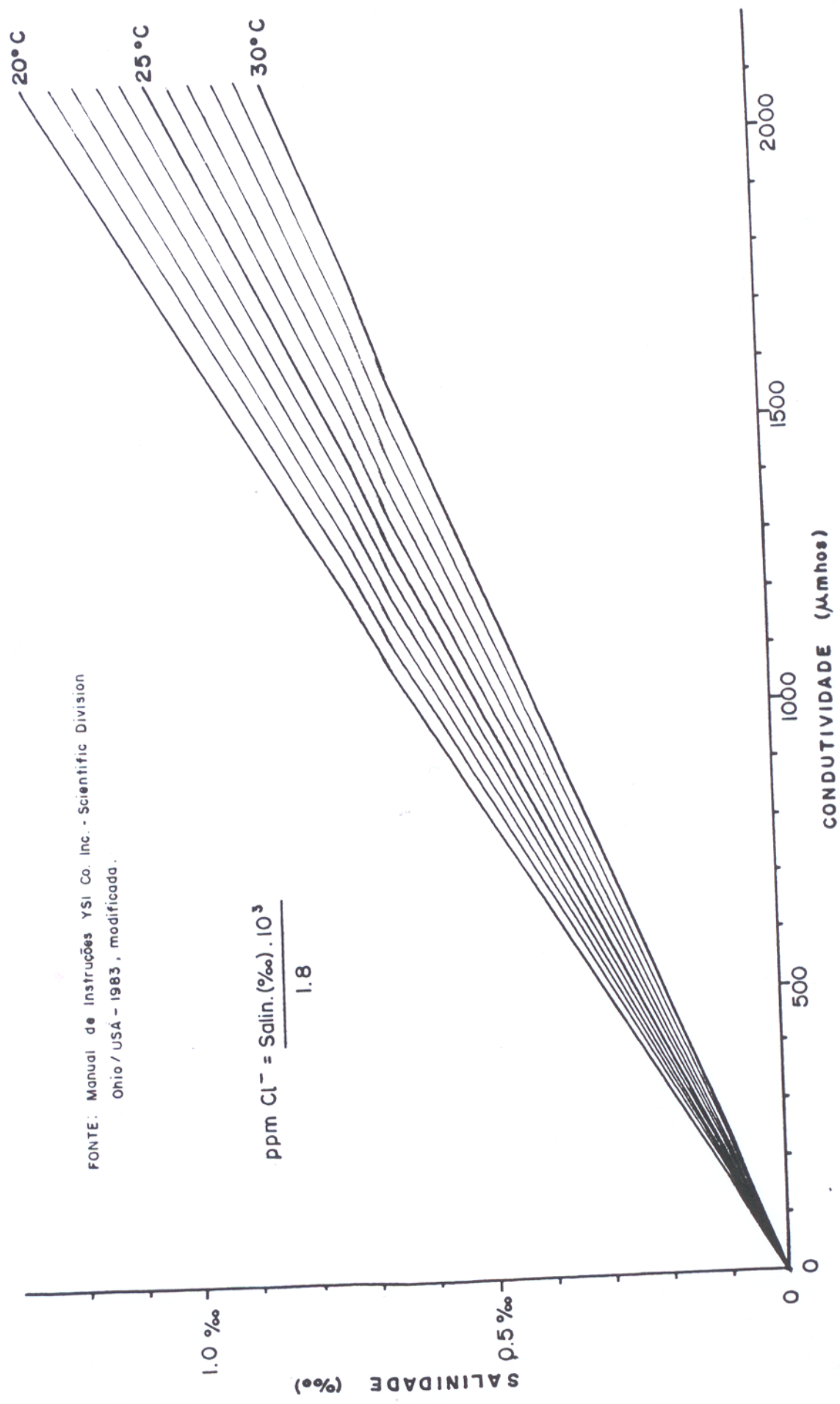


Fig. 5 - Carta de calibração salinidade (‰) - condutividade (μmhos).

dentes de referências existentes nas margens do estuário.

2.5- Estudo dos Sedimentos do Estuário

2.5.1- Sedimentos em Suspensão

As amostras para estudo dos sedimentos em suspensão foram obtidas conjuntamente com os dados relativos aos parâmetros físico-químicos, nos mesmo pontos e obedecendo as mesmas periodicidades e datas.

A cada hora, durante um ciclo de maré, foram coletadas duas amostras de 1 litro cada: uma na superfície da água e outra aproximadamente a 3m do fundo. Para a amostragem na superfície utilizou-se um frasco com volume aproximadamente igual a amostra desejada. Para a outra coleta foi utilizada uma bomba de sucção acoplada a uma mangueira de 1 polegada de diâmetro, cuja extremidade inferior era mantida na profundidade desejada por meio de um contrapeso. No caso desta última, tomou-se o cuidado de coletar a amostra somente após 2 minutos de bombeamento da água, para se garantir a completa substituição da mesma, retida na mangueira.

No laboratório procedeu-se como descrito a seguir:

- 1- As amostras, ainda nas garrafas, foram submetidas a ultrassom por 2 minutos, a fim de liberar as partículas aderidas às suas paredes e, mesmo, desagregá-las; em seguida foram homogeneizadas por agitação manual, por 3 minutos, para finalmente, retirar-se uma alíquota de 100ml por amostras para a filtragem. Em alguns casos a matéria orgânica foi eliminada com H_2O_2 .
- 2- A filtragem das alíquotas foi feita com cadinhos com placa porosa fixa, de porcelana, formato "Gooch" marca Schott/Mainz - Jena - Glas 2D4, com capacidade de 30ml e diâmetro médio dos póros entre 5-10 μ m (Vogel,

1961). Cada cadinho filtrante foi acoplado a um kitasato de 1.500 ml, através da boca, com um anel vedador de borracha. Ao kitasato acoplou-se uma mangueira ligada a uma trompa, que funcionando com o auxílio de uma torneira aberta, provocava sucção na membrana do filtro, auxiliando e agilizando o processo de filtração.

Para este procedimento, cada cadinho, antes de ser usado, foi colocado em dessecador por cerca de 3-4 horas e, posteriormente, pesado em balança analítica com precisão de 1×10^{-3} g. Após a filtragem, o cadinho foi seco em estufa a 60-80°C, por 4 horas, sendo em seguida colocado no dessecador por 3-4 horas e novamente pesado. A determinação da concentração do material retido no filtro foi feita empregando-se a fórmula fornecida pela CETESB (1978):

$$\text{Conc. em mg/l} = \frac{(M2 - M1) \cdot 1000}{\text{Vol. da amostra filtrada em ml.}}$$

sendo M1 o peso inicial do cadinho, em gramas, e M2 o peso do mesmo, após a filtragem. Para a reutilização dos cadinhos estes foram lavados no ultrassom e em seguida fervidos em HCl diluído por 30 minutos.

- 3- Para os estudos mineralógicos foram selecionadas entre 4 e 7 amostras por grupo correspondente a cada ciclo de maré de uma determinada época. O material usado para identificação dos minerais argilosos foi concentrado a partir de 900ml de amostras empregando-se cilindros de Atterberg, sendo o produto final seco em estufa a 50°C. A separação das lâminas para a identificação dos argilo-minerais seguiu a técnica "pipette-on-glass slide", em concentração de 3,5mg / cm³. A determinação dos minerais foi feita através de difratometria de raio-x, utilizando-se um aparelho Philips, modelo PE 1050/80, com válvula de cobre, e seguindo-se as tabelas e dados de Brown (1961) e Thorez (1976).

2.5.2- Sedimentos de Fundo

A coleta de sedimentos de fundo foi realizada com um amostrador de arrasto, semelhante a conhecida draga de Gibbs, com adaptações especiais visando aumentar seu rendimento em condições de correntes fortes e em fundos mais duros. A localização dos pontos de amostragens foi feita por aproximação, diretamente no estuário, a partir de pontos de referência salientados nas cartas disponíveis.

Após a coleta e a respectiva descrição macroscópica, as amostras foram submetidas aos seguintes tratamentos de laboratório:

- 1- Com amostras mistas, contendo argila-silte-areia, a obtenção de cada fração seguiu métodos rotineiros : secagem e separação de 100g da amostra; desagregação, lavagem e peneiramento via úmida, com peneira de 0,062mm para separação das frações silte+argila; secagem e pesagem da fração areia; separação da fração silte da argila por centrifugação durante 2 minutos e 6 segundos a 1.000 rpm; secagem e pesagem das três frações obtidas e posterior cálculo em peso dos respectivos valores percentuais.
- 2- No caso das amostras argilosas, a concentração da fração, argila foi feita por centrifugação a 3.000 rpm durante 10 minutos. A preparação de lâminas para identificação dos argilo-minerais por difração de raio-x obedeceu a mesma metodologia anteriormente descrita (técnica "pipette-on-glass-slide").
- 3- As amostras essencialmente arenosas foram tratadas seguindo a metodologia convencional proposta na literatura (Müller, 1967, Suguo, 1973; Carver, 1974), qual seja, lavagem inicial, secagem e peneiramento das subfrações da classe areia. Dentre os gráficos utilizaram-se as curvas acumulativas para obtenção dos percentuais e cálculo dos parâmetros estatísticos se

guindo as fórmulas propostas por Folk e Ward (1957) .

- 4- As observações morfoscópicas de areia foram feitas com o intervalo de 0,250-0,125mm, sob lupa binocular, tendo-se submetido os grãos a tratamento prévio em ultrassom e dictionito de Na para limpeza dos mesmos. A técnica usada foi de comparação visual direta a partir de padrões apresentados por Power (1953; in Pettijohn et.al. 1972) .

Das frações 0,250-0,125mm e 0,125-0,062mm foram separados os minerais pesados utilizando-se bromofórmio ($d = 2,85$) como líquido denso. Após a eliminação dos minerais magnéticos com imã foram montadas lâminas permanentes utilizando-se Bálsamo do Canadá como meio de fixação e imersão dos grãos.

Com auxílio do microscópio petrográfico, foram identificados os minerais pesados sendo que para a análise quantitativa foram contados em média 200- 300 grãos por lâmina. Para a identificação dos minerais pesados utilizou-se o guia e as tabelas apresentadas por Schnitzer e Faria Jr. (1980).

2.6- Elaboração da Base Cartográfica

O estudo morfológico do estuário foi feito a partir da confecção de carta batimétrica detalhada, da Baía do Guajará e do Rio Guamã. Para a elaboração desta foram usados os dados apresentados na carta nº 320 do DHN (1982, fig. 6) em escala 1:15.000, corrigida até março de 1985, com os quais foram traçadas curvas com intervalos regulares de 1m. As reduções até a escala 1:60.000 foram feitas com fotocópias.

Fotografias aéreas, em escala 1:40.000 de posse da SEPLAN/PA, obtidos em levantamento de Outubro e Novembro de 1977 e imagens de radar na escala 1:100.000 do Projeto RADAM (1972) serviram, também, como referências para a elaboração da base cartográfica.

3- ANÁLISE HIDRODINÂMICA E FÍSICA DO ESTUÁRIO GUAJARÁ

3.1- Batimetria

A partir dos dados de sondagens batimétricas apresentadas na carta nº 320 da DHN, na escala 1:15.000, foram traçadas curvas batimétricas complementares obedecendo a um intervalo de contorno de 1m, resultando na carta de detalhes, reduzida para 1:30.000 mostrada na figura 6. Em alguns locais, devido a proximidade das curvas, algumas delas foram suprimidas visando dar maior clareza para leitura.

O estudo da carta batimétrica para o estuário revelou a presença de três zonas morfológicas distintas quanto a suas feições principais: Alto Fundo da Baía, Zona do Canal Principal e Barra do Guajará-Açu.

3.1.1- Alto Fundo da Baía

Esta zona pode ser definida a partir das isóbatas menores que 10m que distribuem-se contornando toda a borda leste da Baía do Guajará, abrangendo uma área limitada a um raio de cerca de 2-3km distante da cidade de Belém e adentrando no Rio Guamã (fig. 6, em anexo).

Caracteriza-se por apresentar bancos e canais não muito profundos, dispostos subparalelos entre si e em relação as margens. Três bancos principais destacam-se nesta zona. O primeiro e maior de todos acompanha a margem direita do estuário na confluência da Baía do Guajará com o Rio Guamã e contorna o litoral sul da cidade de Belém. Apresenta cerca de 7km de comprimento por 1,2km de largura na sua porção mais pronunciada, localizada logo à entrada do Rio Guamã. Ao que tudo indica é consequência da quebra da energia das correntes de enchente que transitam inicialmente pela margem direita da Baía do Guajará encontrando as correntes de final de vazante do Rio Guamã.

Os outros dois bancos se sobressaem com profundidades menores que 3m e são denominados Banco do Meio e Banco

da Cidade, dispostos paralelamente a fachada de Belém desde a direção da Catedral até poucos metros além do Cais do Porto. O Banco do Meio, com 3,5km de comprimento por 1km de largura, está posicionado no eixo central da Baía do Guajará, tendo na sua parte mais rasa menos que 1m de profundidade. Separado deste pelo Canal do Meio, na altura do Cais do Porto, ocorre o Banco da Cidade com cerca de 2km de comprimento e 400m de largura.

Estes dois bancos se mantêm provavelmente devido as correntes de início de enchente que correm pela margem direita da Baía, indo encontra-se quase frontalmente com as correntes de final de vazante que descem do Rio Guamã, encaminhando-se para as margens côncavas da ilha das Onças e deflexionando-se posteriormente em direção ao Banco do Meio.

O Canal do Meio estende-se desde a foz do Rio Guamã, seguindo na direção norte por vários quilômetros, até além da Ilha da Barra, passando entre esta e a margem direita da Baía. Este canal está associado principalmente ao fluxo de enchente das marés não sendo excluída a influência das correntes de vazante quando definitivamente implantadas. O Canal do Porto com pouco mais de 1km de extensão está localizado entre o Banco da Cidade e o Porto de Belém, constituindo-se num local de constantes dragagens que objetivam mantê-lo com profundidades de 5 a 7m, tornando possível o movimento de navios.

Seguindo pela margem direita da Baía, a partir da Base Aérea de Val-de-Cans ocorre uma topografia de fundo bastante irregular composta de canais estreito descontínuos, com depressões isoladas de até 10m de profundidade e áreas mais elevadas onde é comum a presença de blocos rochosos.

3.1.2- Zona do Canal Principal

Caracteriza-se pela presença do denominado Canal da Ilha das Onças que representa a principal feição desta zona da Baía do Guajará. Este canal com em média 1km de largura e profundidades na faixa de 10 a 17m, constitui-se, claramente, na continuação do talvegue do Rio Guamã que acompanha sua mar

gem esquerda, deflexionando a partir de sua foz para a direita e estendendo-se por todo o litoral oriental da Ilha das Onças.

Deve ser ressaltado que o fundo deste canal é marcado por depressões que variam de profundidade entre 11 e 25m (fig. 6). Desde o Furo da Paciência na Ilha do Cumbú, no Rio Guamã, até a confluência deste com o Rio Guajarã-Açu, observa-se a sequência destas depressões, as quais seguem continuamente o eixo do canal, mantendo-se numa distância que diminui progressivamente em direção a Ilha das Onças, associadas a zonas de interferência de correntes em regime turbilhonar.

3.1.3- Barra do Guajarã -Açu

Esta feição é definida por um extenso baixio, com cotas inferiores a 5m de profundidade e mais de 6km de comprimento, que avança da confluência dos Rios Guamã e Guajarã-Açu, acumulando-se em direção ao Canal da Ilha das Onças. Referida feição tem prolongamento até próximo a saída do Furo Cavado.

3.1.4- Evolução Morfológica do Estuário

As discursões aqui incluídas resultam da análise das principais modificações morfológicas ocorridas no Estuário Guajarã, identificadas a partir de comparações entre as cartas batimétricas de 1843, 1959 e 1978, apresentadas por Santos (1982) e a carta nº 316 da DHN corrigida até agosto de 1985 (fig. 7). Ressalta-se que a Catedral de Belém foi usada como ponto de referência nesta análise, visto estar presente em todas as cartas analisadas.

a) Carta Batimétrica de 1843

Observa-se a existência de dois longos canais, um pela direita, vindo de juzante até cerca de 5,5km da Catedral, com profundidade de 10m e outro, pela margem esquerda, saindo do Rio Guamã e acompanhando a margem da Ilha da Onças (fig.7a).

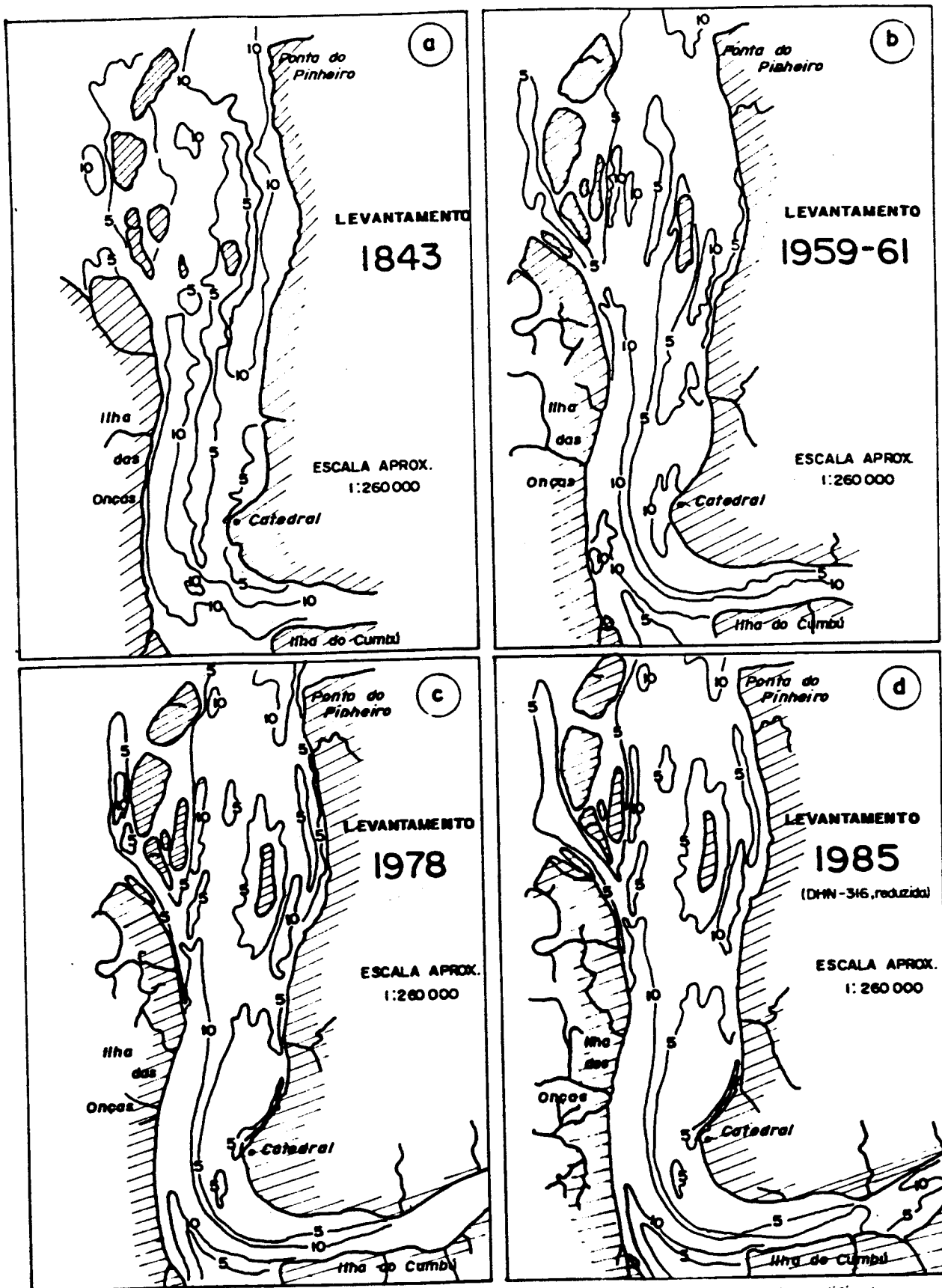


Fig. 7- Cartas batimétricas do Estuário Guajará referentes aos anos de 1843¹⁸⁴³ (a), 1959-61 (b), 1978 (c) e 1985 (d).

Separando estes canais ocorre um único banco alongado, com 16km de extensão, iniciando na desembocadura do Guamã e estendendo-se até aproximadamente 3km antes da Ponta do Pinheiro.

Junto a margem direita e próximo a Belém na Baía do Guajará as profundidades são inferiores a 5m, o mesmo acontecendo próximo a desembocadura do Guamã.

Comparando-se a fisiografia de 1843 com a nomenclatura cartografia atual pode-se distinguir o Canal da Ilha das Onças, o Banco do Meio (com 16km de comprimento envolvendo o correspondente atual e prolongando-se para além da Ilha de Barra), O Canal do Meio e o Banco da Cidade, ainda adjacente a margem.

Pela configuração fisiográfica, Santos (1982) aceita o raciocínio de que no canal da esquerda predominavam correntes de enchente.

b) Carta de 1959

O canal da margem direita, registrado na carta de 1843, desapareceu permanecendo somente uma depressão com 3,5km de comprimento, posicionada a 7km ao norte de Catedral (fig. 7b).

O Banco da Cidade, ainda encaixado na margem de Belém, cresceu para o centro da Baía, na direção do Banco do Meio, unindo-se a este e compondo uma só feição. Restou apenas uma área depressiva com cotas maiores que 5m, em frente a Catedral, com forma irregular, alongada no sentido N-S, com aproximadamente 3,3km de extensão.

O Canal da Ilha das Onças estreitou-se, principalmente próximo a curva de saída do Rio Guamã.

A ponta norte de Banco do Meio destacou-se deste, devido a formação de um estreito canal com profundidades entre 5 a 10m.

acima discutida depende, diretamente, da precisão com que os dados, das referidas cartas, foram levantados e trabalhos. Este questionamento pode mesmo por em dúvida as conclusões aqui apresentadas principalmente para as cartas mais antigas. As modificações incluídas nos levantamentos mais recentes podem ser, também, consequência de uma maior precisão da metodologia empregada.

A princípio é provável que a evolução da técnica de levantamento e confecção das cartas hidrográficas se sobreponha à própria evolução morfológica do estuário. Nas duas últimas cartas, a semelhança dos dados apresentados pode ser decorrente da falta de novos levantamentos na área. As modificações registradas estão restritas a locais de maior importância para a navegação, onde os levantamentos são feitos com maiores detalhes.

3.2- Estudo dos Ventos e das Ondas na Baía do Guajará

De acordo com os dados obtidos na Estação Meteorológica da UFPa-Belém, dois conjuntos principais de ventos predominantes atuam na área estudada. Estes conjuntos mantêm direções variando entre N-NE e ENE-ESE, respectivamente e velocidades médias mensais sempre em torno de 2 a 4 nós. (Tab. 1 e fig. 8).

De janeiro a maio de 1985 predominaram ventos do quadrante N-NE seguidos por ventos ENE-ESE. De junho a dezembro daquele ano ocorreu uma inversão, passando a predominar ventos ENE-ESE, enquanto que aqueles N-NE tornaram-se secundários.

A mesma tendência reaparece no ano de 1986, com a inversão da direção dos predominantes ocorrendo um pouco antes em relação ao ano anterior, entre abril/maio. Ainda neste ano, surgiu em março/abril um terceiro conjunto de ventos, secundários, representados por direções SSW e S que foram registrados somente nestes meses (fig. 8).

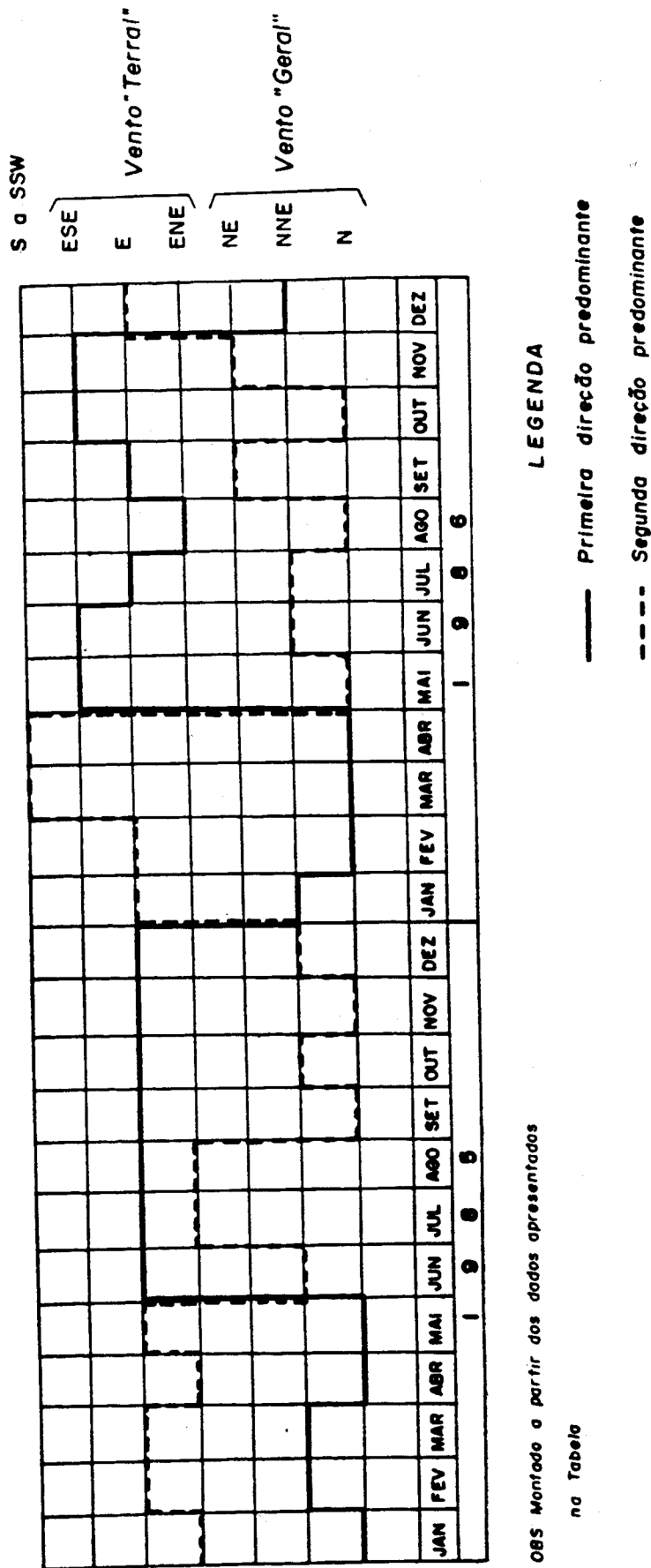
Ao se analisar os dados de variações diárias

TABELA 1

ANO	MES	Dp1	Vp1 (nós)	Dp2	Vp2 (nós)	VENTO MÁXIMO		
						Direção (Az. véro)	Veloc. (nós)	Horário
1985	Janeiro	N	2,3	ENE	2,09	80º	18	14:00
	Fevereiro	NNE	2,4	E	1,60	330º	18	13:30
	Março	NNE	2,4	E	1,97	040	20	12:45
	Abril	N	3,08	ENE	2,50	160	18	14:45
	Maiο	N	1,79	E	1,94	090	28	16:30
	Junho	E	2,46	NNE	1,98	120	20	15:00
	Julho	ESE	2,96	ESE	1,92	150	20	11:00
	Agosto	E	3,30	ENE	2,50	050	18	6:00
	Setembro	E	3,35	N	4,20	90-50	20	5:30
	Outubro	E	3,80	NNE	3,44	010	16	15:30
	Novembro	E	3,50	N	2,11	180	28	4:30
	Dezembro	E	2,22	NNE	2,23	-30	18	13:30
1986	Janeiro	NE	2,90	E	3,73	80	24	15:10
	Fevereiro	N	2,76	E	1,75	30	28	15:00
	Março	N	2,29	SSW	2,04	360	18	15:00
	Abril	N	2,56	S	2,35	180	28	17:45
	Maiο	ESE	2,92	N	3,16	350	20	16:00
	Junho	ESE	2,96	NNE	4,36	300	20	17:50
	Julho	E	2,76	NNE	2,68	90	24	11:13
	Agosto	ENE	3,19	N	3,16	120	14	15:00
	Setembro	E	3,28	NE	4,24	90-50	20	18:00
	Outubro	ESE	4,21	N	3,76	90	20	15:00
	Novembro	ESE	4,20	NE	4,91	40	24	14:45
	Dezembro	NNE	3,70	E	2,71	10	20	16:00

Dp1- Primeira direção predominante
Vp1- Velocidade máxima média da Dp1
Dp2- Segunda direção predominante
Vp2- Velocidade máxima média da Dp2

TAB. Resumo dos valores médios mensais do vento - Estação UFPA- Campos Un_i
versitário - UFPA.



OBS Montado a partir dos dados apresentados na Tabela

Fig. 8 — Gráfico de representação das direções predominantes dos ventos da região de Belém.

das direções dos ventos verifica-se que no período das primeiras horas da manhã até cerca de 12-14 horas, há uma predominância dos ventos provenientes do quadrante E (vento denominados na região como "terral"). No período vespertino entre 14-16 horas, prolongando-se até o final da noite, há uma predominância dos ventos conhecidos como "geral", de direção variando em torno do quadrante N-NE.

Estes sistemas de ventos, ao atingirem a superfície da água na Baía do Guajará, são responsáveis pela formação de ondas, com características que vão depender da velocidade, intensidade, tempo de duração e direção destes ventos em relação a geografia da baía. São importantes ainda na formação das ondas a direção dos fluxos de marés, profundidade das águas sobre a qual o vento atua e as condições meteorológicas ocasionais e sazonais (pressão atmosférica, pluviosidade, etc.).

As medições de período (T) e altura de ondas (L), permitiram a elaboração de um quadro que apresenta as principais características das ondas que atuam na Baía do Guajará nas zonas de profundidades (d) de 5,10 e 15m (Tab. 2).

Os dados coletados permitiram definir três momentos importantes na dinâmica dos ventos e das ondas na Baía do Guajará: a) ausência de ventos predominantes, b) ventos predominantes "terral" e c) ventos predominantes "geral".

a) Ausência de ventos predominantes ou condições de ventos fracos

Sob estas condições as águas mostram-se calmas com a presença de marulhos com ondas aproximadamente regulares e pouco deformadas. Predominam as ondulações na superfície da água com períodos variando entre 4 a 8 segundos e altura de poucos decímetros.

Estas ondas apresentam uma ampla distribuição na Baía, sendo muito comuns quando esta situação de ventos se associa aos períodos de maior frequência das precipitações ("in

TABELA 2

d	CARACTERÍSTICA	T = 3 S	T = 4 S	T = 5 S	T = 6 S
15m	L	~ 14m	25m	40m	53m
	C	4,68	6,23	7,66	8,83
	Cg	2,34	3,14	4,15	5,31
	Vml	$2,49 \times 10^{-3}$	$3,62 \times 10^{-2}$	0,12	0,18
	D	$7,1 \times 10^{-2}$	$4,0 \times 10^{-2}$	$2,5 \times 10^{-2}$	$1,8 \times 10^{-2}$
10m	L	~14 m	25m	35m	50m
	C	4,67	6,14	7,32	7,95
	Cg	2,34	3,28	4,42	5,60
	Vml	$7,1 \times 10^{-2}$	$4,0 \times 10^{-2}$	$2,8 \times 10^{-2}$	2×10^{-2}
	D	$1,14 \times 10^{-2}$	4×10^{-2}	0,2	0,16
5m	L	< 14m	22m	30m	40m
	C	< 4,57	5,56	6,08	6,13
	Cg	< 2,51	3,69	4,63	5,16
	Vml	< 0,22	0,39	0,50	0,60
	D	$< 7,1 \times 10^{-2}$	$4,5 \times 10^{-2}$	$3,3 \times 10^{-2}$	$2,5 \times 10^{-2}$

d= profundidade no local de propagação da onda
T= período
L= comprimento
C= Celeridade
Cg=Velocidade de grupo
Vmf= Velocidade máxima próximo ao fundo
D= Declividade da onda (emoinamento)

$$C = \frac{9 T}{2\pi} \tanh \left(\frac{2\pi d}{L} \right)$$

$$Cg = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{4 d/L}{\sinh(4 d/L)} \right] \cdot C$$

$$D = \frac{H^{-1m}}{L} \quad \text{onde } H \text{ -altura da onda (considerando média de 1m)}$$

$$Vmf = \frac{\pi H}{T \operatorname{Sh} 2\pi a/L}$$

Características das Ondas da Baía do Guajará.

verno"), durante ou logo após as chuvas, quando o vento torna-se ~~fraco~~, e em marés de quadratura ou nas estofas de sizígia.

b) Ventos predominantes "Terral" forte a moderado

Quando o vento sopra de ENE-ESE, ou "terral", o corre a geração de ondas forçadas irregulares, as quais variam em função da profundidade do local de propagação, da direção de fluxo da maré e, ainda, da direção de sua propagação em relação aos obstáculos existentes nas margens. Com respeito a este último fator, cabe explicar que o eixo longitudinal da Baía de Guajará é predominantemente, N-S, assim sendo, os ventos ENE-ESE provocam uma maior concentração de ondas na área correspondente a cerca de 2/3 da região mais próxima da margem esquerda (Ilha das Onças), ficando a margem da cidade protegida da ação destes.

Sob condições de ventos "terral" predominam ondas com período (T) variando de 3 a 5 segundos, que dependendo da profundidade do local de propagação apresentam comprimento de onda (L) variando de cerca de 14m até aproximadamente 40m. A celeridade (C) varia entre 4,57m/s e 7,66 m/s e a velocidade de grupo (Cg) entre 2,51 e 4,15 m/s, geralmente com características de rebentação do tipo deslizante.

Os dados mais detalhados com relação a estas ondas podem ser obtidos na tabela 2.

Vale ressaltar, ainda, que sob condições de ventos "terral", ondas mais altas que 1m ocorrem quase sempre associadas as marés vazantes, quando o fluxo da água está em oposição a força do vento ou, mesmo, quando a velocidade deste atinge valores máximos (vide tab. 1). Nestes casos, pode acontecer o surgimento de uma corrente superficial com direção NNW resultante da interação destas duas forças. Tal corrente, em condições de ventos muito fortes, atinge uma ordem de grandeza que afeta significativamente a navegação de embarcações de pequeno e médio porte.

c) Ventos predominantes "geral" forte a moderado

Os ventos de direção N-NE ou "geral", provocam a formação de ondas forçadas, irregulares, que quase sempre dominam toda a Baía de Guajará, haja visto a concordância aproximada entre estes, que são canalizados ao longo do estuário.

Formam-se ondas caracterizadas por apresentar períodos em torno de 3 a 4 segundos e, frequentemente, alturas superiores a 1m, sobretudo nas imediações do Canal da Ilha das Onças. Suas principais características, em locais com profundidades entre 5 a 15m, podem ser vistas na tabela 2. Resumindo - se estes dados, pode-se afirmar que estas ondas apresentam comprimento (L), variando entre 14 e 25m, celeridade (C) entre 4,57m/s e 6,23 m/s, velocidade de grupo (Cg) em torno 2,51m/s e 3,14m/s e velocidade máxima no fundo (Vmf) de aproximadamente 0,39m/s.

A presença de ondas originadas pelos ventos "geral" se faz sentir principalmente durante o período menos chuvoso (verão), predominando no turno vespertino, por vezes, entrando pela madrugada, atingindo alturas máximas (em torno de 1,5m) sobretudo quando a maré encontra-se com fluxo de vazante e em condições de ventos muito fortes.

3.2.1- Comentários e Conclusões

Em função do que foi apresentado acima torna-se necessário destacar que a superfície da água na Baía de Guajará, mesmo em condições de ventos fracos, caracteriza um sistema relativamente agitado, sobretudo pela ação das correntes de marés, com a presença frequente de ondulações irregulares, definindo claramente um regime de fluxo turbulento.

Apesar da forte imposição das correntes de marés, as ondas geradas pelos ventos representam um importante agente na dinâmica do Estuário Guajará, o qual propicia a mistura das águas e a ressuspensão praticamente constante dos sedimentos de fundo nos bancos e margens. Além disso, estas ondas atuam

na interação entre o sistema hidrodinâmico e as margens, promovendo ataques erosivos e mesmo criando situações de sedimentação em locais específicos.

3.3- As Marés no Estuário Guajará

3.3.1- Maré Dinâmica

3.3.3.1- Aspectos Gerais

A maré dinâmica pode ser definida como a variação periódica do nível da água do mar, quase sempre acompanhada por correntes horizontais, resultado da influência de forças astronômicas. A atração exercida principalmente pela Lua e pelo Sol, sobre a massa d'água oceânica propicia o surgimento das marés. Esta força de atração complexa envolve a rotação da Terra e do Sol, as características das órbitas elípticas da Terra e da Lua, as diferentes altitudes dos planos de órbitas e as mudanças de declinação do Sol e da Lua, através de suas orbitais, além de outros fatores (Franco, 1981).

Apesar dessa complexidade envolvendo estes componentes astronômicos, as marés revelam-se fenômenos facilmente observáveis. Suas relações com a posição da Lua são marcantes como se pode constatar pelos intervalos periódicos de cerca de 6 horas e 12 minutos que separam cada preamar da baixa mar correspondendo aproximadamente a 1/4 do dia lunar para as marés semi-diurnas. As maiores marés mensais coincidem normalmente com as datas das posições de Lua Cheia e Lua Nova (marés de sizígia), enquanto que aquelas de menor amplitude acompanham as posições de Quarto Minguante e Crescente (maré de quadratura).

3.3.1.2- Características das Marés Dinâmicas do Estuário

Os principais parâmetros das marés dinâmicas no Estuário Guajará encontram-se reunidos na tabela 3 elaborada a partir de dados obtidos na Estação Maregráfica da PORTOBRÁS/ Companhia das Docas do Pará, localizada no extremo norte do Cais do Porto (Fig. 1).

TABELA 3

PERÍODO	AMPLITUDE		DATA	AMPLITUDE	
	MÉDIA	MÁXIMA		MÍNIMA	DATA
Janeiro	S 3,63	S 4,04	08 Fev.	S 3,25	25 Jan.
Fevereiro	Q 3,35	Q 3,65	16 Fev.	Q 2,98	02 Fev.
Março	S 4,01	S 3,64	10 Mar.	S 2,27	26 Mar.
Abril	Q 3,37	Q 3,62	03 Mar.	Q 3,16	17 Abr.
Maio/Junho	S 3,49	S 3,83	08 Mai.	S 3,03	07 Jun.
	Q 3,12	Q 3,40	16 Mai.	Q 2,78	15 Jun.
Julho/Agosto	S 3,16	S 3,43	19 Agost.	S 2,90	05 Agost.
	Q 2,95	Q 3,11	12 Agost.	Q 2,77	20 Julh.
Setembro/Outubro	S 3,41	S 3,53	18 Set.	S 3,24	17 Outub.
	Q 3,14	Q 3,41	10 Out.	Q 2,84	25 Outub.
Novembro/Dezembro	S 3,28	S 3,48	01 Nov.	S 3,10	16 Dez.
	Q 3,09	Q 3,33	08 Nov.	Q 2,86	24 Nov.
M É D I A	S 3,49	S 3,66	—	S 2,96	—
	Q 3,17	Q 3,42	—	Q 2,91	—
DEFASAGEM	0,32	0,24	—	0,05	—

Parâmetros da Onda de Maré Dinâmica no Estuário / Ano 1986

Dados obtidos a partir de medidas do Marégrafo da PORTOBRÁS/
CDP instalado no Porto de Belém.

S- Sizígia

Q- Quadratura

Durante o ano de 1986, as amplitudes médias das oscilações nas marés de sizígia e quadratura no Porto de Belém, foram de 3,49m e 3,17m, respectivamente, o que resulta num valor médio de 3,33m de amplitude para o ano citado.

Ainda durante este ano, a amplitude máxima registrada foi de 4,04m. no mes de fevereiro, enquanto que a mínima foi de 2,27m em março. Em outros períodos, excepcionalmente, as marés no Porto de Belém podem apresentar amplitudes muito acima destas medidas, tal como ocorreu em 1923, quando alcançou 4,47m (Lima, 1956). A segunda maior amplitude já registrada no Porto, segundo informações da Estação Mareográfica da PORTOBRÁS/CDP, ocorreu em março de 1980, quando atingiu 4,21m. Lima (1956) cita amplitude média, 10km acima da foz do Rio Guamã, da ordem de 3,15m para as marés de sizígia em fevereiro, março e abril nos anos de 1953 a 1956. A onda de maré pode ser percebida a cerca de 218km da Baía do Marajó, dentro dos Rios Guamã e Capim, onde se pode observar, ainda variações aproximadamente semi-diurnas no nível destes rios (RTZ Consultants, 1975).

Com respeito a velocidade da onda de maré, segundo Informativo/CDP (1977), esta varia de local para local precisando de 3h40min para percorrer o trecho de Salinópolis, no litoral do Estado do Pará, ao extremo sul do Cais do Porto de Belém, traduzindo-se numa velocidade de cerca de 130 a 171 m/s (\approx 500km/h).

No Canal da Ilha das Onças, por outro lado estima-se uma velocidade de 194 a 209 m/s (\approx 750 km/h) para esta onda de maré. (CDP, 1977)

No Estuário Guajarã, onde o atrito de fundo produz uma acentuada assimetria nas curvas de marés, a subida do nível d'água leva cerca de 5 horas em contraste com a descida que dura em média 7 horas, notadamente nas marés de sizígia, fato este comum em estuário de águas rasas como no caso estudado. Outro aspecto a ser mencionado, é o registro de oscilações de baixo período (denominado "seiches"-Franco, 1981), da ordem de 30 minutos, associado às estofas de baixa-mar, que

comumente aparecem nos maregramas dos meses de novembro a abril. Tais oscilações podem ser explicadas por diferenças de pressão nas extremidades da bacia estuarina. (Franco, 1981)

3.3.1.3- Estudo das Correntes de Marés

O relatório INPH 82/80 da PORTOBRÁS (1980b) apresenta, um conjunto de dados correntométricos coletados pela PORTOBRÁS ao longo de 5 seções distribuídas no estuário: duas posicionadas na Baía do Guajará (no extremo norte do Cais do Porto e próximo ao alinhamento da Catedral, respectivamente, figs. 12 e 13) uma no Canal Carnapijô, outra no Rio Mojú e uma última no Rio Guamã. Estes dados foram analisados com o objetivo de fornecer subsídios para o estudo do transporte de material sólido em suspensão na Baía do Guajará e de sedimentação na área do Porto. Foram obtidos tanto em marés de sizígia quanto de quadratura, cabendo ressaltar, que os mesmos não foram coletados simultaneamente nas várias seções e, nem tampouco sofreram correções quanto ao amortecimento da onda de maré induzido pela distância que separa estas seções.

As medidas, feitas em intervalos de 1/2 em 1/2 hora, obedeceram seguintes critérios:

- a) Em locais de profundidade menor de 5m, foram feitas em intervalos de 1m, a partir da superfície d'água;
- b) Se a profundidade situava-se na faixa de 5-12m, as medidas foram executadas a 1m da superfície, a 1m do fundo e a cada 2m no restante do intervalo;
- c) Em locais com mais de 12m repetiu-se o critério anterior, aumentando-se, no entanto o intervalo para 3m a partir do 1º metro abaixo da superfície.

Considerando a abrangência e representatividade do levantamento da PORTOBRÁS, procurou-se neste trabalho dar um novo tratamento a estes dados com o objetivo de buscar interpretações complementares àquelas apontadas anteriormente. Assim

sendo, a partir das informações relativas as duas seções levantadas na Baía do Guajará (Figuras 12 e 13), e a seção localizada no Rio Guamã, cerca de 13 km a montante da Ilha do Cumbú foram elaboradas as tabelas 4, 5 e 6, que mostram as relações entre velocidade máxima de fluxo e o comportamento da maré dinâmica. As figuras 9, 10 e 11 incluem as curvas que caracterizam o comportamento das correntes ao longo do ciclo de maré. Nas figuras 12 e 13 apresenta-se um modelo para a dinâmica das águas nos momentos de final de enchente e final de vazante. Nos itens seguintes são abordadas as interpretações relativas a reunião destes dados.

3.3.1.4- Velocidades de Correntes

A análise das informações fornecidas pela PORTOBRÁS (1980b) permite caracterizar o comportamento das correntes de marés na Baía do Guajará e no Rio Guamã e conduz as seguintes conclusões:

- a) Sobre as velocidades máximas de fluxo da Baía do Guajará:
- as velocidades máximas médias mais altas ocorrem durante as marés de sizígia, na enchente, a cerca de 1m da superfície d'água.
 - as velocidades máximas médias mais baixas associam-se as marés de quadratura, na vazante, do mesmo modo a 1m da superfície.
 - as velocidades máximas absolutas ocorrem nas marés de sizígia, sendo que no período observado as máximas ocorrem na seção 1 (fig. 12) durante a vazante (1,74m/s), no ponto 5, e na seção 2, no ponto e durante enchentes (2,10m/s).
 - as marés de sizígia as correntes atingem velocidades máximas comumente 3 horas após a estofa de baixa-mar e 3h 30min após a estofa de preamar.

TABELA 4

PONTO	ENCHENTE	POSIÇÃO DA MARÉ	VAZANTE	POSIÇÃO DA MARÉ	PROFUNDIDADE
1	1,05	2hs após BM	0,75	3,5hs após PM	a 1m da sup
2	0,79	2,5hs após BM	0,77	4,5hs após PM	"
3	1,49	3hs após BM	1,25	4,5hs após PM	"
4	1,10	3,5hs após BM	0,70	—	"
5	1,68	4hs após BM	1,74	3hs após PM	"
6	1,57	3,5hs após BM	1,10	3hs após PM	"
7	1,67	3,5hs após BM	1,00	—	"
8	1,50	4hs após BM	1,62		"
Média das Vel. Máximas	1,35		1,12		"

VELOCIDADES MÁXIMAS DE FLUXO

SEÇÃO 1 - MARÉ DE SIZÍGIA

Velocidade Máxima Absoluta: Enchente = 1,68 m/s (pto 5)

Vazante = 1,74 m/s (pto 5)

PONTO	ENCHENTE	POSIÇÃO DA MARÉ	VAZANTE	POSIÇÃO DA MARÉ	PROFUNDIDADE
1	0,70	3hs após BM	0,64	3hs após PM	a 1m da Superf.
2	0,67	3,5hs após BM	0,82	3,5hs após PM	"
3	0,87	3,5hs após BM	0,78	—	"
4	1,41	3hs após BM	0,84	—	"
5	0,97	3,5hs após BM	0,74	—	"
6	0,73	3,5hs após BM	0,63	—	"
7	1,18	4hs após BM	1,15	—	"
8	1,07	4,5hs após BM	1,10	—	"

SEÇÃO 1 - MARÉ DE QUADRATURA

Média das Veloc. máximas: Enchente = 0,95

Vazante = 0,83

Velocidade Máxima Absoluta: Enchente = 1,41 m/s (pto 4)

Vazante = 1,15 m/s (pto 7)

TABELA 5

PONTO	ENCHENTE	POSIÇÃO DE MARÉ	VAZANTE	POSIÇÃO DE MARÉ	PROFUNDIDADE
1	1,78	4hs após BM	1,19	4hs após PM	1m de Sup.
2	1,96	3hs após BM	1,40	4hs após PM	"
3	—	—	—	—	"
4	2,10	2,5hs após BM	1,80	4,5hs após PM	"
5	1,86	2hs após BM	1,78	5hs após PM	"
6	—	—	—	—	—
7	1,73	3hs após BM	1,25	4hs após PM	"
8	1,25	2,5hs após BM	1,18	5hs após PM	"

VELOCIDADES MÁXIMAS DE FLUXO
SEÇÃO 2 - MARÉ DE SIZÍGIA

Média das Velocidades Máximas: Enchente - 1,78 m/s
Vazante - 1,43 m/s

Velocidade Máxima Absoluta : 2,10 m/s (pto 4)
Vazante: 1,8 m/s (pto 4)

PONTO	ENCHENTE	POSIÇÃO DA MARÉ	VAZANTE	POSIÇÃO DA MARÉ	PROFUNDIDADE
1	1,45	4hs após BM	1,20		a 1m de Sup.
2	1,45	3hs após BM	1,15	3hs após PM	idem
3	0,83	3,5hs após BM	0,88		
4	0,84	3hs após BM	0,75	3,5hs após PM	idem
5	—	—	—	—	—
6	0,98	3hs após BM	0,92	4hs após PM	idem
7	1,30	4,5hs após BM	1,60		
8	1,46	4,0hs após BM	1,18	4hs após PM	idem

SEÇÃO 2 - MARÉ DE QUADRATURA

Média das Velocidades Máximas: Enchente - 1,19 m/s
Vazante - 1,10 m/s

Velocidade Máximas Absolutas : Enchente - 1,46 m/s
Vazante - 1,60 m/s

TABELA 6

PONTO	ENCHENTE	POSIÇÃO DE MARÉ	VAZANTE	POSIÇÃO DE MARÉ	PROFUNDIDADE
1	1,20	3hs após BM	1,50	6hs após PM	a 1m da Sup.
2	1,45	4,5hs após BM	1,82	7hs após PM	"
3	1,87	5,0hs após BM	0,70	3,5hs após PM	"
4	1,89	3,5hs após BM	0,99	4hs após PM	"

VELOCIDADES MÁXIMAS DE FLUXO

SEÇÃO S5 - RIO GUAMÁ - SIZÍGLIA

MÉDIA DAS VELOCIDADES MÁXIMAS: Enchente = 1,60
 Vazante = 1,25

VELOCIDADES MÁXIMAS ABSOLUTAS: Enchente = 1,89 (pto 4)
 Vazante = 1,50 (pto 1)

PONTO	ENCHENTE	POSIÇÃO DA MARÉ	VAZANTE	POSIÇÃO DA MARÉ	PROFUNDIDADE
1	0,78	3hs após BM	1,15	—	a 1m de Superl.
2	1,06	3,5hs após BM	1,72	—	"
3	0,80	4hs após BM	0,60	—	"
4	1,52	4,5hs após BM	0,78	—	"

SEÇÃO S5 - RIO GUAMÁ - QUADRATURA

MÉDIA DAS VELOCIDADES MÁXIMAS: Enchente = 1,04
 Vazante = 1,06

VELOCIDADES MÁXIMAS ABSOLUTAS: Enchente = 1,52 (pto 4)
 Vazante = 1,72 (pto 2)

- nas mares de quadratura as correntes alcançam velocidades máximas cerca de 5 horas após a estofa de baixa-mar e 4 horas após a estofa de preamar.

b) Sobre o ajuste das velocidades máximas nos diversos canais da Baía do Guajarã:

- na seção 1, durante as marés de sizígia, observa-se que as velocidades máximas de enchente se implantam primeiramente nos canais do Porto e do Meio (2 a 3 horas após a baixa-mar), e só 3 a 4 horas após a baixa-mar ocorrer no canal de Ilha das Onças.

Comparando-se as tabelas de velocidade máxima (tab. 4 e 5) com a tabela 7, verifica-se que no Canal do Porto as correntes de vazante surgem primeiro que nos demais canais, porém atingem velocidades máximas por último em relação a estes, cerca de 30 a 90 minutos.

- Em S_2 (fig. 12) nos canais do Porto e da Ilha das Onças, as correntes de vazante surgem aproximadamente no mesmo instante, porém, alcançam velocidades máximas em primeiro lugar no Canal do Porto.
- As velocidades máximas de vazante, na seção 1 (fig. 12) se implantam mais rapidamente no Canal da Ilha das Onças, 13 horas após a preamar. Nos canais do Porto e do Meio alcançam velocidade máxima somente 3h30min 4h30min após a baixa-mar.

c) Sobre as correntes no Rio Guamã:

- as correntes no Rio Guamã alcançaram valores máximos absolutos, nas enchentes, principalmente nas marés de sizígia, onde podem atingir até 1,89 m/s. Nas vazantes, as velocidades máximas de correntes atingem 1,5m/s e 1,72 m/s.

TABELA 7

SEÇÃO	ÁREA DA SEÇÃO	SIZÍGIA		QUADRATURA	
		PMAT	BMAT	PMAT	BMAT
S ₁	CANAL DO PORTO	1:20	00:45	01:25	00:45
	CANAL DO MEIO	2:00	01:00	01:45	01:10
	CANAL DO MINAS GERAIS	02:00	01:00	02:00	02:10
S ₂	CANAL DO PORTO	02:00	00:50	01:50	00:50
	CANAL DO MINAS MINAS	02:00	01:45	02:20	02:10
	RIO GUAMÁ CANAL PRINCIPAL	02:20	02:30	02:30	03:45

-Defasagens médias entre as estofas de PM e BM e as viradas de corrente.

OBS: Para a localização de S₁ e S₂, ver figuras 04 e 05.

- as médias das velocidades máximas situam-se entre 1,04m/s e 1,60m/s sendo sempre maiores nas enchentes que nas vazantes.
- quanto as mudanças de direção das correntes de marés no Rio Guamã, verifica-se que não existe um padrão bem definido, existindo, no entanto, uma tendência para que seus valores máximos iniciem nas proximidades da margem esquerda, onde se situa o canal mais profundo. Somente depois de 30 a 90 minutos, as velocidades máximas passam a vigorar no canal localizado mais próximo da margem direita.

3.3.1.5- Análise da Variação da Velocidade de Correntes no Estuário.

Com o objetivo de analisar o comportamento das correntes de marés, bem como de tentar mostrar individualmente suas características em marés de sizígia e de quadratura e suas variações em função das suas distribuições no ambiente estuarino, foram construídas curvas de variação de velocidade, separadamente para os canais de enchente e vazante da Baía do Guajará e Rio Guamã. (Figs. 9, 10 e 11)

1. Baía do Guajará

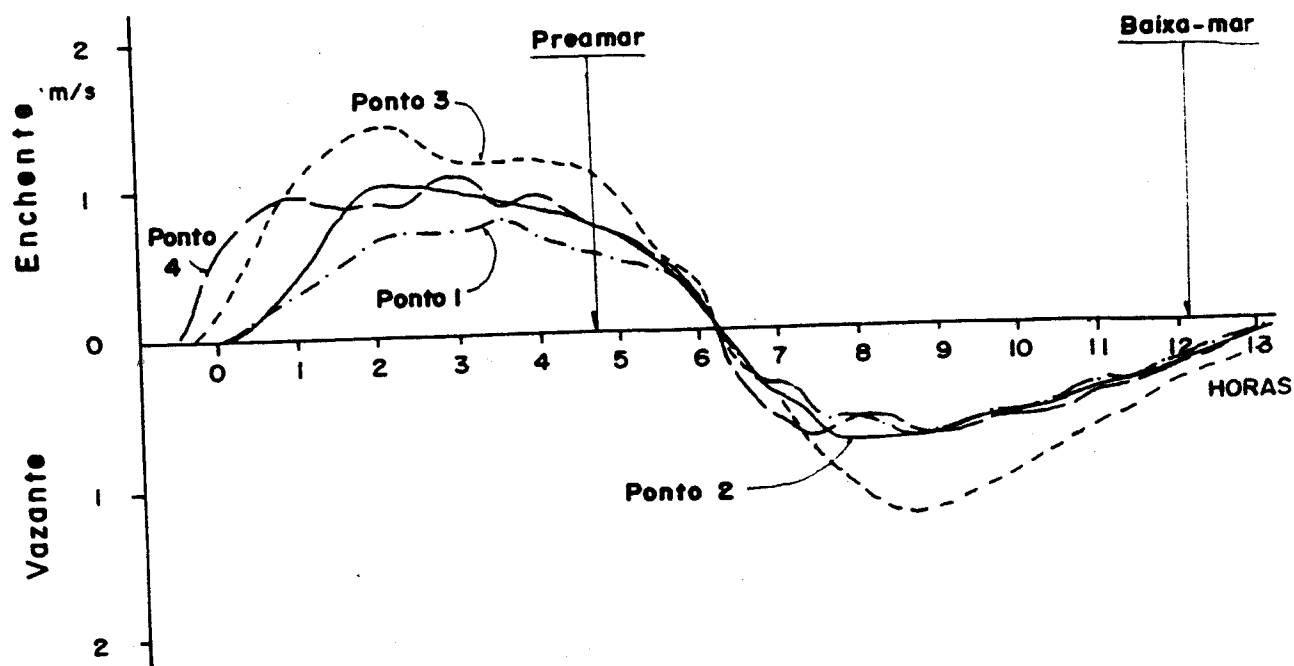
Ao se analisar estas curvas para a Baía do Guajará pode-se apontar as seguintes características:

1a) Correntes de Marés de Sizígia:

Canais de Enchente (Canal do Porto e Canal do Meio). Nestes locais, durante a enchente, as curvas de velocidades de correntes são aproximadamente simétricas, de traçado irregular com um nítido achatamento naquelas obtidas no Canal do Porto. (Figs. 9 e 10). Durante a vazante registram-se curvas proeminentes assimétricas do mesmo modo com traçado irregular (Figs. 9 e 10). Assim, demonstra-se mais

BAÍA DO GUAJARÁ

CANAL DE ENCHENTE (CANAL DO PORTO E CANAL DO MEIO)



CANAL DE VAZANTE (CANAL DA ILHA DAS ONÇAS)

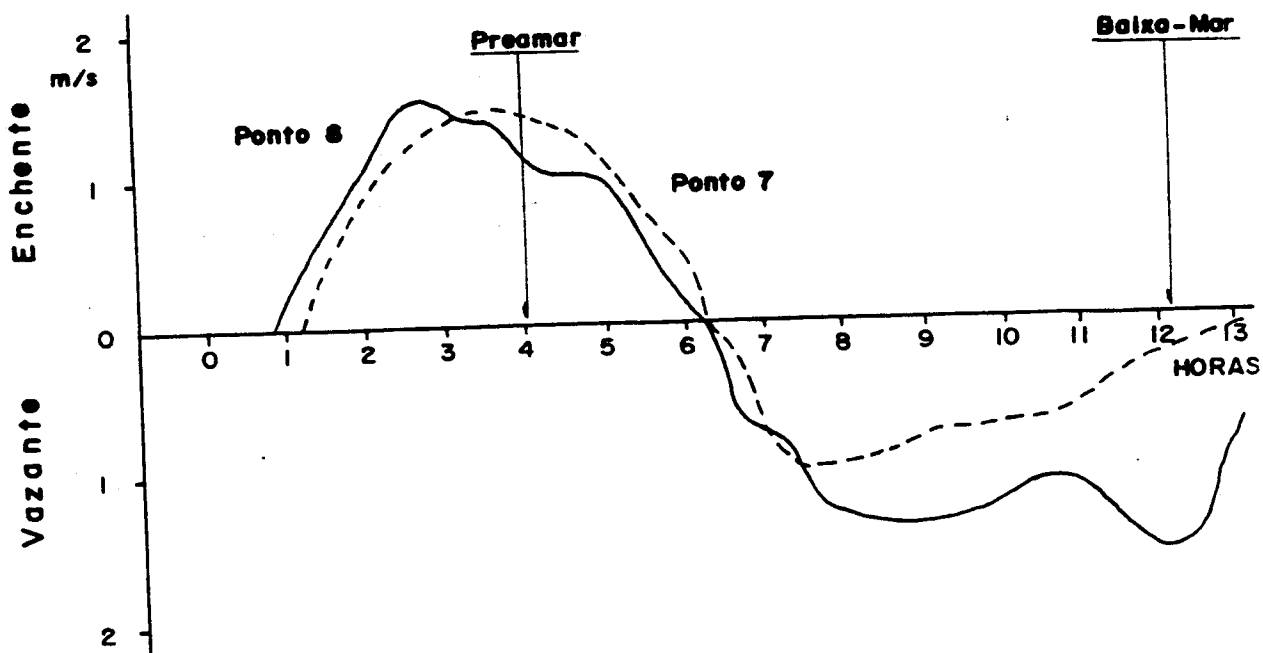


Fig.9 - Curvas de velocidades das correntes de marés de sizígia para a Baía do Guajará montadas a partir de dados da PORTOBRAS (1980b). A localização dos pontos relativos a cada curva pode ser vista nas figuras 12 e 13.

BAÍA DO GUAJARÁ

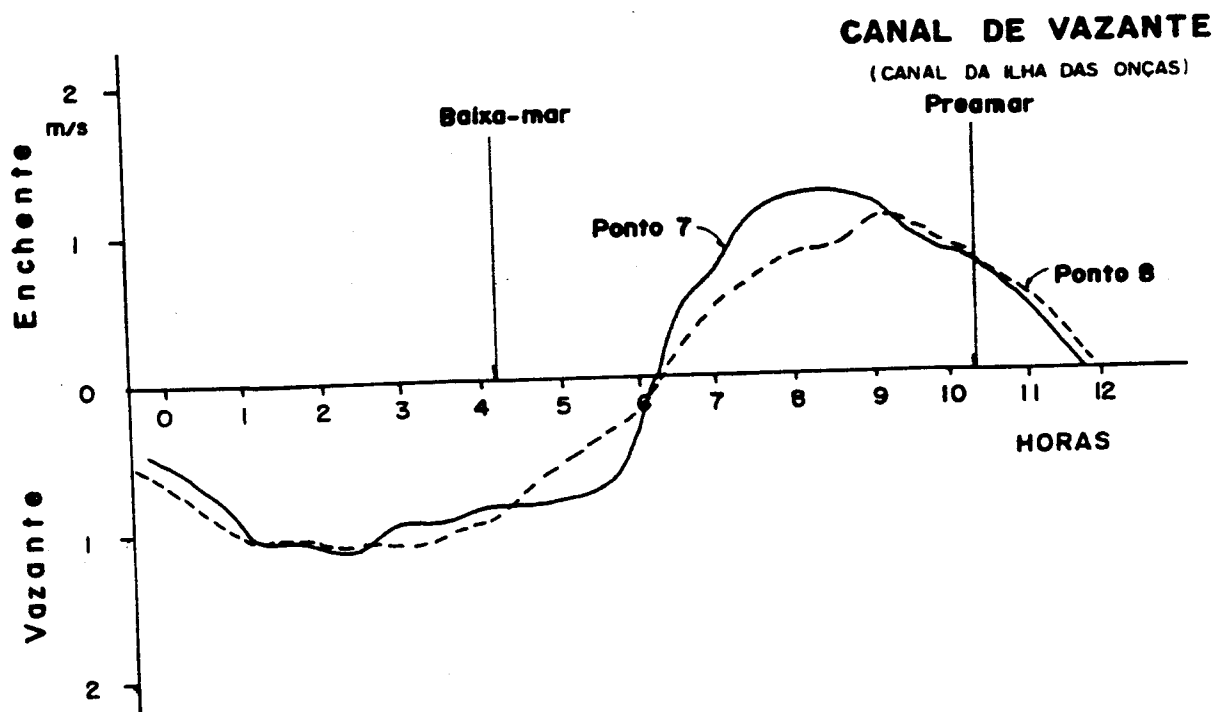
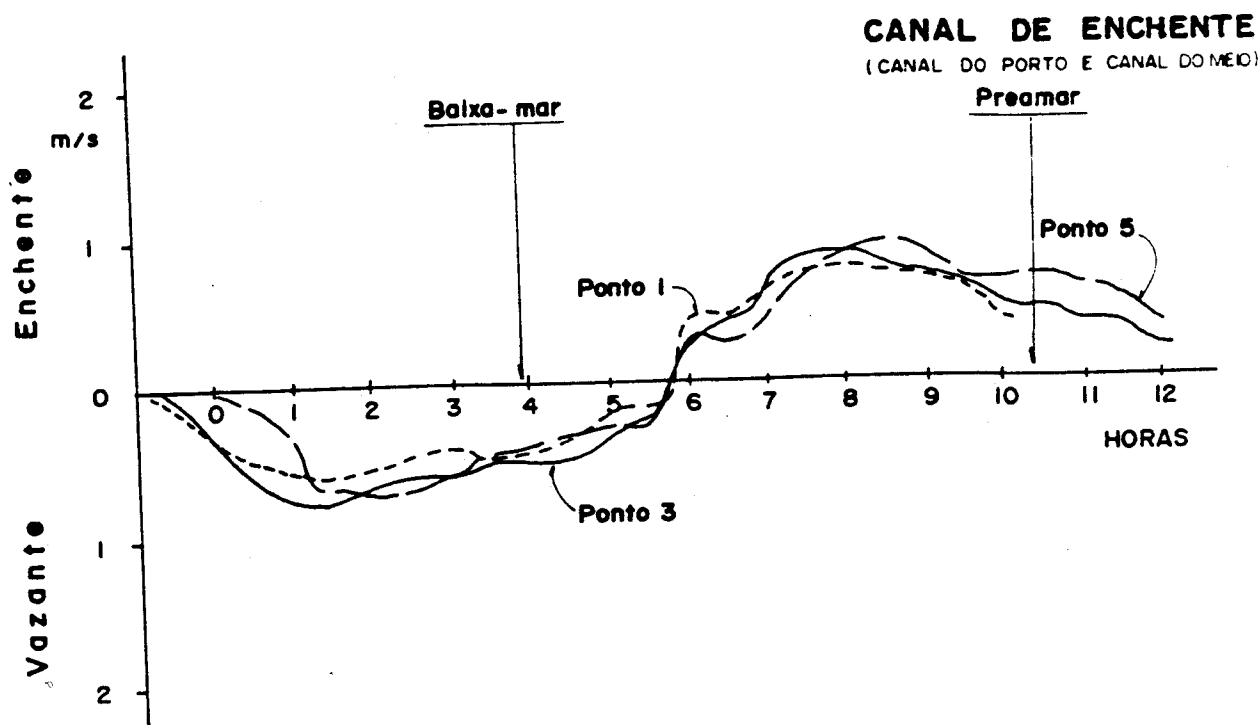


Fig. 10 - Curvas de velocidades das correntes de marés de quadratura para a Baía do Guajará, montadas a partir de dados da PORTOBRAS (1980b). A localização dos pontos relativos a cada curva pode ser vista nas figuras 12 e 13.

uma vez que a velocidade das correntes de enchente é maior que as de vazante. Além disso, fica claro que o tempo de atuação das correntes de vazante ultrapassa em cerca de 2 horas o da enchente.

Canal de Vazante (Canal de Ilha das Onças). - As curvas registradas nesta área são notadamente simétricas e agudas durante as enchentes e assimétricas para as vazantes. A duração das correntes de vazante ultrapassa o tempo de atuação das enchentes em pouco mais de 2 horas.

1b) Correntes de Marés de Quadratura:

Canais de Enchente - Durante as marés de quadratura as curvas de velocidades de correntes revelam se simétricas, achatadas e de traço irregular, tanto para a enchente quanto para a vazante, com o tempo de atuação das correntes de enchente e vazante aproximadamente iguais (6h30min a 7horas).

Canal de Vazante - Neste local registram-se curvas semelhantes àquelas das marés de sizígia quanto a simetria e quanto ao tempo de atuação. Estas são aproximadamente simétricas e mais agudas na enchente que na vazante, quando observa-se um pronunciado achatamento. Também nesse caso as maiores velocidades foram observadas nas enchentes.

2. Rio Guamã

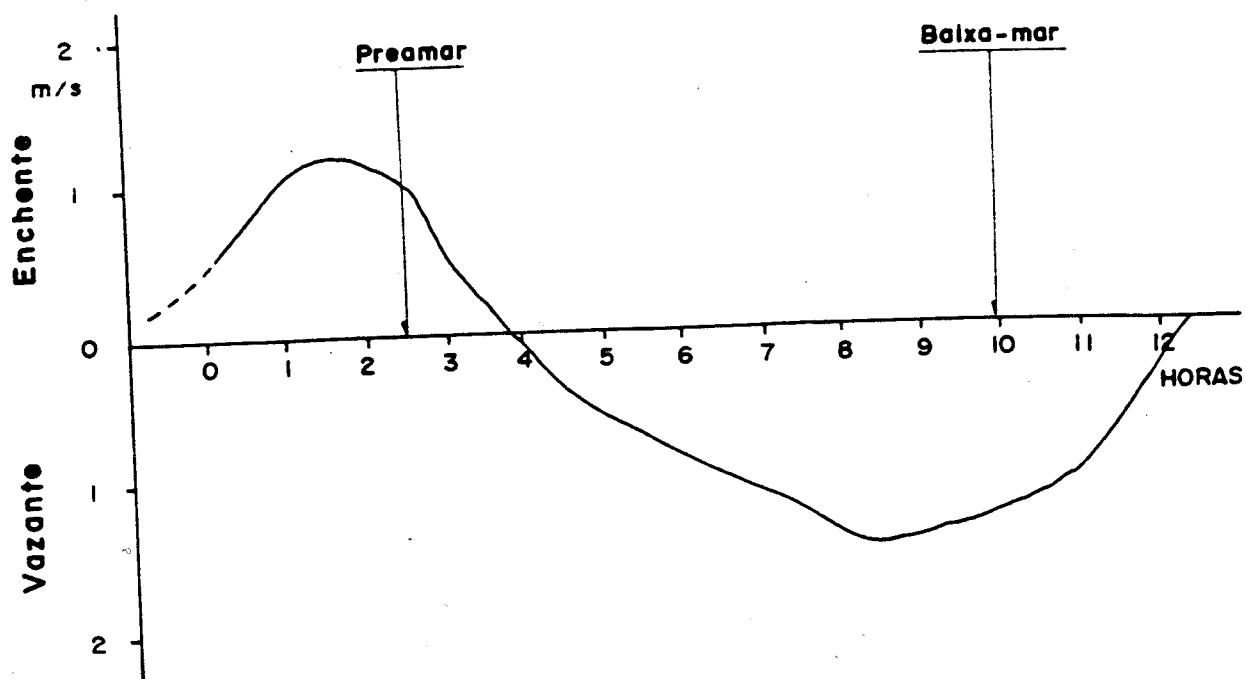
No caso do Rio Guamã devem ser ressaltadas as características que se seguem:

2a) Corrente de Marés de Sizígia:

Em condições de marés de sizígia (Fig.11) observa-se que as correntes de vazante tem uma duração

RIO GUAMÁ

CANAL PRINCIPAL - MARÉ DE SIZÍGIA



CANAL PRINCIPAL - MARÉ DE QUADRATURA

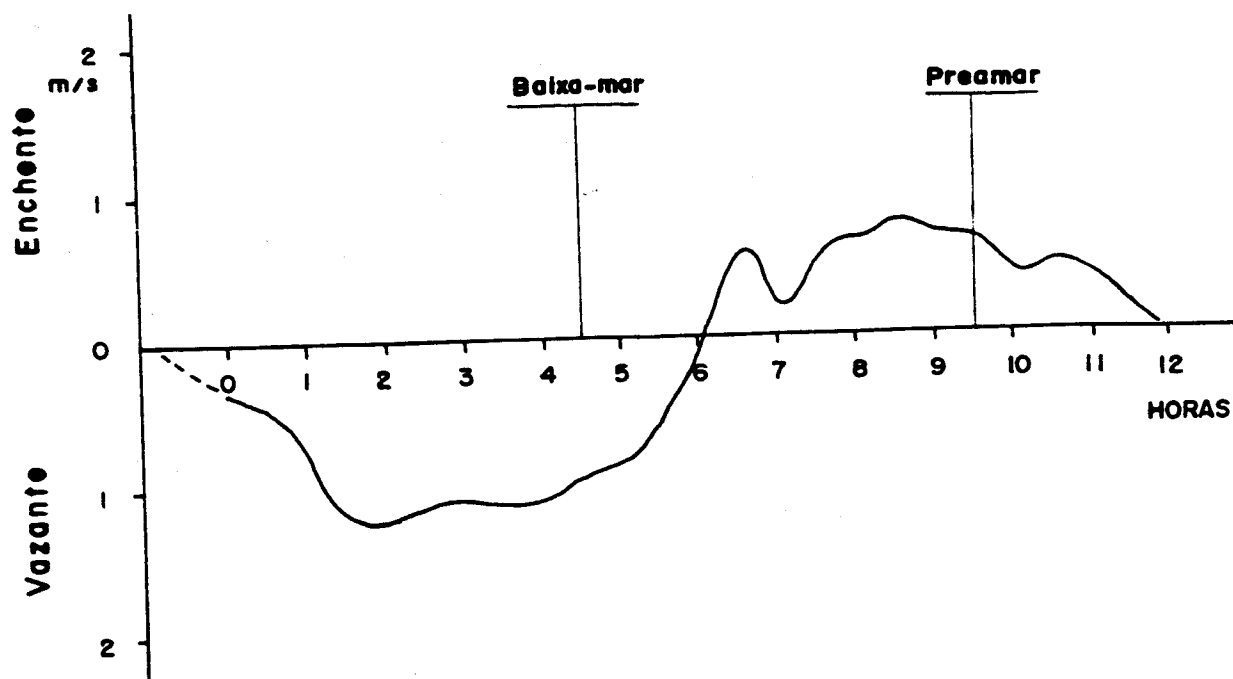


Fig. II - Curvas de velocidades de correntes de marés para o Rio Guamá (Canal Principal), montadas a partir de dados da PORTOBRAS (1980b)

de mais de 8 horas em contraste com o tempo curto da enchente que não ultrapassa mais de 5 horas. Outro ponto a destacar é a simetria e agudez da curva de enchente, em comparação com a assimetria daquela de vazante.

As maiores velocidades das correntes são alcançadas nos momentos de vazante como se pode observar pela altura da curva correspondente a esta situação da maré (fig. 11).

2b) Correntes de Marés de Quadratura

A curva de corrente de marés de quadratura para o rio Guamã apresenta-se com traçado irregular tanto na enchente quanto na vazante (Fig. 11), destacando-se as fortes oscilações de velocidades registradas no início da enchente. O tempo de duração das correntes de enchente e vazante são aproximadamente iguais prolonga-se por cerca de 1 hora mais que a enchente.

A velocidade das correntes mostra valores máximos pouco acima de 1m/s, sendo maior nas vazantes do que nas enchentes.

A partir das observações acima pode-se concluir o seguinte:

- O Canal do Porto e Canal do Meio, são tipicamente canais de enchente, tanto em sizígia quanto em quadratura.
- O Canal da Ilha das Onças, por outro lado, constitui-se no Canal de vazante do mesmo modo em sizígia e em quadratura.
- As correntes de marés nos canais de enchente ocor

rem irregularmente, enquanto que no canal de vazante (mais profundo) as velocidades crescem e decrescem, progressivamente, num curto espaço de tempo, após alcançar valores máximos. Esta observação está de acordo com a análise das profundidades nos dois canais. No canal de enchente (mais raso) o atrito com o fundo é mais pronunciado que no canal de vazante, onde as profundidades são maiores.

- No Rio Guamã, as marés estão sujeitas a influência fluvial, com predomínio de correntes de vazante, principalmente durante as marés de sizígia. Nas enchentes em quadratura, quanto o volume das águas de marés é reduzido, o fluxo fluvial parece ser responsável pelas oscilações que as velocidades de correntes sofrem em oposição a este.

3.3.1.6 - Relação entre as estofas de maré e as correntes

Os estudos realizados anteriormente a respeito das defasagens existentes entre os momentos de estofa de preamar e baixa-mar e as mudanças no sentido das correntes são abordados neste trabalho segundo uma nova ótica interpretativa.

A Divisão de Levantamento da PORTOBRÁS, realizou em 1980 medições nos vários canais da Baía do Guajará visando a determinação do intervalo de tempo aproximado entre as inversões da maré e das correntes após a preamar e a baixa-mar, (PORTOBRÁS-INPH, 1980a). Parte dos resultados deste trabalho estão reunidos na tabela 7. A primeira vista, os dados constantes nesta tabela comprovam variações no comportamento das marés em relação as correntes. Na Baía do Guajará verifica-se que, tanto nas marés de sizígia quanto nas de quadratura, as correntes de enchentes e de vazante se implantam inicialmente no Canal do Porto e, somente cerca de 35 a 45 minutos após, passam a dominar nos canais do Meio e da Ilha das Onças. No Rio Guamã próximo a sua foz, a defasagem de inversão das correntes torna-se menor, em torno dos 10 a 15 minutos principalmente nas marés de sizígia (Tab. 7).

A partir do cálculo dos vetores resultantes em cada ponto das seções levantadas pela PORTOBRÁS - INPH (1980a) foi elaborado um quadro da dinâmica das correntes e suas mudanças de sentido (Figs. 12 e 13) no qual as setas indicadas representam as direções principais de fluxo das massas de água na Baía do Guajará, mais especificamente na área do Porto de Belém.

Os resultados da montagem desse quadro constituí-se numa tentativa de representar a maneira como se processam as mudanças de sentidos das correntes superficiais neste trecho da Baía, em duas situações específicas: final de enchente / início de vazante, para marés de sizígia e final da vazante / início da enchente para marés de quadratura.

Considerando-se um modelo de circulação para a Baía, cerca de 2 horas após a estufa de preamar de sizígia observa-se que embora as correntes de vazante já tenham se implantado no Canal do Porto e em parte do Canal do Meio, no Canal da Ilha das Onças, as correntes de enchente ainda permanecem bem definidas. Além disso, verifica-se uma tendência a inversões em outros locais da Baía, quer defletindo para a esquerda quer para a direita em movimentos rotacionais (fig. 12). Em alguns pontos as correntes de enchente sofrem deflexões refletindo uma mudança de direção a partir do fundo para a superfície. Isto pode ser evidenciado com as medidas de corrente de até 0,52m/s direcionadas para oeste no fundo, enquanto que em superfície ocorrem aquelas com velocidades de 0,47m/s direcionada para SW. (fig. 12). Na zona central da Baía ocorre uma possível bifurcação no sentido das correntes, com uma componente, buscando o sentido do fluxo de vazante dos Canais do Meio e do Porto e outra acompanhando o fluxo para montante (fig.12).

O modelo hidrodinâmico de circulação da Baía para o final da vazante / início da enchente (1h a 1h e 30min após a baixa-mar) nas marés de quadratura (fig. 13), revela uma situação similar e compatível com o quadro anteriormente analisado.

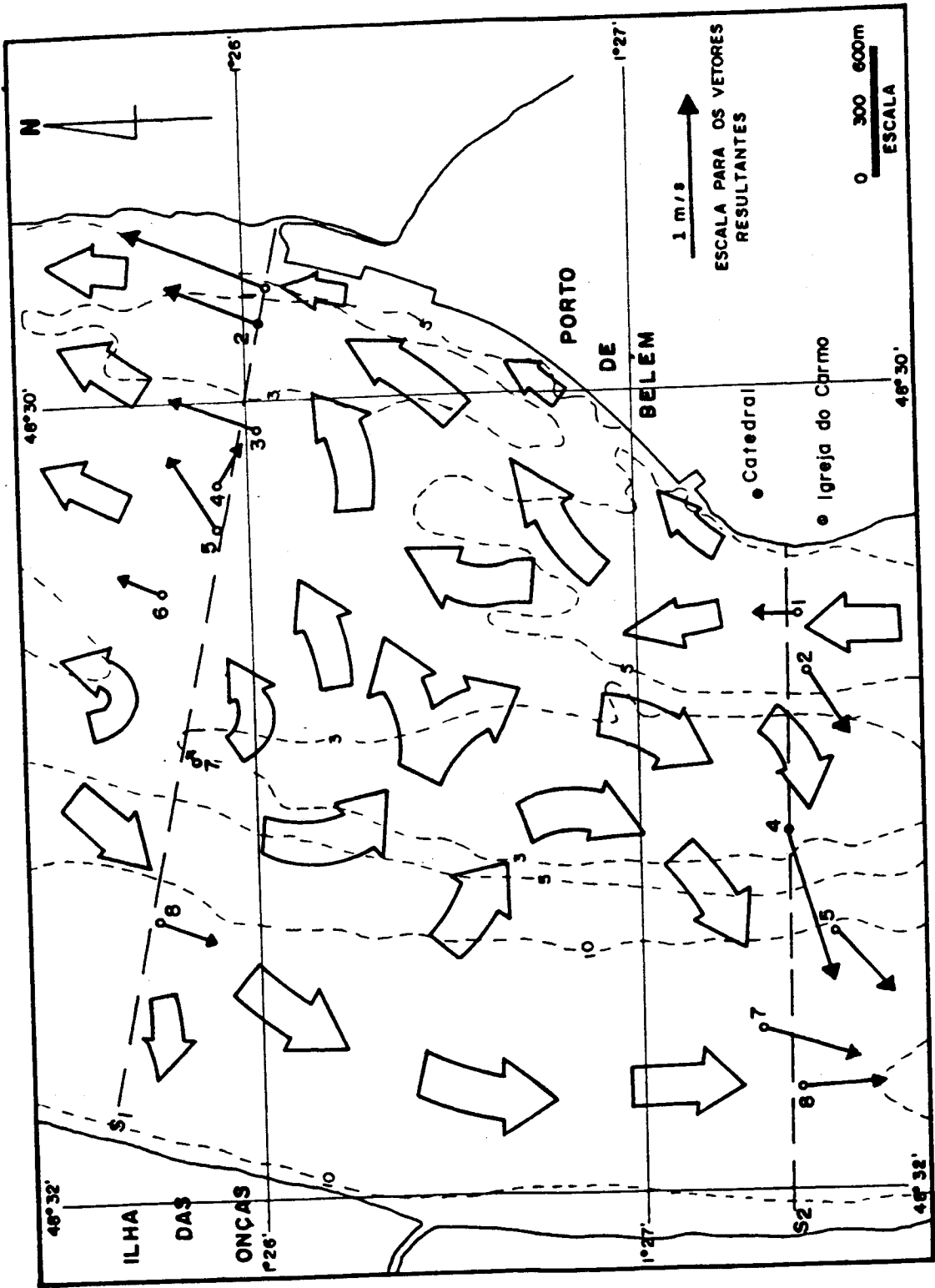


Fig. 12 - Quadro da dinâmica das correntes de marés de sizígia, em superfície, na Baía do Guajará, para o momento de implantação da vazante (aprox. 2 hs. após a estufa de preamar).

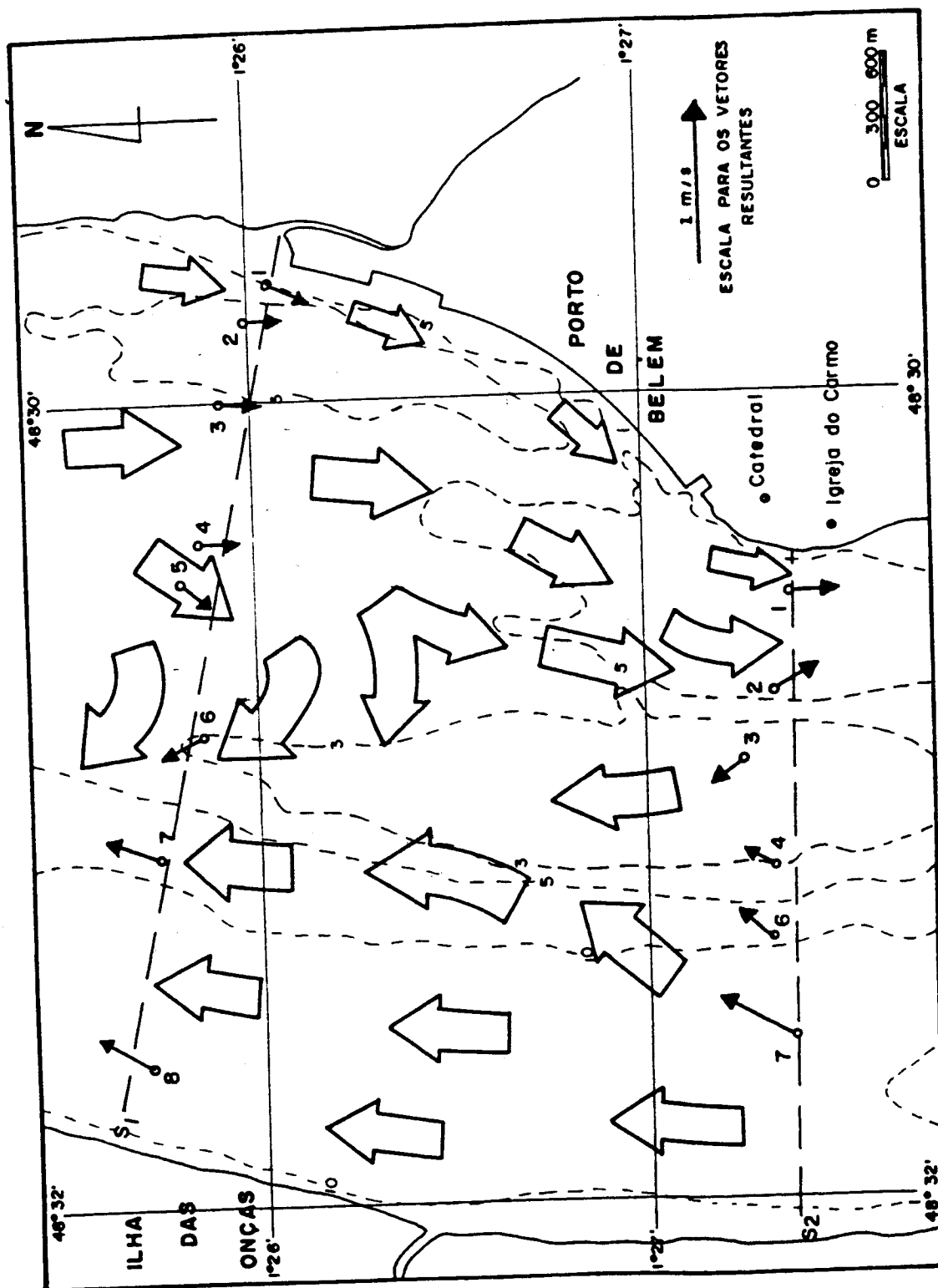


Fig.13 - Quadro da dinâmica das correntes de marés de quadratura, em superfície, na Baía do Guajará para o momento de implantação da enchente (aprox. 1 h. a 1:30 hs. após a estofa de baía - mar).

As correntes de enchente se implantam inicialmente nos canais do Porto e do Meio, avançando pela margem direita da Baía, enquanto que no Cahal da Ilha das Onças predomina ainda, as correntes de vazante (fig. 13). Na região mais larga da Baía, as correntes de enchente que avançam pelo Canal do Meio sofrem deflexão em direção do Canal da Ilha das Onças acompanhando o sentido das correntes de vazantes (fig. 13). Conforme foi observado acima no caso de inversão das correntes no final da preamar, também no final da baixa-mar esta inversão se dá, em alguns locais, a partir do fundo.

As observações aqui discutidas permitem definir o Canal de Porto e parte do Canal de Meio como canais de enchente, concordando com as conclusões refletidas pela PORTOBRÁS - INPH (1980a), enquanto que o Canal da Ilha das Onças pode ser apontado como canal de vazante, através do qual flue a massa d'água proveniente dos Rios Guamã e Guajarã-Açu.

3.3.2 - A Maré Salina

A Maré Salina se constitui na penetração da água marinha, salgada, no estuário em direção oposta ao fluxo fluvial. A ordem de grandeza e o mecanismo dessa penetração são fatores que definem o tipo de estuário e refletem diretamente o padrão de circulação do mesmo (Schubel, 1971). Normalmente é considerada mais importante que a maré dinâmica, pois é responsável pelos principais processos físico-químicos, biológicos e oceanográficos, nos estuários.

Segundo Ottmann (1968) os principais fatores que interagem na penetração da maré salina, são as oscilações das marés, a morfologia do estuário, a vazão de água doce fluvial, a evaporação e a precipitação pluviométrica na bacia estuarina.

No Estuário Guajarã existem poucos dados quantitativos sobre este fenômeno. Por outro lado, inúmeras observações e citações bibliográficas referem-se ao fato de que as águas da Baía do Guajarã e Rio Guamã tornam-se salobras durante os meses de estiagem.

Sioli (1957) comprovou a presença de água marinha diluída no Rio Guamã ao registrar a ocorrência de diatomáceas marinhas, provenientes, possivelmente, das águas do Cabo Maguarinho da Baía do Marajó.

Egler e Schwassmann (1962), ao medirem através da condutividade elétrica o conteúdo de eletrólitos das águas da Baía do Marajó no trecho Belém-Macapá, levantam a hipótese de que no caso do Estuário Amazônico, a condutividade possa ser afetada em parte pela decomposição de matéria orgânica proveniente em grande quantidade de plânctons e diatomáceas.

Moreira Filho et.al. (1974) investigando as diatomáceas da foz do Rio Guamã encontram uma predominância de 60% de espécies marinhas, caracterizando a ambiente como de águas salobras.

Segundo Santos (1982) a salinidade é virtualmente nula ao longo da Baía do Guajará.

Gessner (1960 in Egler e Schwassmann, 1962) mediu valores de condutividade para as águas fluviais amazônicas (Rio Negro-Solimões) da ordem de 42,7 μ hos.

Egler e Schwassmann (1962) verificam valores na faixa de 52 a 61 μ hos a 1.300km acima da foz do Rio Amazonas.

Santos (1986) encontrou valores para a condutividade no sistema Tocantins-Araguaia oscilando entre 18 a 60 μ hos. Segundo este autor os valores elevados decorrem das concentrações de eletrólitos provenientes das rochas intemperizadas nas quais este sistema se implantou.

Segundo dados obtidos na Estação Fluviométrica Badajós do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), localizada a cerca de 150km de Belém, no rio Capim, afluente do Guamã, a condutividade variou entre 31 μ hos e 49 μ hos, durante o período de novembro/1984 a fevereiro/1985.

De acordo com o que foi abordado acima verifica-se que as águas fluviais amazônicas apresentam condutividade variando entre 18 a 61 μ hos. Valores acima desta faixa no estuário, podem sugerir a presença de águas marinhas diluídas, considerando-se que esta condutividade está diretamente ligada a salinidade (Hem, 1959 in Egler e Schwassmann, 1962 e Cordeiro, 1986).

3.3.2.1- Mecanismo de entrada da Maré Salina no Estuário

Com o objetivo de definir o mecanismo de entrada das águas salobras na Baía do Guajará, bem como tentar estabelecer um quadro da distribuição das águas com diferentes concentrações de eletrólitos, foram feitas 88 medidas pontuais de condutividade ao longo do estuário.

Em cada ponto foram coletados dados na superfície e a cerca de 4-5 metros de profundidade, que resultaram em mapas de isocondutividade e de isohialinas para o estuário, apresentados nas figuras 14 e 15.

Os valores de salinidade foram obtidos a partir das medidas de condutividade convertidas através de uma carta de calibração que considera a temperatura como função determinante. (fig. 5).

Os resultados revelaram importantes variações laterais de condutividade/salinidade no Estuário Guajará.

No final de vazante/início da enchente, as águas proveniente dos Rio Guamã e Guajará-Açu, com valores de condutividade/salinidade relativamente baixos (100-300 μ hos / 0,04 - 0,12‰) ocupam todo o canal de vazante pela margem esquerda do estuário (Canal da Ilha das Onças).

Por outro lado, no canal de enchente (Canal do Meio), registram-se valores de condutividade/salinidade variando entre 350-1000 μ hos/0,15 - 0,42‰, indicando nitidamente a entrada das águas mais condutivas salobras e não fluviais.

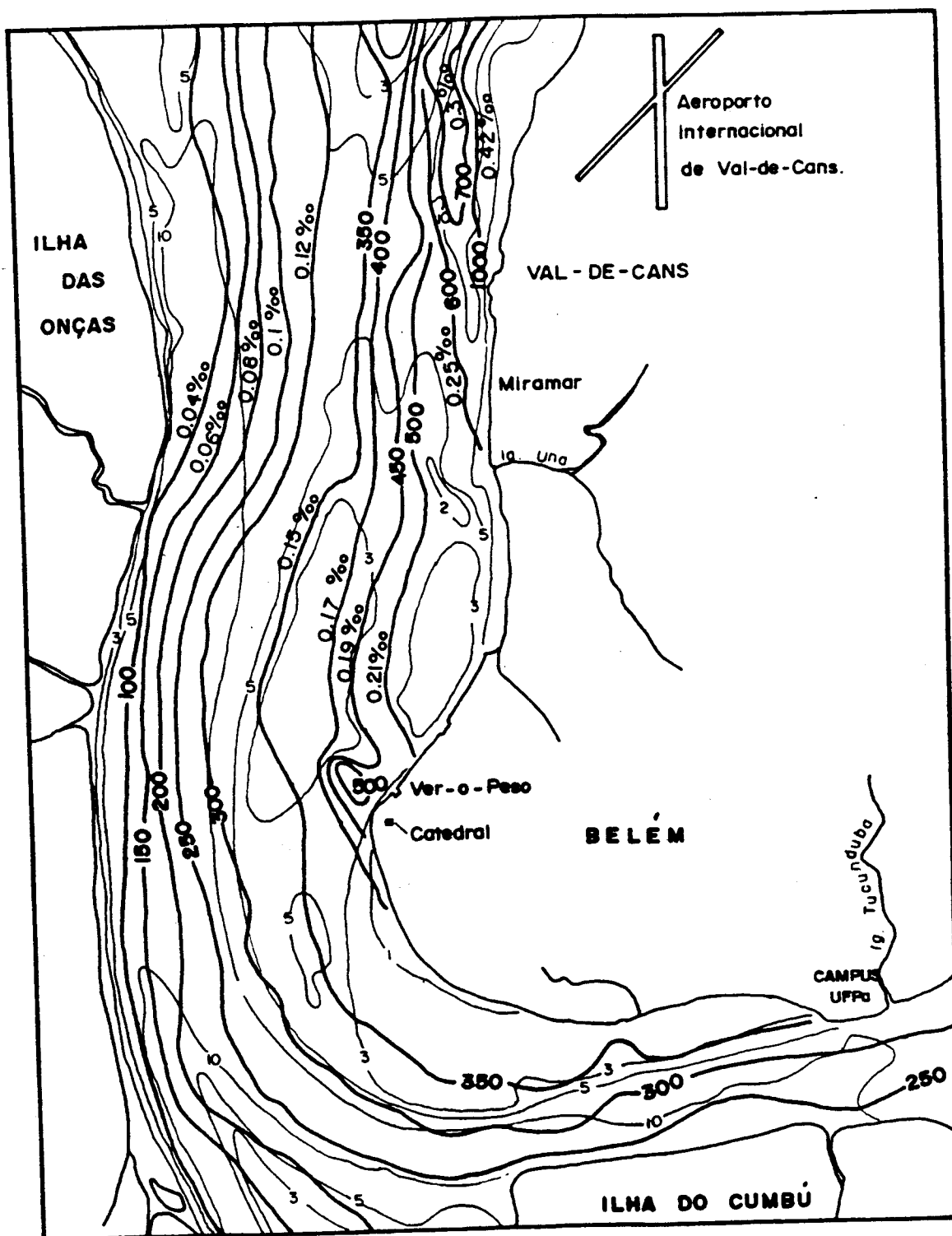


Fig. 14 - Curvas de iso-condutividade / Isohalinas para o Estuário Guajar, em superfície , no final da vazante / início da enchente. Data : 05/12/86 (maré intermediária entre Sizígia e Quadratura). Temperatura da água variando entre 28.8° C e 29.2° C.

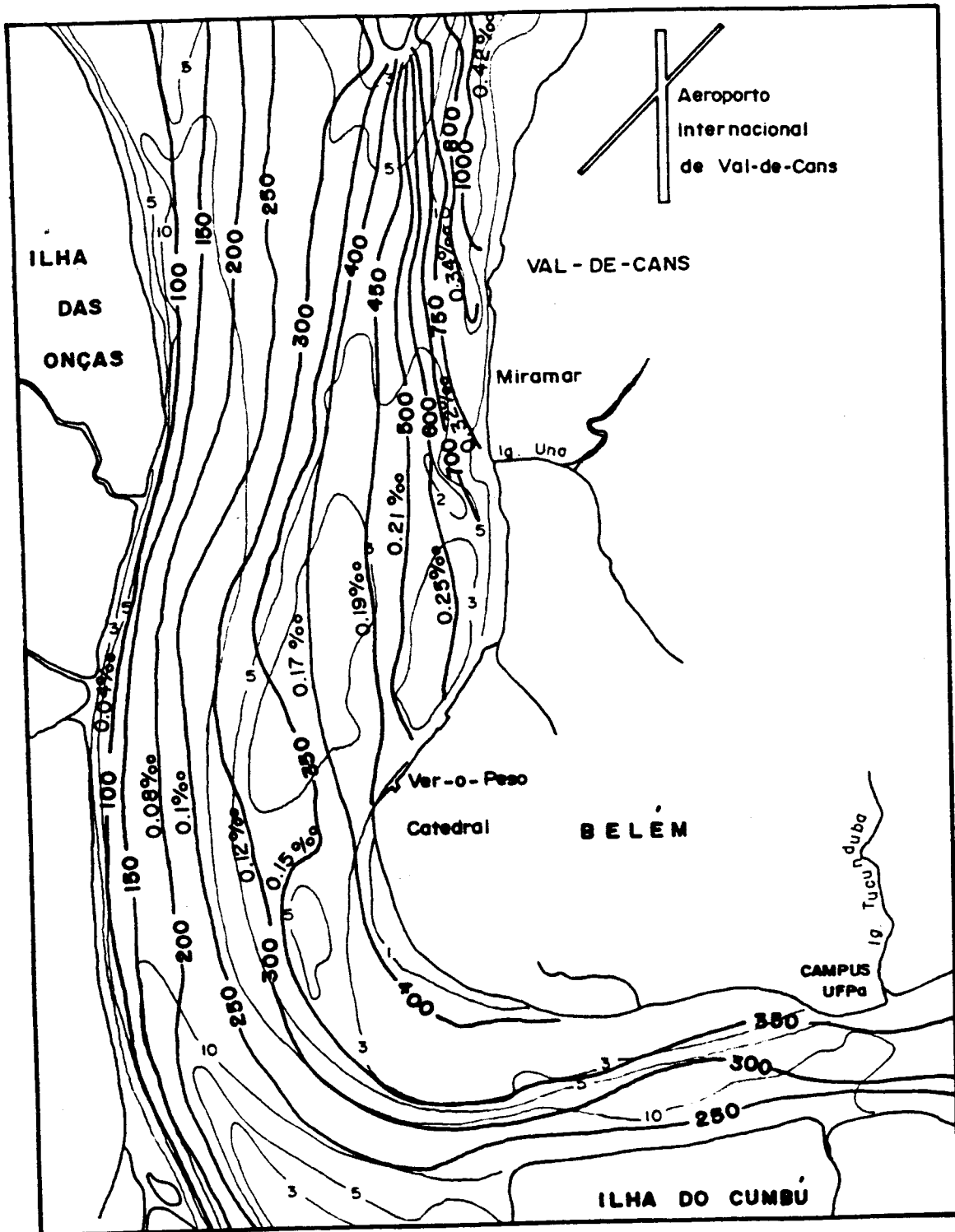


Fig.15- Curvas de iso-condutividade / Isohalinas para o Estuário Guajará, à cerca de 4-5m de profundidade, no final da vazante/início da enchente. Data:05/12/86 (maré intermediária entre Sizígia e Quadratura). Temperatura da água variando entre 28.8°C e 29.2°C.

ais, portanto, nesta região da Baía do Guajará. Deve ser destacado que os valores mais elevados de condutividade/ salinidade ocorrem próximos do fundo indicando a penetração da maré salina sob a forma de cunha que adentra no canal de enchente (fig.15).

Para o Rio Guamã foram elaborados também duas cartas com curvas de isocondutividade/isohialinas (figs 16 e 17).

Interpretando-se a figura 16 verifica-se que no início da vazante ocorre um aumento gradual dos valores da condutividade/salinidade no sentido da margem esquerda para a direita. Estes oscilam entre 190 e 310 μ hos de condutividade e 0,085‰ e 0,14‰ de salinidade.

Em condição de enchente já implantada, no rio Guamã podem se formar, eventualmente, bolsões d'água, com condutividade/salinidade mais baixas (300 μ hos/ 0,12‰), que se individualizam e aparentemente ficam retidos nas zonas de remanso (fig. 17). Neste caso, algumas vezes as águas de sub-superfície mostram-se menos condutivas que as de superfície.

3.3.2.2- Classificação do Estuário

Os dados acima permitem classificar o Estuário Guajará quanto ao padrão de circulação, como parcialmente misturado, ou do tipo B, segundo a classificação de Pritchard (1955 in Schubel, 1971), ainda com variações laterais decorrentes da morfologia, com um canal de enchente e um de vazante, ambos com mecanismos próprios de implantação da maré salina. Essas características de estuário parcialmente misturado com variações laterais tornam-se mais evidente nos momentos próximos ao início das enchentes e das vazantes, quanto a ação das correntes torna-se mínima.

No decorrer das enchentes e vazantes, conforme foi observado, o estuário assume características de tipo homogêneo com águas mais diluídas concentradas na superfície.

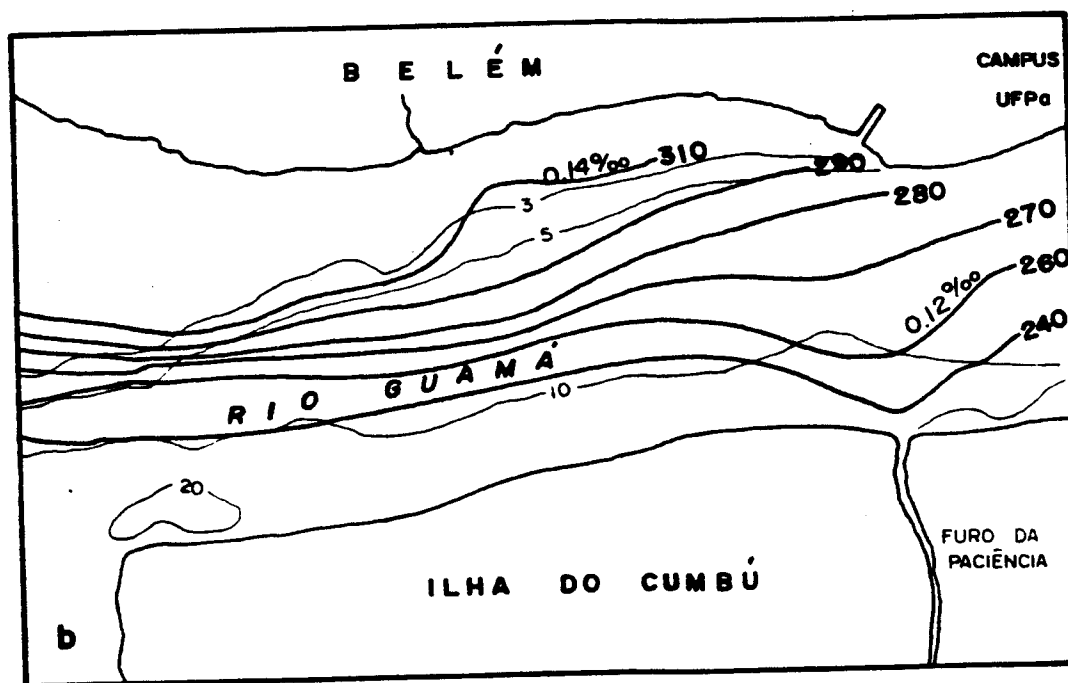
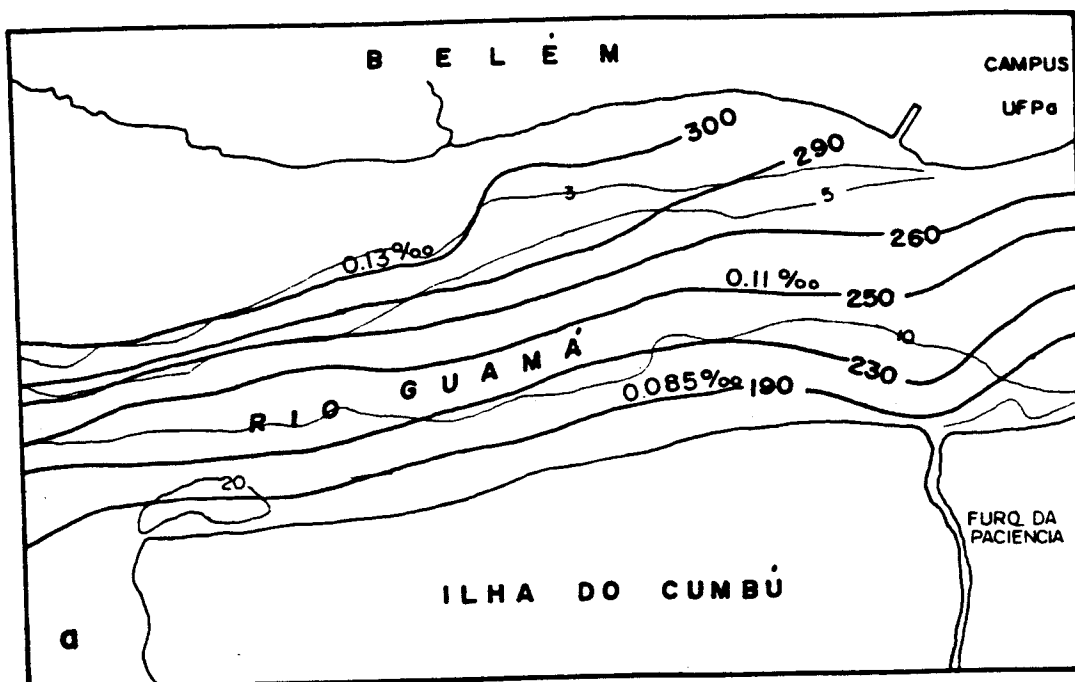


Fig. 16 - Curvas de iso-condutividade/isohalinas para a foz do Rio Guamá, com maré no início da vazante, em superfície (a) e no fundo (b). Temperatura da água variando entre 27.5°C e 28.8°C. Data 11/11/86.

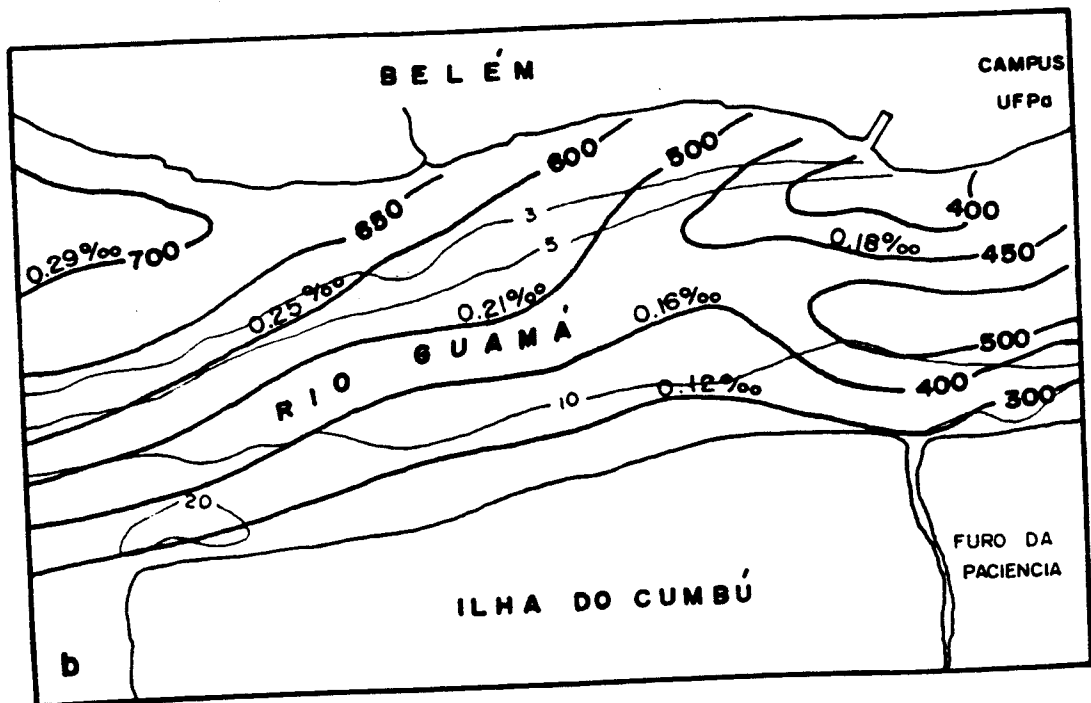
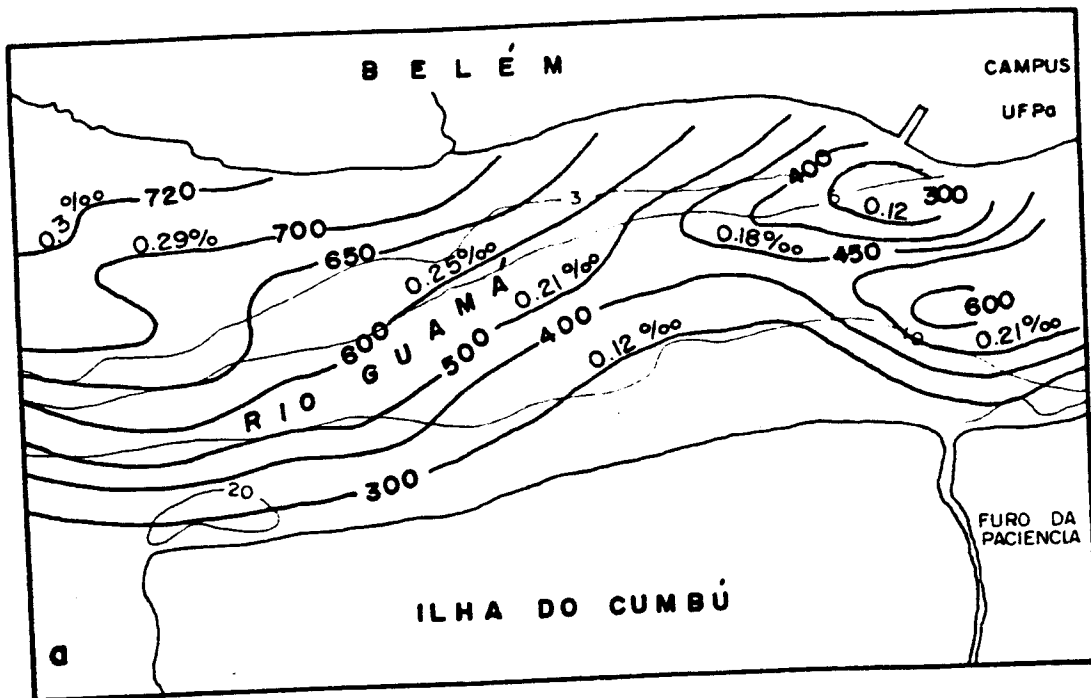


Fig.17 - Curvas de iso-condutividade / isohalinas para a foz do Rio Guamá, com maré em posição de meio de enchente, em superfície (a) e no fundo (b). Temperatura da água variando entre 29°C e 29.8°C . Data: 5/12/86.

Finalizando deve ser ressaltado, que as observações acima referem-se a períodos de menores descargas fluviais. Em períodos chuvosos a maré salina não alcança a Baía do Guajará e o Rio Guamã.

3.4- Análise dos parâmetros físico-químicos das águas do Estuário Guajará

Com o objetivo de caracterizar as variações das propriedades físico-químicos das águas do estuário guajarinense, foram efetuadas medidas de teor de oxigênio dissolvido, temperatura, pH, condutividade e concentração de material sólido em suspensão na Baía do Guajará. Referidas medidas foram executadas nos períodos correspondentes ao final do "inverno" e "verão" (vide datas nas tabelas). Desta forma, tornou-se possível identificar as variações decorrentes das oscilações pluviométricas, bem como observar o comportamento destes parâmetros no decorrer dos períodos semidiurnos de marés, para cada configuração lunar (sizígia e quadratura). Os dados referentes a estes levantamentos estão apresentados nas figuras 18 a 26 e nas tabelas 12 a 20.

3.4.1- Teor de Oxigênio dissolvido

O teor de oxigênio dissolvido no ambiente aquático é o melhor indicador da velocidade dos processos físico-químicos e biológicos que nele ocorrem. Variações de suas concentrações podem ser resultantes dos fenômenos biológicos e da oxidação da matéria orgânica, estando a disponibilidade de O_2 condicionada por movimentos da massa d'água e ainda pela temperatura (Santos, 1986).

Estudos realizados no Sistema Tocantins-Araguaia revelam seu equilíbrio quanto ao teor de O_2 . No período seco os teores variam em torno de 7,0 - 8,0 mg/l, enquanto que na época chuvosa registram-se valores de 5,0-6,0 mg/l (Santos, 1986). Este autor, justifica a queda dos valores de O_2 , no período chuvoso pela entrada da matéria orgânica em grande quantidade nas águas devido as enchentes. Os dados obtidos na Estação

TABELA 12

HOPÁRIO	O ₂ (mg/l)	T(°C)	pH	Condutiv. mhos	Conc. Mat. Susp. (mg/l)	OBS.
14:00	4,52	29,5º	4,79	21	62	Início Fluxo Enchente
	4,52	29,4º	5,23	24	70	
15:00	4,70	29,5º	4,52	20	56	
	4,70	29,5º	4,70	22	55	
16:00	4,85	28,5º	4,35	19	40	Vento NNE Ondas 0,5m
	4,85	28,5º	4,43	21	42	
17:00	4,80	28,5º	5,37	19	48	
	4,80	28,5º	5,12	21	49	
18:00	4,90	28,5º	4,92	20	52	Chuva Rápida
	4,90	28,4º	4,51	22	54	
19:00	5	28,5º	4,53	21	65	
	5	28,4º	4,26	29	66	
20:00	5,25	28,5º	4,50	20	95	Início Fluxo Vazante
	4,95	28,4º	4,61	21	98	
21:00	5,60	28,5º	4,10	20	138	
	5,51	28º	4,51	20	134	
22:00	4,90	28,5º	4,48	21	140	
	4,80	28º	4,68	22	137	
23:00	4,92	28,3º	4,41	20	133	
	4,90	27,8	4,72	21	149	
Média	4,91	28,5	4,63	21,2	84.15	

TABELA 13

HORÁRIO	O ₂ (mg/l)	T(°C)	pH	Condutiv. μ mhos	Conc, Mat. Susp.	OBS:
6:30	4,32	27,9	5,12	22	42	
	4,64	27,8	4,90	23	51	
7:30	4,36	27,8	5,21	22	61	Início Enchente (~ 7:00)
	4,58	27,8	5,02	23	68	
8:30	4,61	27,8	4,88	20	70	
	4,62	27,8	5,01	21	81	
9:30	4,80	27,2	4,86	21	66	
	4,72	27,2	4,91	22	79	
10:30	4,78	28,5	4,90	19	102	
	4,76	28,3	5,02	22	133	
11:30	4,62	28,9	4,97	23	108	
	4,52	28,5	4,94	29	144	
12:30	4,60	28,8	5,06	23	99	Início Vazante (~12:00)
	4,72	28,5	4,81	26	102	
13:30	4,32	29,2	4,78	22	151	
	4,56	29,1	4,58	24	160	
14:30	4,62	29,2	5,10	21	148	
	4,71	29,0	5,08	22	170	
15:30	5,00	28,9	4,32	20	98	
	5,31	29,0	4,66	21	102	
16:30	4,90	28,7	4,78	20	108	Vento Geral
	4,92	28,5	4,68	22	201	
17:30	4,86	28,5	4,81	22	159	
	4,72	28,4	4,80	23	198	
18:30	4,70	28,2	5,00	22	144	
	4,82	28,1	5,09	24	200	
19:30	4,60	27,9	5,11	23	108	Parada p/ encher
	4,58	27,6	5,32	25	141	
Médio	4,69	28,39	4,92	22,39	117,6	
Desvio	0,20	0,48	0,20	1,97	44,72	

TABELA 14

HORÁRIO	O ₂ (mg/l)	T(°C)	pH	Condutiv. µmhos	Conc. Mat. Susp. (mg/l)	OBS:
7:30	5,1	28,9	4,14	21	90	Início da Vazante 6:00hs
	4,75	28,9	4,26	22,5	103	
8:30	5,2	28,5	4,22	22	106	
	4,75	28,3	4,24	22,8	144	
9:30	4,7	28,5	5,12	21	58	Ventos Moderados
	4,5	28,3	5,32	26	323	
10:30	5,0	28,5	4,22	20,5	86	NE (Cte)
	4,7	28,2	4,28	25	407	
11:30	4,45	28,5	5,08	21	86	Vento SE Moderado
	4,40	28,4	5,14	25	134	
12:30	4,75	28,5	5,10	21	71	
	4,40	28,4	4,98	28	90	
13:30	4,75	28,9	4,41	22	64	Início do Fluxo Enchente
	4,55	28,5	4,39	28	67	
14:30	4,80	29,9	5,48	21	20	
	4,50	28,8	5,65	23	300	
15:30	4,75	29	5,45	20	37	Vento N
	4,70	28,8	5,61	22	133	
16:30	5,20	28,5	4,25	21	34	Forte
	4,70	28,5	4,32	24	157	
17:30	5,20	28,5	4,2	21	36	
	5,20	28,5	4,34	25	161	
18:30	5,10	28,4	4,22	22	51	
	5,18	28,4	4,25	24	150	
Média	4,87	28,49	4,71	22,86	121,16	
Desvio	0,29	0,25	0,53	2,24	94,36	

TABELA 15

HORÁRIO	O ₂ (mg/l)	T(°C)	pH	Condutiv. µmhos	Conc. Mat. Susp. (mg/l)	OBS:
7:30	6,4	28,2	5,35	72	102	
	6,2	28,6	5,50	101	370	
8:30	6,3	29,3	5,30	99	119	Início
	5,5	29,1	5,38	109	333	Enchente
9:30	6,4	29,5	5,43	95	95	
	6,3	29,8	5,29	100	127	
10:30	6,4	29,3	5,30	209	107	Vento
	6,4	29,9	5,34	211	125	NE fracos
11:30	6,5	29,5	5,41	790	68	moderados
	6,5	29,8	5,51	860	70	
12:30	6,6	29,6	5,73	1300	29	S/ vento
	6,5	29,5	5,65	1340	65	
13:30	6,5	29,6	5,36	1600	13	Chuva
	6,8	29,4	5,22	2000	18	Rápida
14:30	6,4	29,8	5,59	1210	12	14:00
	6,3	29,1	5,51	1200	48	Início da Vazante
15:30	6,7	29,8	5,69	510	111	
	7,0	29,5	5,59	680	181	Vento forte
16:30	7,2	28,8	5,45	430	47	Ondas
	6,6	28,8	5,40	440	294	> 1,5m
17:30	6,3	29,0	5,43	260	113	
	6,3	28,6	5,18	275	451	
18:30	6,4	28,7	5,40	190	155	
	6,3	28,5	5,10	200	454	
Média	6,45	29,23	5,42	595	146,12	
Desvio	0,30	0,47	0,15	550	130,65	

TABELA 16

HORÁRIO	O ₂ (mg/l)	T(°C)	pH	Condutiv. µmhos	Conc. Mat. Susp.	OBS:
20:00	6,65	29,0	5,2	82	80	
	7	28,8	4,8	82	78	
21:00	6,45	28,9	5,1	80	83	Vento NNE
	7	28,6	5,0	82	72	
22:00	6,75	28,6	5,1	80	51	Forte
	6,50	28,6	5,3	85	55	
23:00	6,60	28,6	4,98	80	48	Início Fluxo Enchente
	6,52	28,6	5,31	83	49	
24:00	7	28,4	5,8	80	41	
	6,8	28,3	5,20	82	50	
1:00	6,9	28,4	5,17	85	55	
	6,9	28,4	5,30	89	60	
2:00	7,15	28,2	5,24	83	52	
	6,75	28,2	5,12	90	61	
3:00	6,90	28,3	5,18	100	64	
	6,90	28,3	5,20	102	65	
4:00	7,2	27,9	5,20	185	56	
	7,0	28,1	5,11	185	64	
5:00	6,9	27,8	5,08	210	35	
	7,0	28,0	5,02	210	61	
6:00	6,9	27,8	5,20	125	54	Início Fluxo Vazante
	6,9	27,9	5,12	165	56	
7:00	6,8	28,7	5,13	89	46	
	6,7	27,9	5,10	92	50	
8:00	7,0	29,1	5,10	81	50	
	7,2	28	5,19	85	54	
9:00	6,8	29,3	5,15	80	11	
	6,7	28,5	5,20	80	50	
Médio	6,85	28,35	5,16	105,53	55,39	
Desvio	0,19	0,37	0,16	41,54	13,89	

TABELA 17

HORÁRIO	O ₂ (mg/l)	T(°C)	pH	Condutiv. µmhos	Conc. Mat. Susp. (mg/l)	OBS:
14:30	6,9	30	5,70	450	68	Vazante (início ~14:00)
	6,6	30	5,75	550	100	
15:30	6,8	30	5,73	340	91	Vento
	6,5	29,8	5,35	370	193	
16:30	6,4	29,8	5,89	185	66	Ondas
	6,5	29,7	5,92	186	191	
17:30	6,5	29,3	5,90	165	174	Chuvas Esparsas
	6,3	28,6	5,91	170	276	
18:30	6,3	28,6	6,01	145	101	
	6,4	28,5	5,98	150	233	
19:30	5,8	28,7	6,05	150	129	Quase Parada
	5,0	28,4	6,02	155	201	
20:30	6,4	28,4	6,07	162	62	Início Enc. (20:00)
	6,3	28,2	6,06	172	104	
21:30	6,4	28,5	6,06	152	75	
	6,3	28,6	6,08	152	297	
23:00	6,7	28,1	6,05	405	112	
	6,5	28,0	5,98	420	211	
24:00	6,7	28,3	5,97	650	95	
	6,6	28,1	6,12	750	148	
1:00	6,5	28,1	5,97	900	82	Quase Parada
	6,5	28,1	6,12	950	109	
2:00	6,6	28,0	5,97	740	80	Início Vazante
	6,5	28,1	6,08	810	94	
Média	6,42	28,74	5,93	386,62	136,04	
Desvio	0,36	0,70	0,16	268,37	66,60	

TABELA 18

HORÁRIO	O ₂ (mg/l)	T(°C)	pH	Condutiv. μ mhos	Conc. Mat. Susp. (mg/l)	OBS:
7:30	7,1	27,0	5,79	780	9	Estofa
	7,1	26,9	5,95	910	31	Vazante
8:30	6,9	28,2	5,99	780	14	Início fluxo
	6,8	28,0	5,92	800	27	Vazante
9:30	7,1	28,2	5,90	440	33	Vento
	6,9	28,2	6,9	470	68	
10:30	6,8	28,5	5,41	305	66	Terral
	6,8	28,7	5,66	311	178	c/
11:30	6,8	28,7	5,25	240	95	ondas
	6,6	28,7	5,38	245	193	
12:30	6,8	28,5	5,22	260	64	Nublado
	6,7	28,8	5,31	260	211	Vento fraco
13:30	7,0	29,1	5,40	259	22	s/ vento
	6,8	29,2	5,20	280	145	
14:30	6,7	28,0	5,26	235	39	Geral
	6,8	28,5	5,12	260	186	forte
15:30	6,8	28,3	5,33	273	31	Início fluxo
	6,5	28,4	5,16	281	46	enchente
16:30	6,6	29,2	5,28	250	30	
	6,6	29,1	5,37	265	108	
17:30	7,2	29,0	5,16	200	29	ondas
	7,0	28,6	5,39	205	89	
18:30	6,9	28,3	5,06	320	23	
	6,9	28,3	5,22	320	104	
19:30	7	27,8	5,20	530	28	Estofa de
	7	27,5	5,30	550	98	Preamar
Média	6,85	28,37	5,44	385,73	75,65	
Desvio Padrão	0,17	0,58	5,3	205,52	59,98	

TABELA 19

HORÁRIO	O ₂ (mg/l)	T(°C)	pH	Condutiv. mhos	Conc. Mat. Susp. (mg/l)	OBS:
3:30	7,52	27,8	5,72	62	53	
	7,58	27,6	6,04	79	57	
4:30	6,75	28,0	5,35	115	54	
	6,52	27,2	6,05	119	66	
5:30	6,50	27,7	5,72	120	56	Início Fluxo Vazante
	6,00	27,0	5,34	129	55	
6:30	6,75	27,9	5,63	80	56	
	6,60	27,2	5,87	80	60	
7:30	6,50	28,5	6,30	41	85	
	6,90	27,8	6,61	50	126	
8:30	6,20	28,0	5,66	42	83	
	6,20	28,0	5,98	47	116	
9:30	6,30	28,7	5,74	40	97	
	6,50	28,7	5,63	43	134	
10:30	6,20	28,6	6,70	42	103	
	6,00	28,7	6,81	48	146	
11:30	6,40	28,7	5,56	47	64	
	6,4	28,9	5,69	50	99	
12:30	6,5	29,3	5,79	49	58	Início Enchente
	6,3	29	5,60	49	76	
13:30	6,5	30	5,50	49	67	
	6,2	29,2	5,16	50	78	
14:30	6,4	29,8	5,09	49	54	
	6,3	29,8	5,32	51	81	
15:30	6,5	28,7	5,45	46	61	
	6,4	28,9	5,20	50	63	
16:30	6,6	29,0	5,89	45	51	
	6,4	28,6	5,70	49	61	
17:30	6,5	28,8	5,80	41	56	
	6,3	28,6	5,70	45	60	
18:30	6,8	28,5	5,71	45	60	
	6,7	28,4	5,60	52	60	
Média	6,47	28,48	5,75	59,5	74,87	
Desvio	0,28	0,73	0,40	25,36	25,37	

TABELA 20

HORÁRIO		O ₂ (mg/l)	T(°C)	pH	Condutividade µmhos	Conc. Mat. Susp. (mg/l)	Obs.
14:00	S	4,75	29º	5,25	21	40	Início
	F	4,75	28º	5,03	26	51	Vazante
15:00	S	4,52	28,5º	4,91	19	125	
	F	4,52	28,5º	4,86	23	144	
16:00	S	4,60	28,5º	4,65	20	127	
	F	4,51	28,0º	4,58	22	178	
17:00	S	5,00	27,5º	4,81	21	113	
	F	5,25	27º	4,78	21	237	
18:00	S	4,75	28º	5,14	21	237	
	F	4,35	27,6º	5,17	21	111	
19:00	S	4,60	28º	5,06	21	143	
	F	4,65	28º	4,97	22	163	
20:00	S	4,50	28,2º	5,09	21	113	
	F	4,55	28º	4,94	23	167	
21:00	S	4,50	28º	5,10	22	183	Início Enchente ~21:30
	F	4,55	27,8º	4,94	24	262	
22:00	S	4,55	28º	5,12	21	114	
	F	4,55	27,6º	5,08	24	118	
23:00	S	4,60	28º	5,14	21	120	
	F	4,50	27,5º	5,00	24	125	
24:00	S	4,55	27,6º	5,2	20	122	
	F	4,60	27,4º	5,15	21	129	
Média		4,62	27,9	4,99	21,8	137,36	
Desvio Padrão		0,19	0,42	0,17	1,62	59,07	

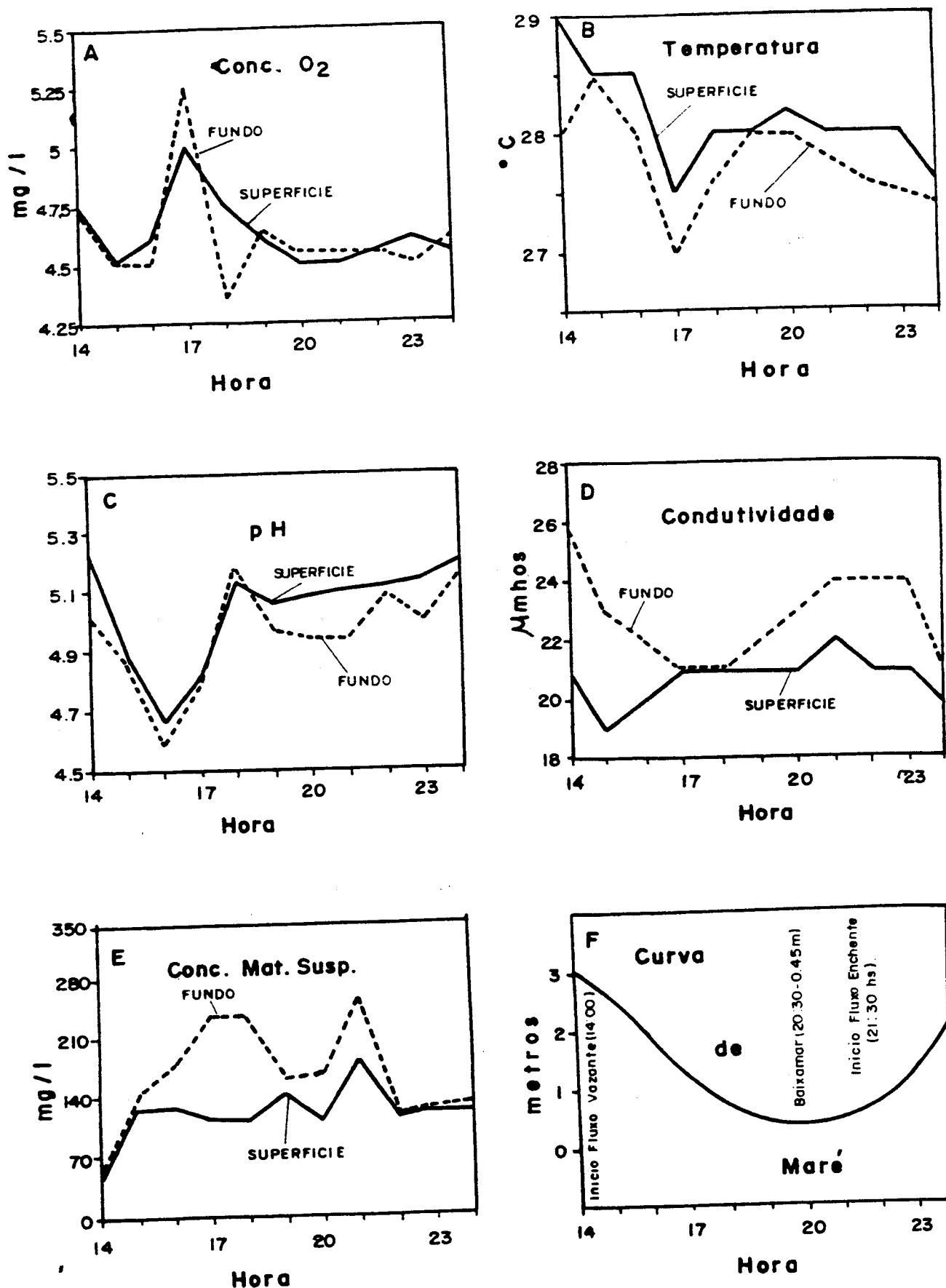


Fig.18-Varição da concentração de O₂ (A), temperatura (B), pH (C), condutividade (D) e concentração de material em suspensão (E) em um ciclo de maré de sizígia (F) para o dia 10/05/86.

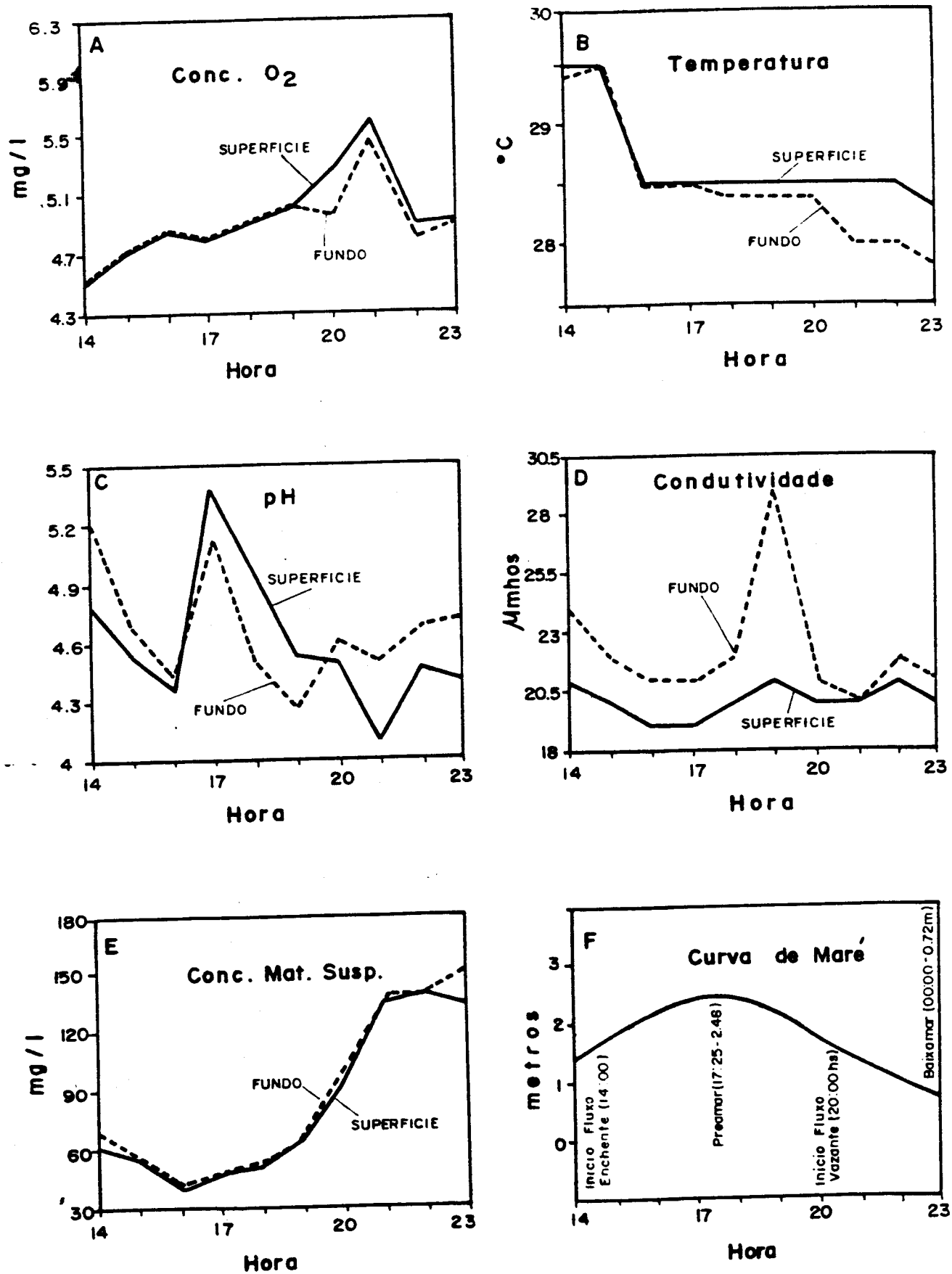


Fig. 19 - Idem figura 18, para maré de quadratura do dia 17/05/86

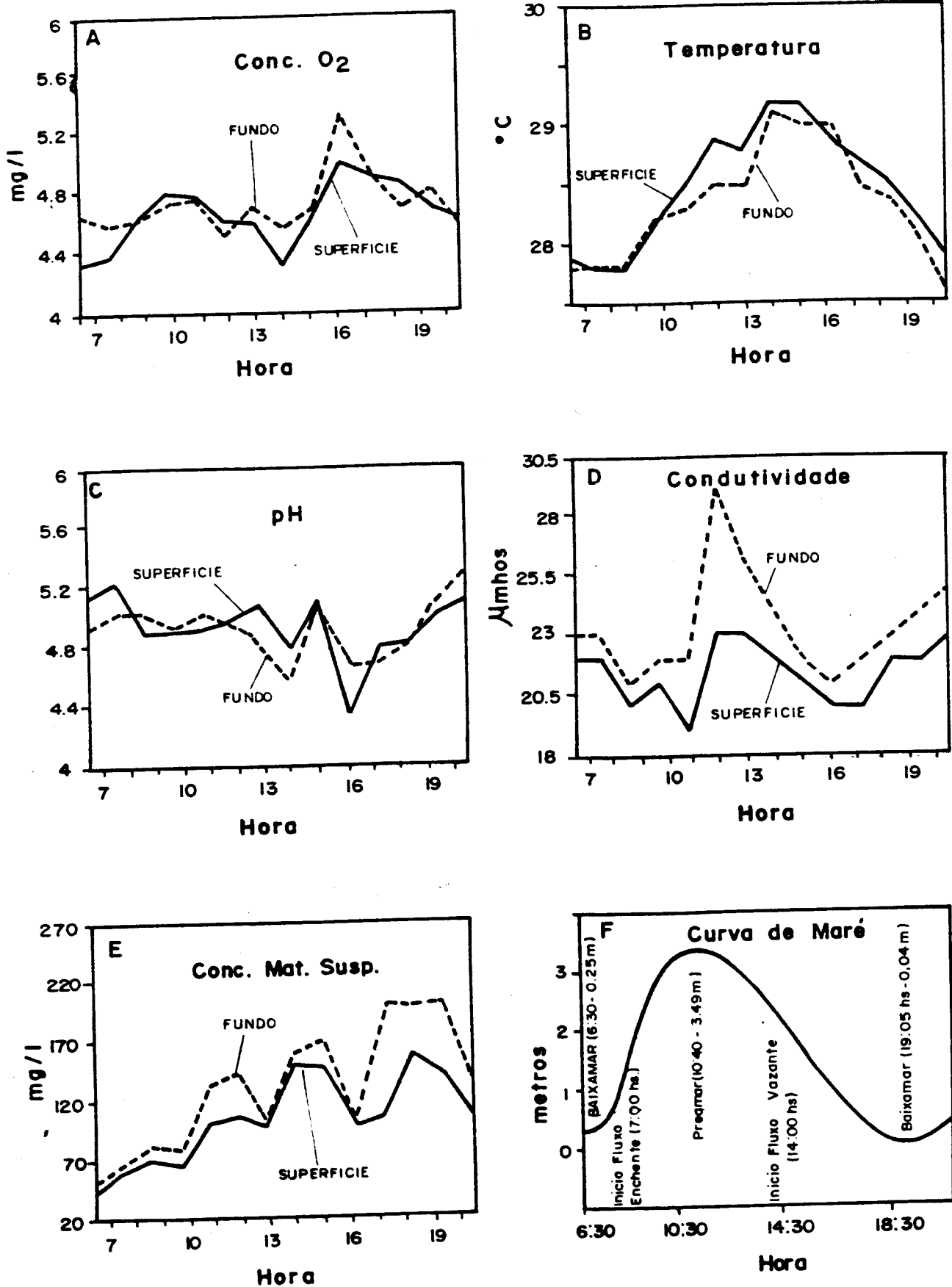


Fig. 20- Idem figura 18, para maré de sizígia do dia 23/05/86.

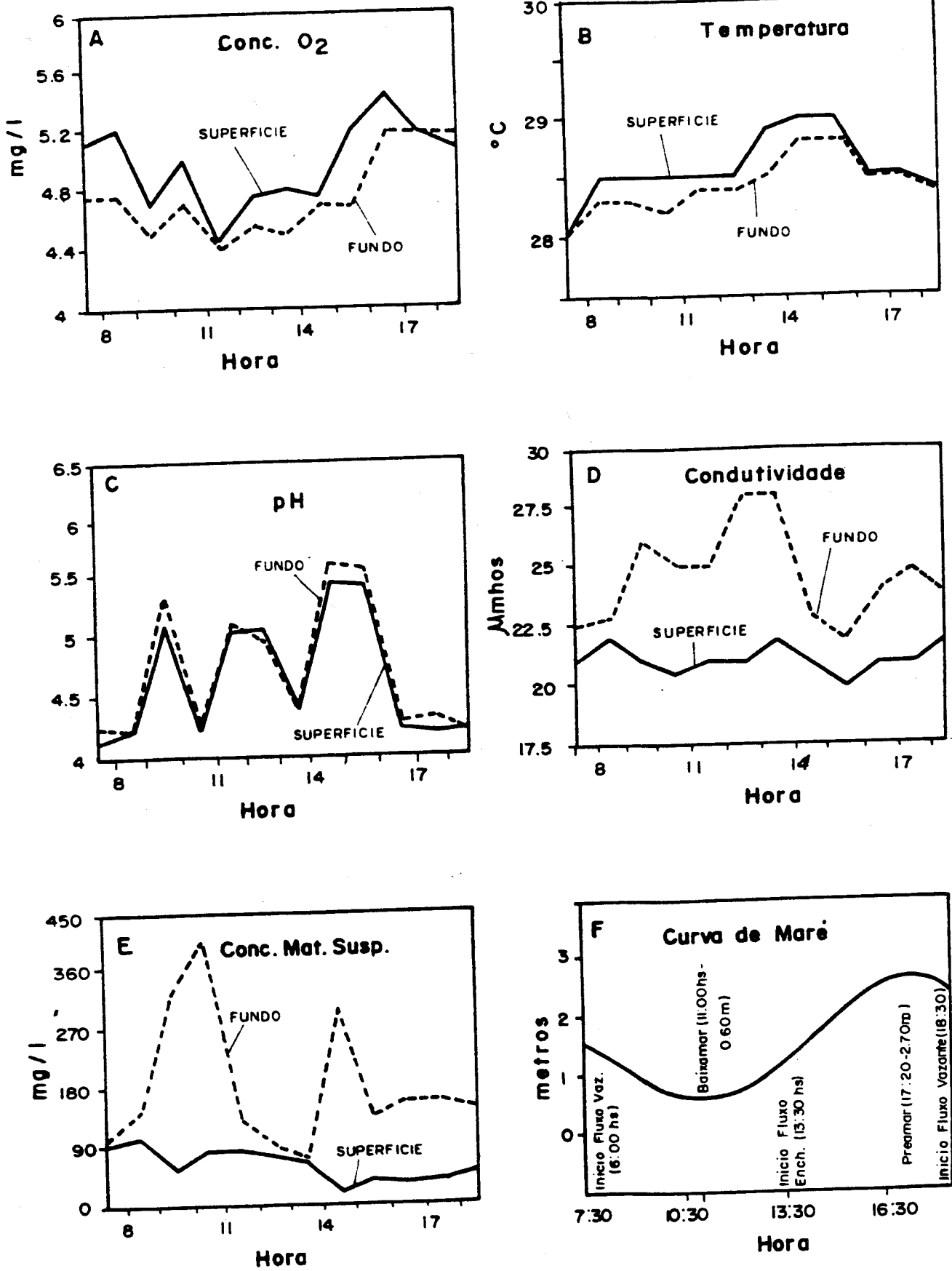


Fig. 21 - Idem figura 18, para maré de quadratura do dia 30/05/86.

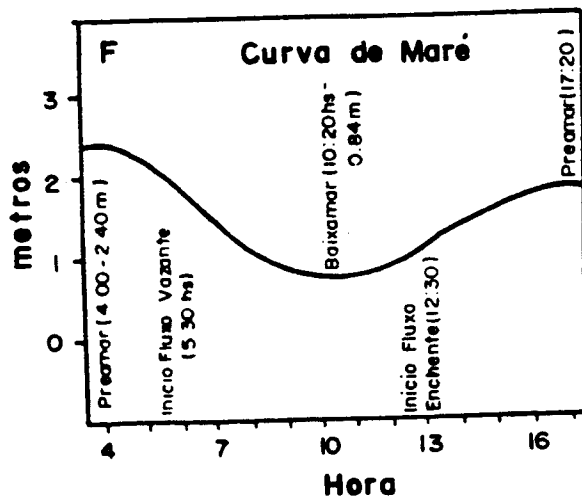
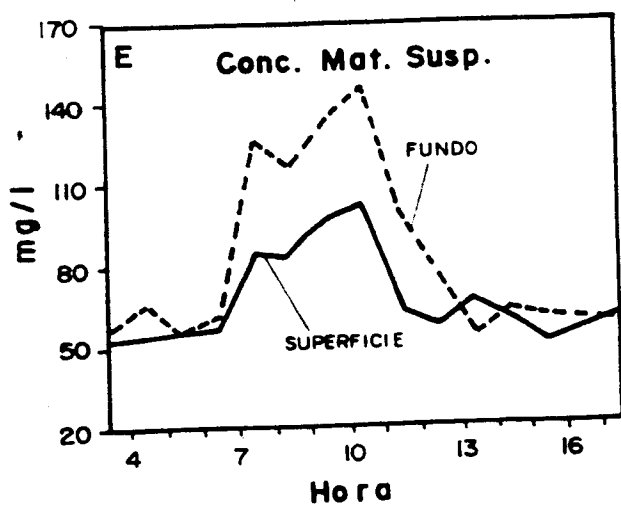
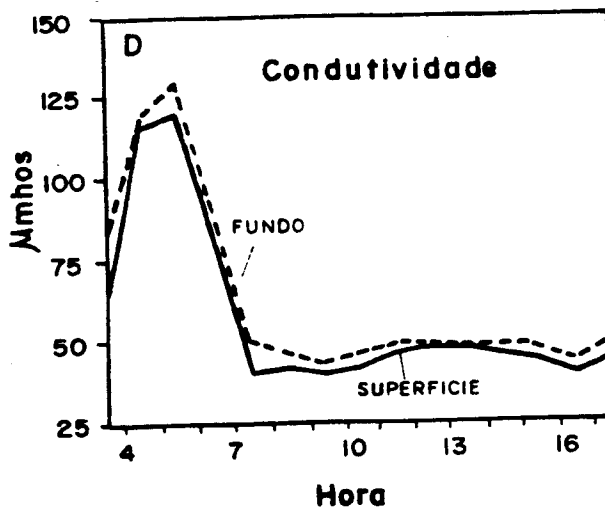
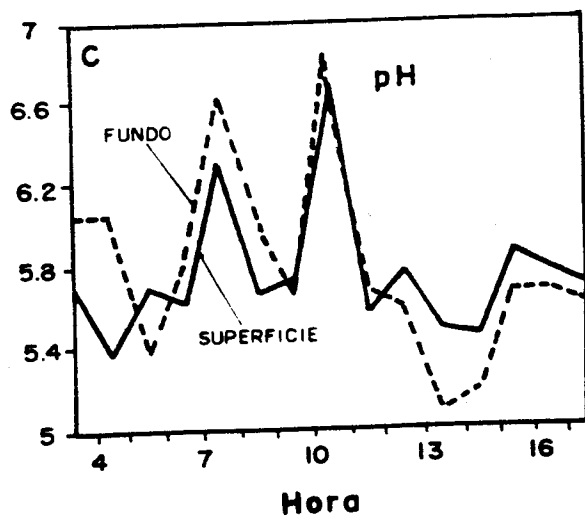
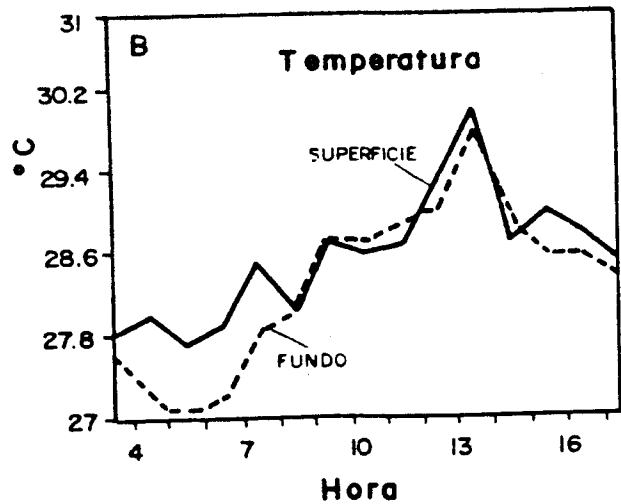
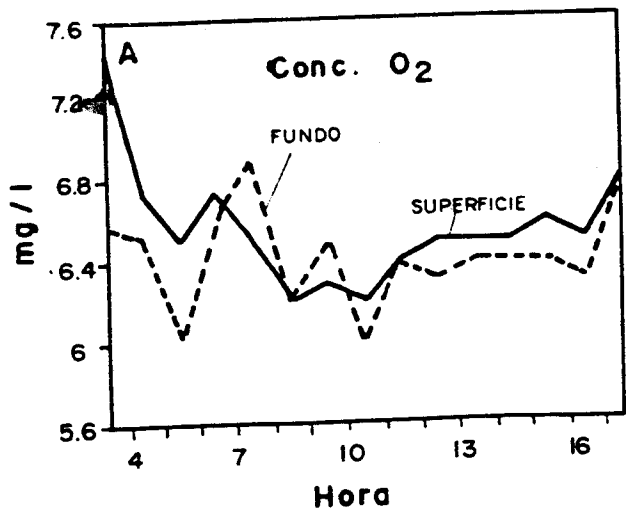


Fig. 22 - Idem figura 18, para maré de quadratura do dia 26/09/86.

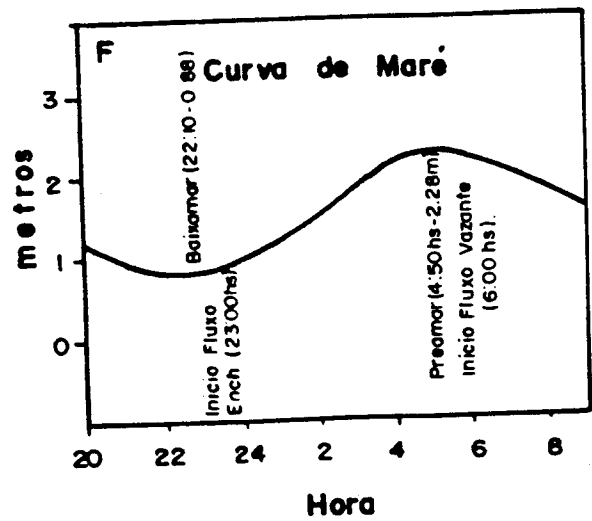
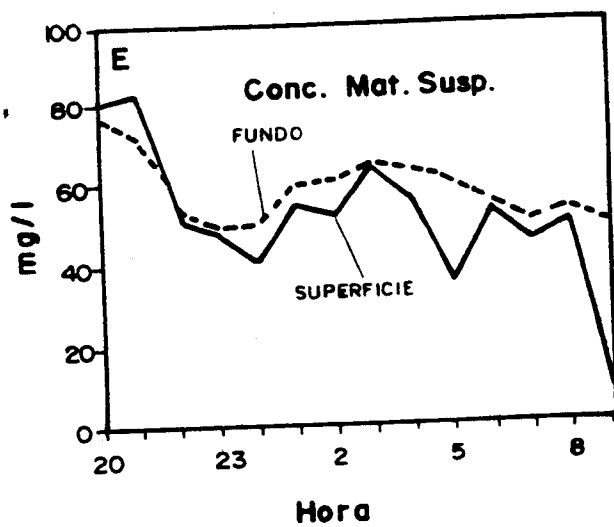
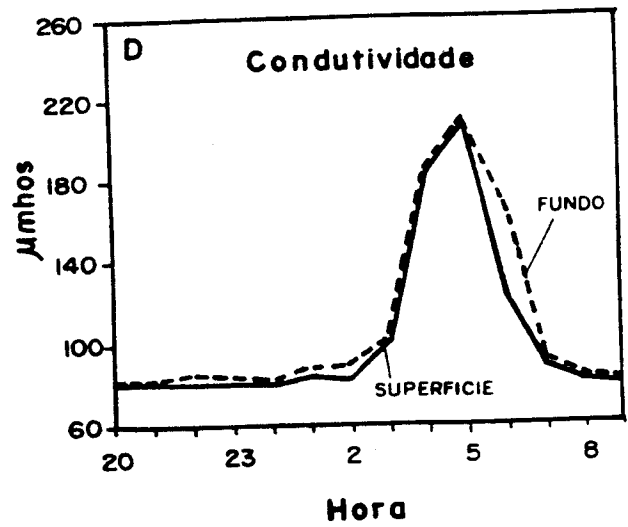
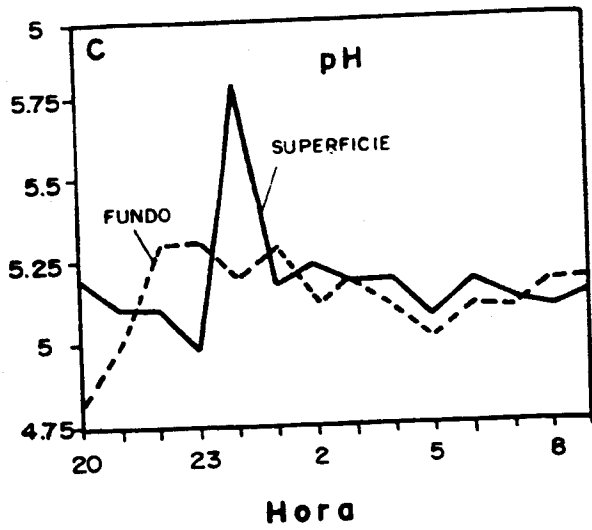
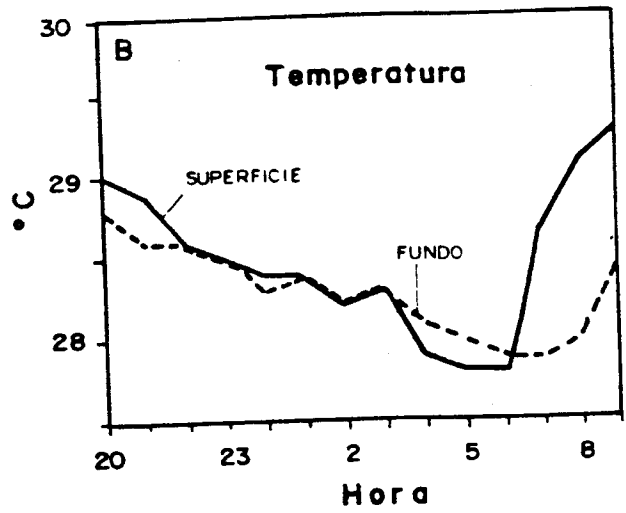
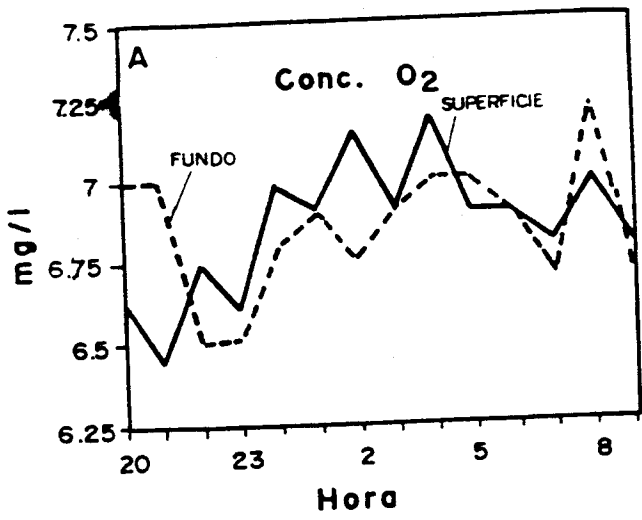


Fig. 23- Idem figura 18, para maré de quadratura dos dias 25 e 26/ 10/ 86.

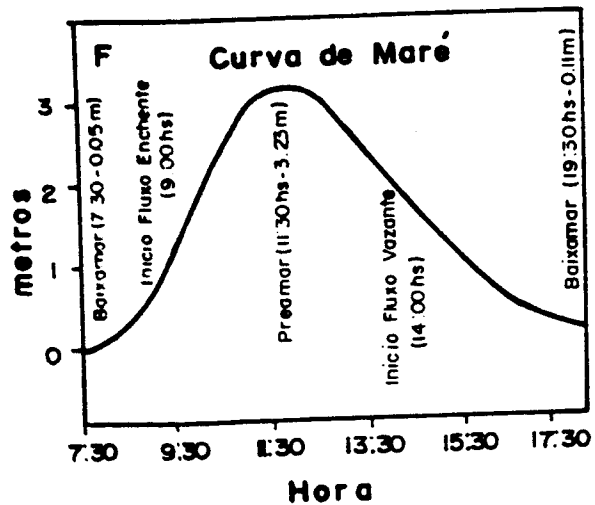
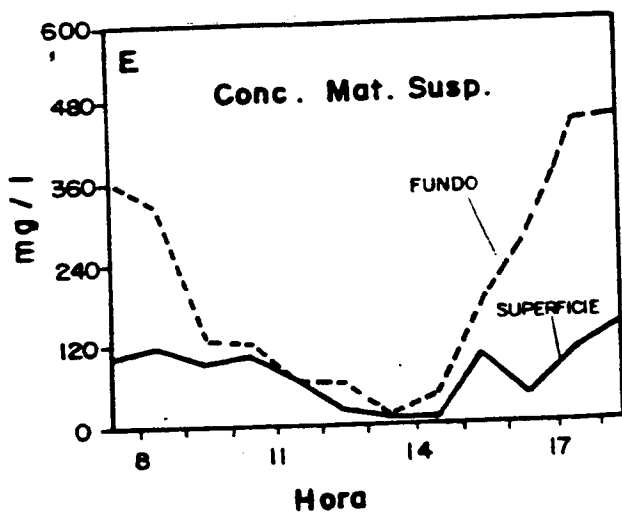
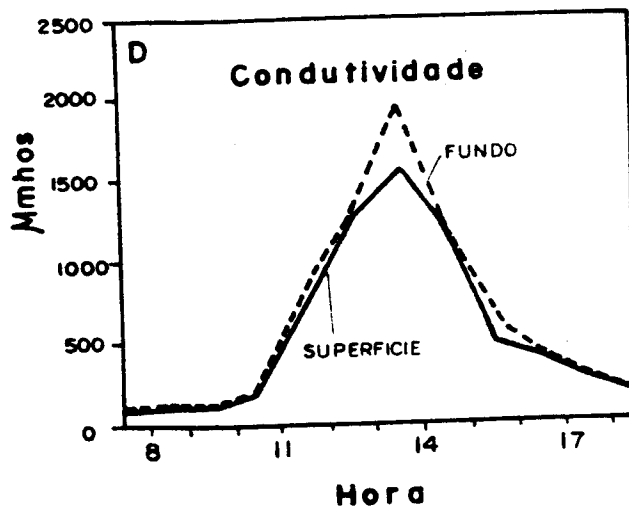
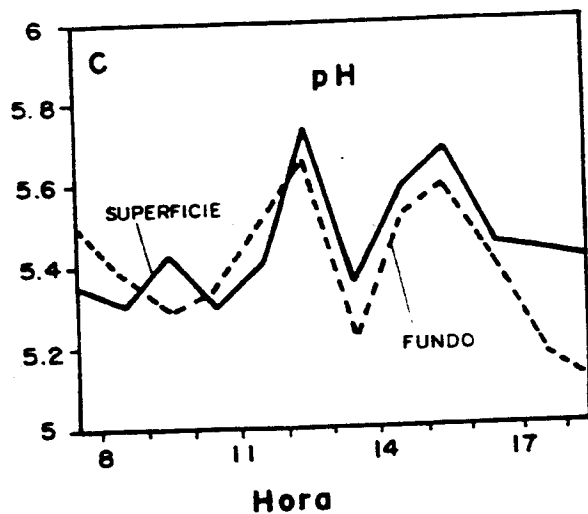
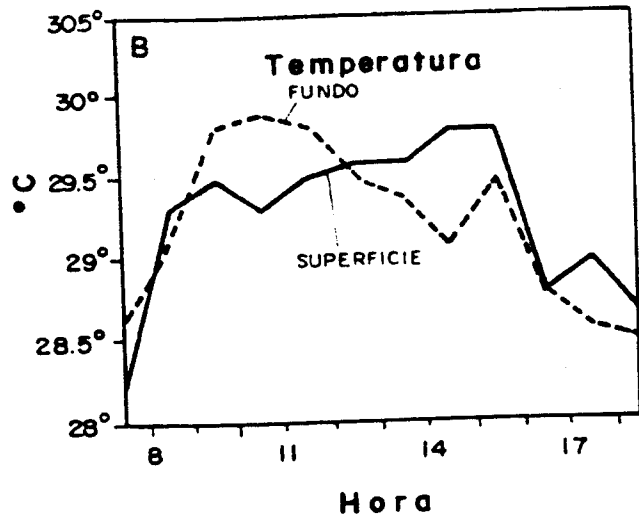
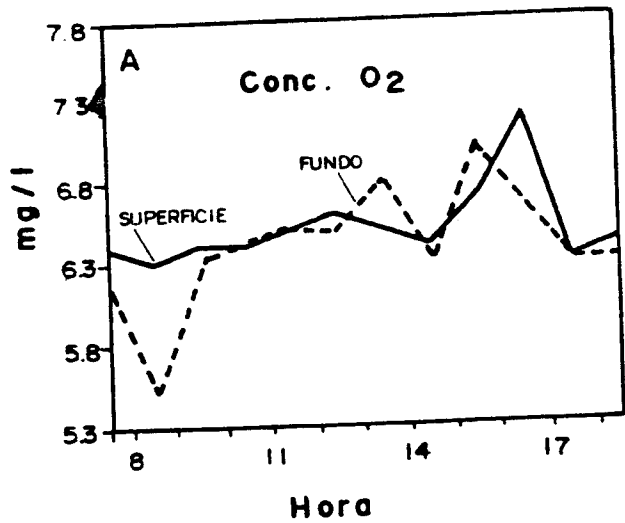


Fig. 24 - Idem figura 18, para maré de sizigia do dia 03/11/86.

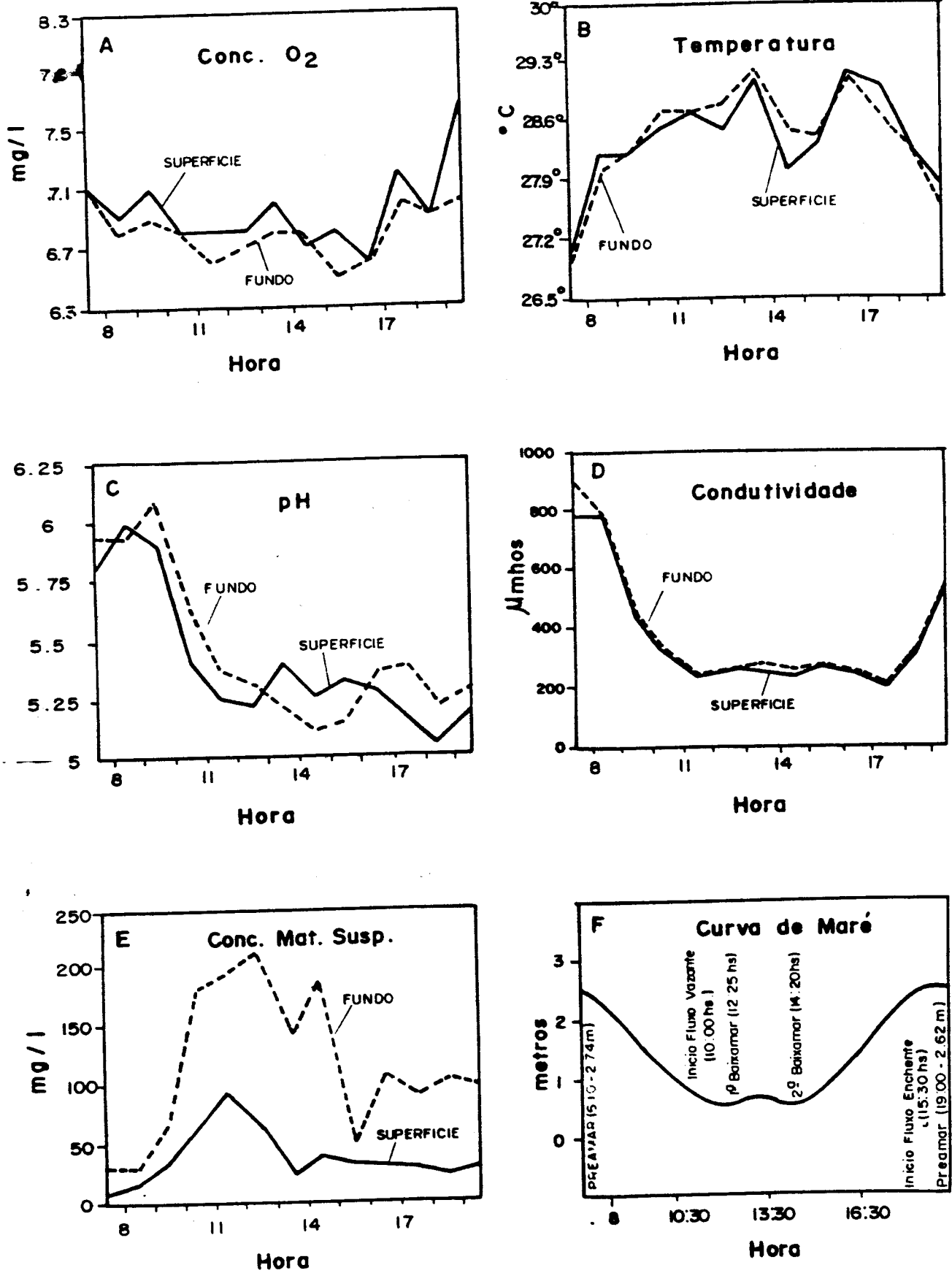


Fig. 25- Idem figura 18, para maré de quadratura do dia 10/11/86.

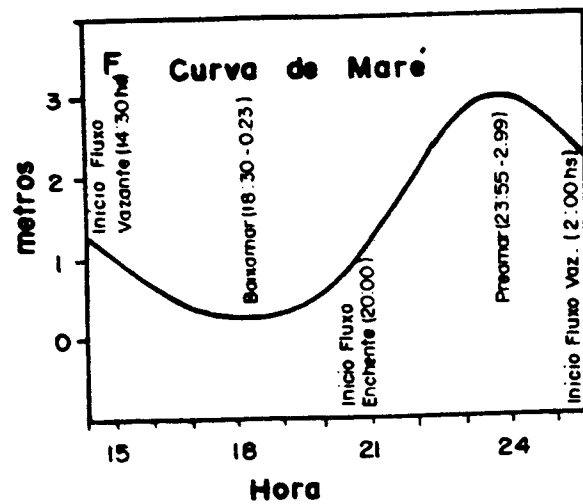
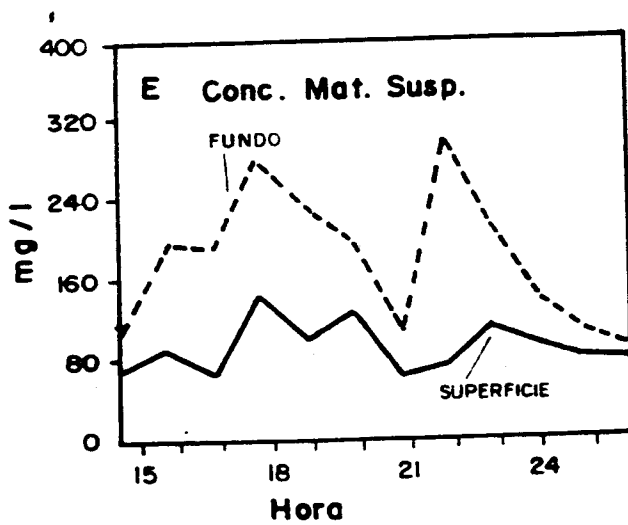
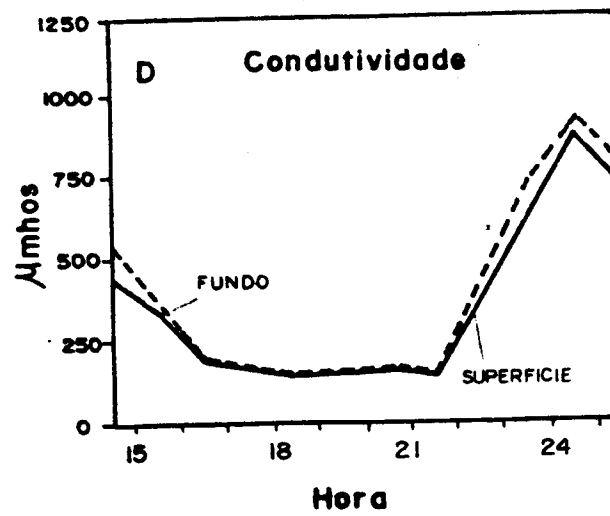
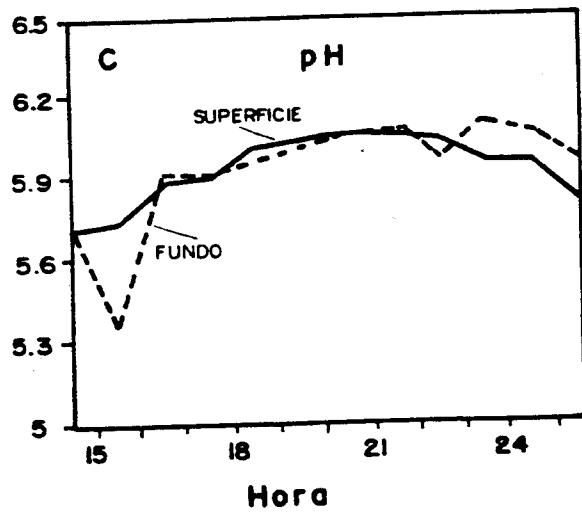
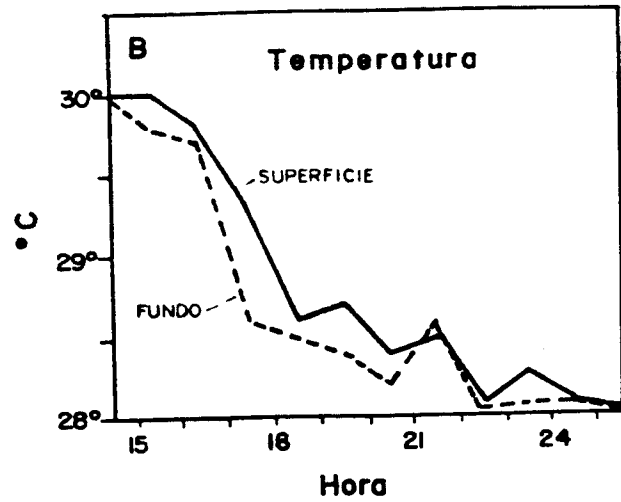
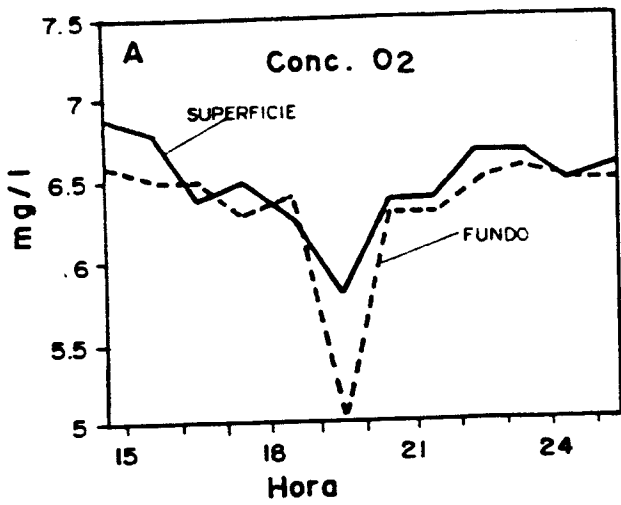


Fig. 26 - Idem figura 18, para maré de sizíglia do dia 17/11/86.

Fluviométrica Badajós, registraram concentração média de O_2 dissolvido entre 4,6 a 6,0 mg/l durante período de novembro/84 a março de 85, para o Rio Capim.

As medidas efetuadas na Baía do Guajará indicam um aumento relativo na concentração de O_2 dissolvido nas águas estuarinas no ano de 1986, no período menos chuvoso (agosto a novembro), quando alcançou um valor médio de 6,57 mg/l, em contraste com aquele observado na época "invernosa" (dezembro a junho) da ordem de 4,77 mg/l. Este comportamento está compatível com os dados levantados no Sistema Araguaia-Tocantins e na Estação Badajós citados acima. É importante destacar, ainda, as variações que o teor de O_2 sofre em relação aos ciclos quinzenais das marés nas águas guajarinas. Nas marés de sizígia observa-se uma diminuição da concentração de O_2 em comparação com os valores obtidos para as marés de quadratura, independente do regime pluviométrico sazonal (fig. 18a a 26 a).

Uma análise mais detalhada dos dados coletados, permite verificar que a concentração de O_2 dissolvido apresenta ainda variações horárias, decorrentes dos movimentos da maré, em períodos semi-diurnos. Frequentemente ocorre uma elevação do teor O_2 nos momentos intermediários entre as estofas de preamar e baixa-mar com um máximo em cada período de maré (fig. 2a e 3a, p.e.). Entretanto, podem surgir oscilações fortes durante o ciclo de maré sem definir claramente fases de valores máximos, tal como observado num dos levantamentos executados em maré de quadratura (fig. 6a p.e.).

No que se refere as diferenças entre a concentração do O_2 próximo a superfície e aquela de profundidade foram encontrados valores maiores para o primeiro caso, com variações pequenas ($\sim 0,5$ mg/l) em relação as águas de níveis mais profundos.

3.4.2- Temperatura

A temperatura da água constitui um fator controlador para a vida e para os processos químicos que se realizam

no ambiente aquático. É responsável, ainda, pela determinação dos padrões que controlam as taxas de metabolismo e crescimento do fitoplâncton que representa a base de toda a cadeia ecológica ligada aos estuários (Santos, 1986).

Associada ao vento, atua como agente determinante dos padrões de circulação estuarina, influenciando ainda na velocidade das relações químicas, na solubilidade e disponibilidade de gases do copo d'água (Santos, 1986).

Segundo Cunha (1982), a temperatura das águas estuarinas é função das condições meteorológicas e da profundidade do estuário.

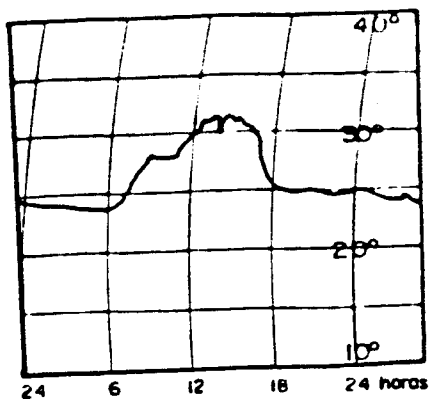
Lira et al. (1978) ao estudarem o estuário do Rio Mamucaba (PE) verificaram que as variações de temperatura nas águas sofrem influências da presença de mangues, que ao exporem seu sedimento de coloração escura aos raios solares, na baixa-mar, absorvem grandes quantidades de calor que posteriormente, nas marés altas, são transmitidas às águas.

O DNAEE registrou temperaturas da ordem de 28-29°C para às águas do Rio Capim, em dezembro de 1983, segundo dados da Estação Badajós.

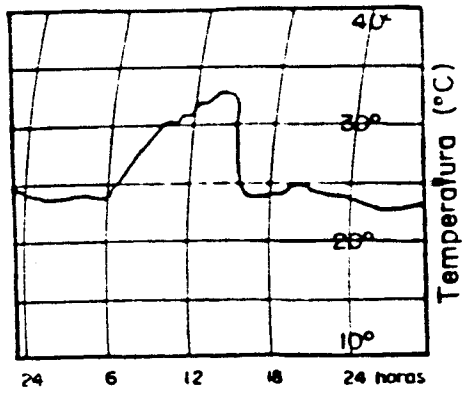
Egler e Schwassmann (1962) não encontraram evidências de estratificação térmica permanente nos rios Amazonas e Tocantins. As maiores diferenças de temperatura observadas na coluna d'água destes rios da ordem de 0,1 a 0,6°C, demonstram que a superfície da água está sujeita às variações de temperaturas diversas, enquanto que o fundo mostra-se mais estável.

Os dados levantados neste trabalho para a Baía do Guajará demonstram que a temperatura da água e suas oscilações são independentes da ação das marés. (fig. 18b a 26b).

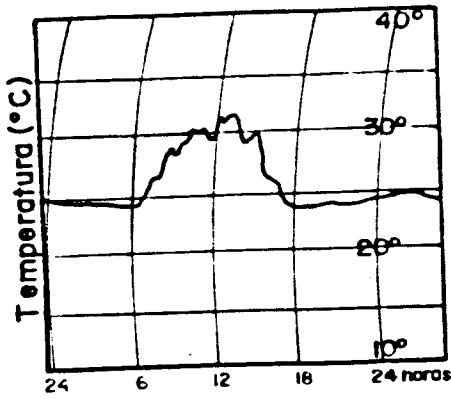
Comparando-se as curvas de variação horária da temperatura da água com as curvas de temperatura do ar para os dias correspondentes, (fig.27) nota-se que estas temperaturas apresentam valores relativamente próximo, todavia com defasa



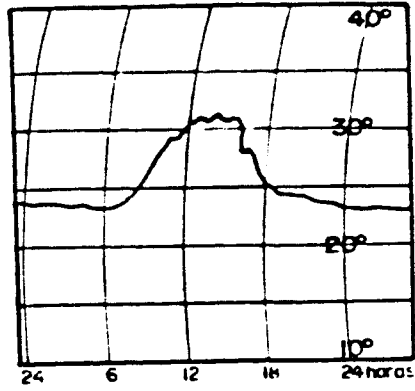
Data: 10-5-86



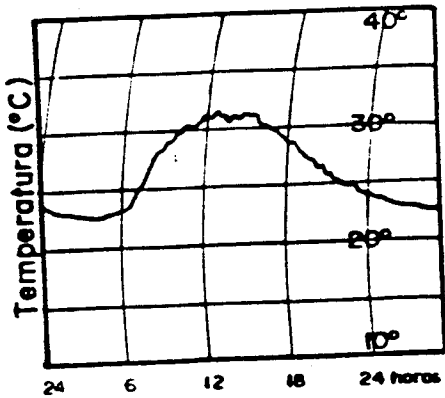
Data: 17-5-86



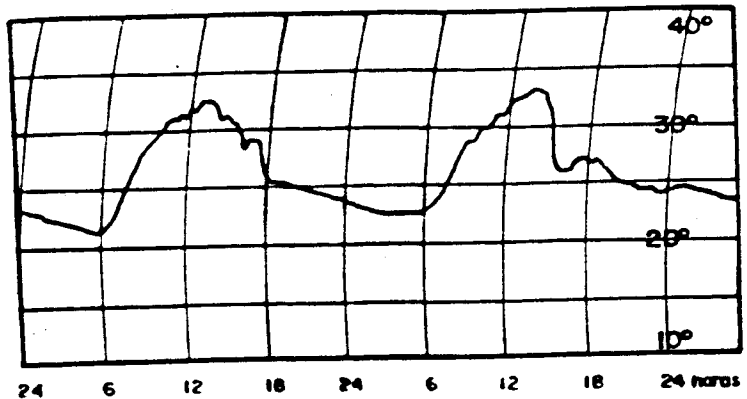
Data: 23-5-86



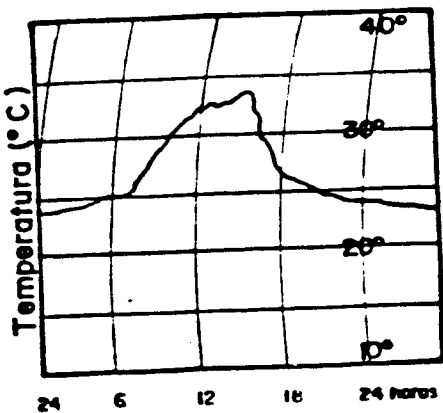
Data: 30-5-86



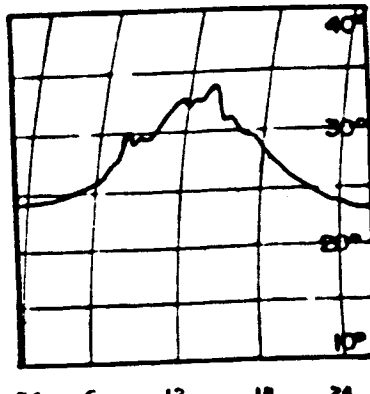
Data: 26-9-86



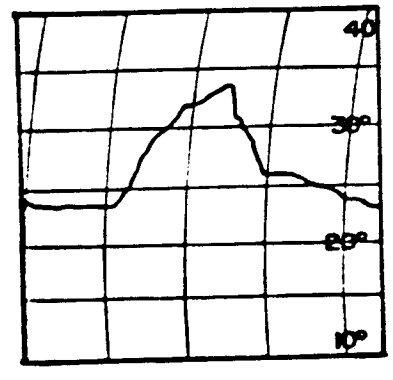
Data: 25 e 26-10-86



Data: 3-11-86



Data: 10-11-86



Data: 17-11-86

Fig. 27- Curvas de variações da temperatura do ar para as datas correspondentes aos dias de medições de temperatura da água. Dados da Estação Meteorológica da UFPA (Belém).

gens horárias. Enquanto os valores de temperatura máxima do ar situam-se em torno de 32-34°C, os valores de temperaturas máximas de águas dificilmente alcançam valores acima de 30°C.

As medidas obtidas durante o mes de maio/1986, revelam temperaturas da água entre 27,9° e 28,5°C com uma média de 28,3°C. No período de outubro a dezembro deste ano, estes valores estiveram entre 28,3° e 29,2°C com uma média em 28,6°C. Estes resultados demonstram a existência de variações sazonais muito baixas na temperatura das águas estuarinas, permitindo afirmar que estas apresentam uma razoável homogeneidade térmica durante o ano.

Mais significativas que as variações sazonais são as variações horárias. Com relação a isto é importante incluir aqui uma análise da variação da temperatura das águas durante um dia normal: a) no início da manhã (6-7 horas) a temperatura da água situa-se na faixa de 26,5 a 28°C; b) com a insolação, esta se eleva gradativamente, quando próximo às 13-14 horas, atinge valores máximos em torno de 29-30°C; c) durante a tarde e a noite decai lentamente até a madrugada alcançando valores mínimos entre 4 a 6 horas na faixa de 27-27,5°C. Os dados levantados para o ano de 1986 permitem afirmar que a amplitude térmica diária das águas estuárias situa-se em torno de 1,5 a 2°C.

A estratificação térmica das águas do estuário, se estabelece dentro de uma faixa de temperatura de no máximo 1°C entre a superfície e o fundo, podendo variar mais amplamente com o horário e a profundidade do local. Essa estratificação térmica se acentua principalmente no período vespertino e no início da manhã. Durante a madrugada entre 3 a 6 horas pode haver uma inversão térmica da estratificação, quando a temperatura das águas superficiais mostra-se menor que a do fundo.

Segundo Lira et.al. (1978) o calor oriundo da insolação é melhor dissipado em estuários nos momentos de baixa-mar quando a lâmina d'água é menor. No Estuário Guajarã, quando a baixa-mar coincide com o horário no qual ocorrem as

temperaturas máximas do ar, geralmente entre 12-15 horas, a temperatura das águas alcança seu valor máximo (figs 5b e 8b).

3.4.3- pH

O potencial de hidrogênio iônico nas águas naturais se constitui num dos fatores ecológicos que age como contralador das atividades respiratórias dos animais e plantas e regulador dos principais processos metabólicos nos seres vivos.

No Estuário Guajará, sobressaem-se dois fatores controladores das variações do pH nas águas: o regime sazonal e os ciclos de marés.

As medidas executadas indicaram que no final da estação chuvosa as águas adquirem pH igual a 4,8 com pequenas oscilações entre $4,9 \pm 0,2$ e $4,6 \pm 0,3$. Por outro lado, medidas tomadas durante a estação de menores precipitações revelam um valor médio para o pH das águas na Baía do Guajará de 5,54 oscilando entre $5,2 \pm 0,2$ e $5,9 \pm 0,2$.

Tais resultados estão de acordo com dados obtidos em outros estuários, tal como no Rio Potengi (RN), que segundo Cunha (1982) apresentam valores de pH mais elevados nos meses referentes ao período de estiagem.

As medições realizadas pelo DNAEE na Estação Bajajós, em 1983, registram variações marcantes para o pH no Rio Capim, variando de 4,7 no período chuvoso até 7,7 no final da estiagem.

Santos (1986) propõe uma explicação aceitável para tal mecanismo no Sistema Tocantins/Araguaia sugerindo que estas seriam motivadas pela entrada de grandes quantidades de ácidos orgânicos provenientes dos solos das margens, e de argila em suspensão.

A análise das variações de pH das águas guajari

nas durante o ciclo de marés, mostra que ocorrem oscilações importantes, de baixo período, dentro de uma faixa de ordem de até 1,5 (figs. 18c a 26c). Ao que tudo indica, estas variações são consequências dos processos de mistura das águas relacionados à dinâmica estuarina e dependem das oscilações da maré dinâmica. É provável, ainda, que estas variações bruscas de pH estejam ligadas a interferência de águas poluídas provenientes da cidade de Belém (água pluviais e de esgotos).

Em marés de sizígia nota-se uma pequena subida dos valores médios do pH, tanto no período mais seco quanto no chuvoso, sendo mais proeminente neste último. Para explicar tal fato pode-se lançar mão dos mesmos argumentos que sugerem o aumento do pH nas estações chuvosas, visto que durante as marés de sizígia ocorre uma elevação mais pronunciada do nível d'água, invadindo os terrenos marginais de várzea e, consequentemente carreando grandes quantidades de ácidos orgânicos e argila para o estuário. Na estação chuvosa e em marés de sizígia o pH das águas variou entre $5,0 \pm 0,2$ e $4,9 \pm 0,2$, enquanto que para as marés de quadratura este oscilou entre $4,7 \pm 0,5$ e $4,6 \pm 0,3$. Durante a estiagem foram medidos em marés de sizígia valores de pH entre $5,9 \pm 0,1$ e $5,4 \pm 0,1$, em contraste com valores para as marés de quadratura que se situam entre $5,7 \pm 0,4$ e $5,1 \pm 0,1$.

3.4.4- Condutividade

A condutividade reflete a quantidade de eletrólitos da água, cuja concentração é controlada principalmente pelo tipo de rocha onde está implantada a bacia fluvial (Santos, 1986).

No Sistema Tocantins-Araguaia, Santos (1986) registrou valores para a condutividade entre 18 e 60 μmhos , sendo esta fortemente influenciada pela subida das águas nos períodos de intensa precipitação pluviométrica.

Dados da Estação Badajós, apontam variações de condutividade na faixa de 25 a 30 μmhos para as águas do Rio

Capim nos meses chuvosos.

As medidas realizadas na Baía do Guajará durante 1986, dentro dos objetivos deste trabalho, mostram que a condutividade no estuário varia seguindo fatores tidais, onde os picos de condutividade máxima ocorrem acompanhando as estações de preamar (fig. 18 a 26d). Cabe lembrar que no item 5.3.2.1 deste trabalho, foram abordados aspectos da distribuição espacial da condutividade no estuário guajarinense em associação com a salinidade.

No período de chuvas observa-se que a condutividade apresentou valor médio em torno de 22,06 μ hos com máximos na faixa de 26 a 28 μ hos concordando com os momentos das estações de preamar. Ainda com relação ao período chuvoso, a condutividade não registrou diferenças marcantes entre as marés de sizígia e quadratura.

Durante o período mais seco a condutividade sofreu profundas alterações alcançando a média de 306,4 μ hos, (Setembro/86) a 595 \pm 550 μ hos (Novembro/86).

Ainda no período da estiagem é comum a ocorrência de oscilações extremas da condutividade durante apenas poucas horas, em momentos próximos a estufa, podendo subir desde 200 μ hos até 2.000 μ hos. (fig 24d).

Nas marés de sizígia, em período menos chuvoso, encontrou-se 480,81 μ hos como valor médio para a condutividade, enquanto que para marés de quadratura esta média reduz-se para 185,50 μ hos. Por outro lado, nas marés de sizígia, a faixa de variação da condutividade, em um ciclo de maré, alcança amplos intervalos, em contraste com as situações de quadratura. Sobre a estratificação das águas no estuário quanto a condutividade, foram registrados valores distintos para as águas superficiais e aquelas mais profundas, ocorrendo, geralmente, condutividade mais baixa na águas de superfície. Esse contraste torna-se mais significativo no período de estiagem e/ou nas marés de sizígia, quando as águas marinhas avançam de modo mais

pronunciado sobre o estuário.

A condutividade no Estuário Guajará está diretamente ligada ao conteúdo de cloreto. Isto pode ser comprovado através da análise química de algumas amostras coletadas, cujos resultados encontram-se listados abaixo.

AMOSTRA	CONDUTIVIDADE	CONC. DE Cl^-
1 (13:30 hs-Sup.)	1600	476,76 mg/l
2 (13:30 hs- Fundo)	2000	511,63 mg/l
3 (12:30 hs- Fundo)	1320	467,91 mg/l
4 (7:30 hs- Sup.)	72	14,56 mg/l
5 (8:30 hs- Sup.)	99	22,89 mg/l

Egler e Schwassmann (1962), observaram estas mesmas relações analisando a condutividade das águas da Baía do Marajó. Cordeiro (1986) ao estudar a salinidade e a condutividade no Estuário Guajará comprovou a relação entre esta última com a concentração de íons Cl , SO_4 , Na e Mg nas águas, mostrando existir uma proporção direta entre estes constituintes químicos e a salinidade.

3.4.5- Material em Suspensão

Uma das principais características das águas do Estuário Guajará é sua elevada turbidez que confere as mesmas o aspecto "barrento" e coloração amarelo-esverdeada. O conteúdo de material em suspensão é de tal ordem que a luz penetra somente poucos centímetros em seu interior.

As águas barrentas estendem-se por todo o estuário, penetrando até cerca de 50-60km a montante da foz dos rios Guamã e Mojú que constituem as principais fontes de águas fluviais do Estuário Guajará (Lima, 1956).

Sioli (1957), aponta os seguintes valores de concentração de material em suspensão e teor de matéria orgânica

ca coletados na foz do Rio Guamã:

- Na enchente: 0.7003 g/l (por secagem a 110°C) e 0,6560g/l (por secagem a 800°C), com perda de 0,0443 (6,33%) correspondente a matéria orgânica.
- Na vazante: 0,6154 g/l (secagem a 110°C) e 0,5749 g/l (por secagem a 800°C), com perda de 0,0405 g/l referente a matéria orgânica.

Sioli (1957), concluiu, ainda, com base na cor clara das águas do curso superior do Guamã que a maior parte do material em suspensão presente no baixo curso deste rio não provém de suas nascentes.

Egler e Shwassmann (1962) propõem duas possibilidades para explicar a proveniência do material em suspensão no estuário: a) originado no Baixo Guamã e colocado em suspensão pelo fluxo de entrada das águas de maré em seu curso; b) proveniente das margens deste rio quando estas são inundadas durante as marés altas. Aditem, também, que dificilmente a Baía do Guajará pode ser considerada fonte de material em suspensão, a partir de enchentes nas suas margens, devido sua expressiva largura.

Egler e Shwassmann (1962) chamam atenção, ainda, para as dificuldades de se realizar medições precisas para avaliação da carga do material em suspensão neste ambiente, devido as variações causadas por redemoinhos e turbilhões, muito característicos do fluxo d'água no estuário.

Adrian Volker Dredging (1976) analisando as águas do Rio Guamã obtiveram medidas para o conteúdo da suspensão desse rio, próximo a Belém, da ordem de 300 ppm.

Usando isótopos radioativos como traçadores, a NUCLEBRÁS (1980) demonstrou a existência de uma elevada taxa de dispersão e sedimentação simultânea, com rápida mistura vertical nas águas da Baía do Guajará.

Dada a necessidade de comparação com os dados obtidos no presente trabalho serão reproduzidos abaixo alguns resultados obtidos pela PORTOBRÁS/INPH (1980b) na Baía do Guajarã.

1º) Canal do Porto

As concentrações máximas de sólidos em suspensão nas águas ocorrem cerca de 15 a 30 minutos após a estofa de preamar, a 4-5m da superfície (~ 400ppm) e 2,5 horas após a baixa-mar (~ 400ppm). Como valores médios registram-se na vazante, 319ppm enquanto que na enchente chega-se a 317ppm em média.

2º) Canal do Meio

As concentrações máximas foram registradas cerca de 2 horas após a baixa-mar, neste canal (aprox. 700 ppm) e cerca de 4 horas após a preamar, a 7-10m de profundidade (800ppm). Na vazante calculou-se como média 320 a 400 ppm, enquanto que para a enchente obteve-se 800 a 320ppm, como médias.

3º) Canal da Ilha das Onças

Máxima concentração ocorrendo cerca de 1,5 horas após a baixa-mar a cerca de 12m de profundidade (aprox. 500ppm), e 2,5 horas após a baixa-mar quando chega a atingir 600ppm. Durante as vazantes os valores médios da concentração do material em suspensão encontrados foram relativamente baixos (300-400ppm).

A partir destes dados verifica-se que as maiores concentrações de material em suspensão foram encontrados no Canal do Meio (520ppm a 1m da superfície e 960ppm a 1m do fundo), cerca de 4 horas após a preamar, durante as vazantes. Com base nesta informação a PORTOBRÁS/INPH (1980b), levanta a hipótese da ocorrência do provável arrasto do material do fundo no Canal do Meio, em direção à montante do estuário.

Os levantamentos realizados em 1986 (Fig. 18c a 26c e Tab. 8 a 16) para a presente pesquisa, demonstrou peque nas diferenças no valor da concentração média do material em suspensão entre o período chuvoso e a época da estiagem. Para o primeiro foi obtido um valor médio de 115,06 mg/l enquanto que para o segundo obteve-se 97,61mg/l (fig. 18c a 26c).

Bem mais importante são as diferenças nas concentrações da suspensão durante as marés de sizígia e quadratura nas duas estações. No período chuvoso as águas de marés de sizígia apresentaram concentração média do material em suspensão em torno de 130mg/l enquanto que em quadratura regitrou-se 100mg/l de sólidos em suspensão. Durante o "verão", a concentração média de material em suspensão nas águas das marés de sizígia atingiu 141mg/l e em quadratura ficou em torno de 94 mg/l. Foi constatado, ainda, que os valores máximos de concentração de material em suspensão ocorrem normalmente próximo a baixa-mar. Considerando que as estofas de marés correm entre 30 e 60 minutos antes das mudanças de sentido das corrente pode-se afirmar que as concentrações máximas observadas surgem no final dos fluxos de vazante. Em profundidade as concentrações são geralmente maiores que na superfície da água ocorrendo por vezes inversões. Em alguns casos a diferença entre a concentração no fundo em superfície atinge mais de 100 mg/l.

Baseado nos dados acima conclui-se:

- Poucas são as diferenças na concentração de material em suspensão nas águas estuarinas durante o período chuvoso e de estiagem, com valores pouco mais elevados para a primeira.
- Um pequeno aumento da concentração de sólidos em suspensão pode ocorrer durante as marés de sizígia em consequência da subida da águas, que ocasiona o recolhimento do material fino das margens do estuário.
- As concentrações máximas associam-se na maioria dos

casos aos momentos de final de vazante, podendo coincidir ou não com os momentos em que as correntes atingem velocidades máximas.

3.4.5.1- Composição Mineralógica

O material sólido em suspensão das águas estuarinas é composto mineralogicamente por caolinita, ilita, esmectita, além de interestratificações de ilita-esmectita, quartzo e traços de clorita (fig 28). Essa associação mineralógica do material em suspensão, aparentemente sofre variações mínimas quer nos períodos chuvosos / menos chuvos, quer durante as oscilações das marés, aumentando ou diminuindo exclusivamente sua concentração nas águas durante estes ciclos.

4- Estudos dos Sedimentos Recentes

4.1- Pesquisas Anteriores

As investigações sobre os sedimentos holocênicos que ocorrem no Estuário Guajará tem se resumido a análises sedimentométricas realizadas pela PORTOBRÁS/INPH (in Santos , 1982) em áreas adjacentes ao Porto de Belém, com objetivos estritamente geotécnicos.

Por outro lado, estudos sedimentológicos envolvendo o sistema fluvial do Rio Amazonas e sua plataforma continental adjacente, tem sido realizados com maior frequência. Sobressaem-se os trabalhos de Ottmann (1960) enfocando a distribuição das fácies na desembocadura do Rio Amazonas; Milliman et.al. (1972), referente aos sedimentos superficiais da plataforma continental; Pomerancblum e Costa (1972a e 1972b) sobre a sedimentologia da plataforma nas adjacências da desembocadura do Rio Amazonas; Franzinelli (1976) a respeito das condições de transporte e deposição de sedimentos nas margens da Baía do Marajó, Nordin et.al. (1980 in Franzinelli e Potter , 1983) apresentando aspectos texturais dos sedimentos do leito do Rio Amazonas; Franzinelli e Potter (1983) estabelecendo as características petrográficas e texturais dos sedimentos arenos

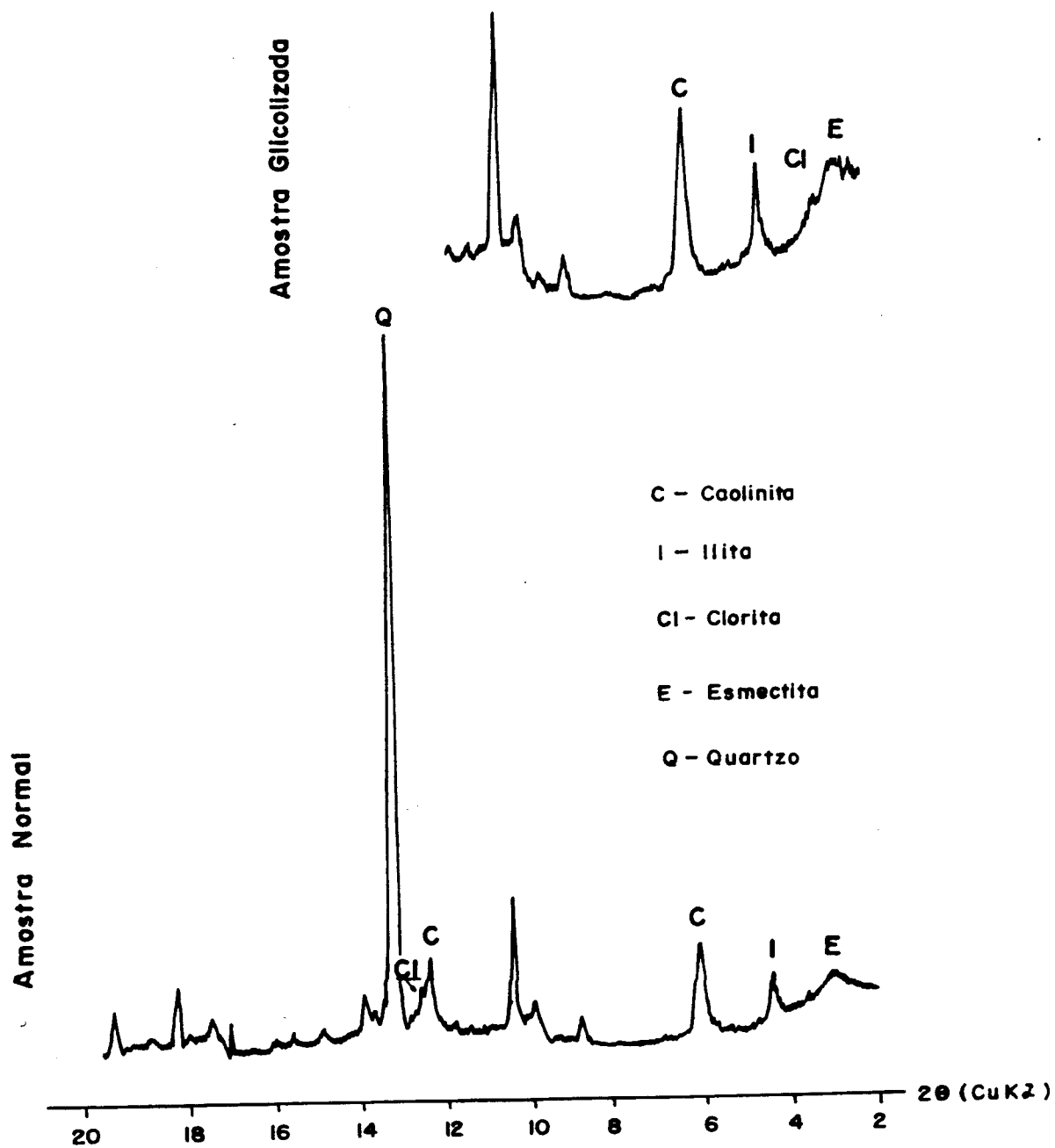


Fig. 28 - Difratoograma de raio-x representativo de amostras do material em suspensão das águas estuarinas.

tos recentes dos rios da Bacia Amazônica; e Landin et.al.(1983) sobre os minerais pesados provenientes do Rio Amazonas.

Os estudos que serão abordados nos itens seguintes deste trabalho resultam da análise de 50 amostras representativas dos sedimentos distribuídos ao longo da Baía do Guajará e Rio Guamã (Fig. 29).

4.2- Análise Granulométrica

A partir dos resultados da análise granulométrica das amostras essencialmente arenosas e da fração areia de sedimentos areno-siltosos (tabela 8 e 9) foram traçadas curvas acumulativas apresentadas na figura 30. A maioria destas curvas, principalmente aquelas correspondentes as amostras essencialmente arenosas, mostram um traçado quase vertical e retilíneo, indicando o bom selecionamento do material. As amostras mais impuras estão refletidas pelas curvas ligeiramente inclinadas.

A partir das curvas acumulativas foram calculados os parâmetros estatísticos cujos resultados encontram-se na tabela 9. Foram calculados, a mediana, o diâmetro médio, o desvio padrão, a assimetria e a curtose.

a) Mediana

Varia entre 0,048 e 0,49mm, podendo-se observar que os maiores valores associam-se a sedimentos provenientes de bancos arenosos e pontos de acresções de ilhas. Os valores menores correspondem a sedimentos encontrados em locais de maior heterogeneidade das condições hidrodinâmica.

b) Diâmetro Médio

Os valores de diâmetro médio referem-se a média geral do tamanho dos sedimentos, estando, portanto, associado a competência do agente transportador em relação aos processos deposicionais de uma maneira geral e a influência da fonte

TABELA 08

AMOSTRA	% ARGILA	% SILTE	% AREIA	CLASSIFICAÇÃO SEG: SHEPARD (1954)
A-1	52,9	39,0	8,1	Areia-Siltosa
A-2	19,3	54,0	26,7	Silte-Arenoso
A-3	7,1	87,8	5,1	Silte
A-4	—	—	~100	Areia
A-5	35,3	53,3	11,4	Silte-Argiloso
A-6	—	—	~100	Areia
A-7	17,0	13,3	69,7	Areia-Argilosa
A-8	—	—	~100	Areia
A-9	18,3	74,4	7,3	Silte-Argiloso
B-1	56,8	28,0	15,2	Argila-Siltosa
B-2	—	—	~100	Areia
B-3	—	—	~100	Areia
B-4	—	—	~100	Areia
C-1	35,6	33,4	31,00	Mista
C-2	23,3	35,8	40,9	Areia-Siltosa
C-3	—	—	~100	Areia
C-4	19,8	27,5	52,7	Areia-Siltosa
C-5	65,7	25,0	9,3	Argila-Siltosa
C-6	—	—	~100	Areia
C-7	—	—	~100	Areia
C-8	35,3	30,9	33,8	Mista
C-9	—	—	~100	Areia
C-10	36,6	45,9	17,5	Silte-Argiloso
C-11	9,2	16,7	74,1	Areia-Siltosa
C-12	14,2	37,0	48,8	Areia-Siltosa
C-13	9,5	53,2	37,3	Silte-Arenoso
G-1	2,0	7,8	90,2	Areia
G-2	1,8	24,0	74,2	Silte-Arenoso
G-3	~100	—	—	Argila
G-4	6,8	41,5	51,7	Areia-Siltosa
H-1	2,0	75,8	22,2	Silte
H-2	2,8	71,4	25,8	Silte-Arenoso
H-3	3,4	56,8	39,8	Silte-Arenoso
H-4	—	—	~100	Areia
H-5	~100	—	—	Argila
K-1	—	—	~100	Areia
K-2	—	—	~100	Areia
K-3	10,2	35,5	54,3	Areia-Siltosa
K-4	24,0	34,0	42,0	Areia-Siltosa
K-5	—	—	~100	Areia
K-6	19,3	24,7	56,0	Areia-Siltosa
L-1a	57,6	35,1	7,3	Argila-Siltosa
L-1b	51,9	39,4	8,7	Argila-Siltosa
L-2	18,6	18,7	62,7	Areia-Siltosa
L-3	—	—	~100	Areia
L-4	23,4	45,3	31,3	Silte-Arenoso
L-5	23,7	52,9	23,4	Silte-Arenoso
L-6	27,2	48,4	24,4	Silte-Argiloso
M-1	5,8	25,3	68,9	Areia-Siltosa
M-2	10,2	27,3	62,5	Areia-Siltosa

TABELA 09

NÚMERO DA AMOSTRA	PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DO TAMANHO DO GRÃO				
	TENDÊNCIA CENTRAL		I SELEÇÃO	ASSIMETRIA	CURTOSE
	Ø 50 MEDIANA	MZ Média diâmetro medio	DESVIO PADRÃO	SK _I	KG
A-2	4,40	-	-	-	-
A-4	3,05	3,05	0,44	0,08	0,99
A-6	2,01	2,92	0,32	0,05	1,13
A-7	1,30	1,26	1,15	- 0,02	0,74
A-8	3,40	3,40	0,40	0,02	1,01
B-2	2,94	2,26	0,28	0,22	1,36
B-3	3,00	3,02	0,50	0,09	1,19
B-4	3,07	3,09	0,32	0,04	1,15
C-3	2,60	2,60	0,35	0,03	0,97
C-6	2,05	2,05	0,34	- 0,01	1,47
C-7	1,05	1,09	0,77	0,04	1,35
C-9	3,20	3,28	0,39	0,38	1,27
H-4	1,25	1,25	0,58	- 0,11	1,23
K-1	1,28	1,13	-	-	-
K-2	1,54	1,66	0,72	0,40	1,42
K-5	1,85	1,85	0,39	0,08	1,30
L-3	3,03	3,14	0,65	0,29	1,10
C-4	2,91	3,14	-	-	-
C-11	3,15	3,05	0,71	- 0,33	1,61
G-1	3,40	3,38	0,34	0,03	1,36
G-2	4,00	-	-	-	-
K-3	3,75	3,76	0,46	0,07	1,50
K-6	3,77	3,72	0,46	0,26	1,10
L-2	2,25	2,25	-	-	-
M-1	3,80	3,86	0,50	0,22	1,02
M-2	3,70	2,68	0,41	- 0,04	1,37
K-4	3,71	3,76	0,67	0,06	1,64

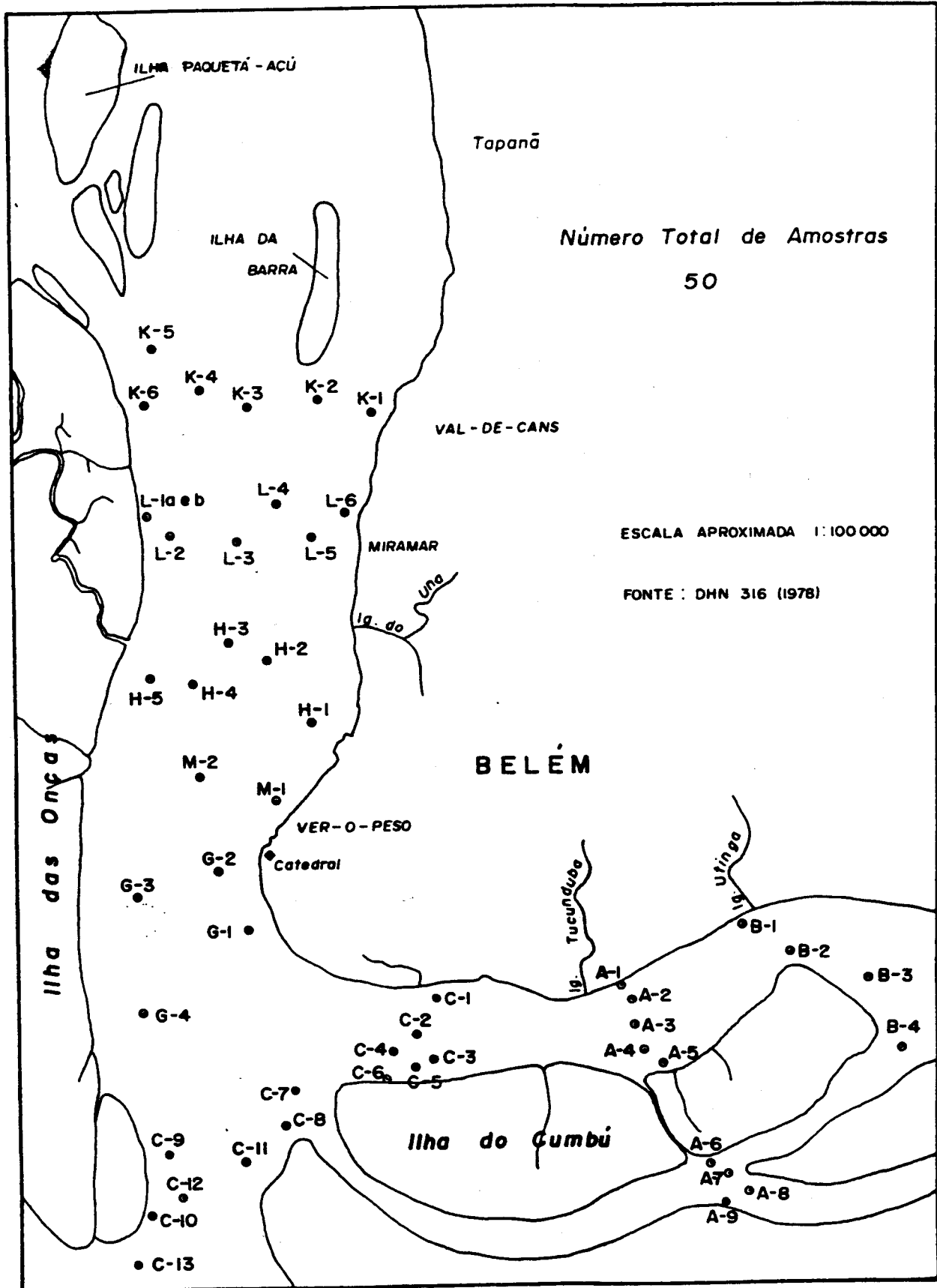


Fig.29 - Localização dos pontos de amostragem de sedimentos do fundo do estuário guajarino.

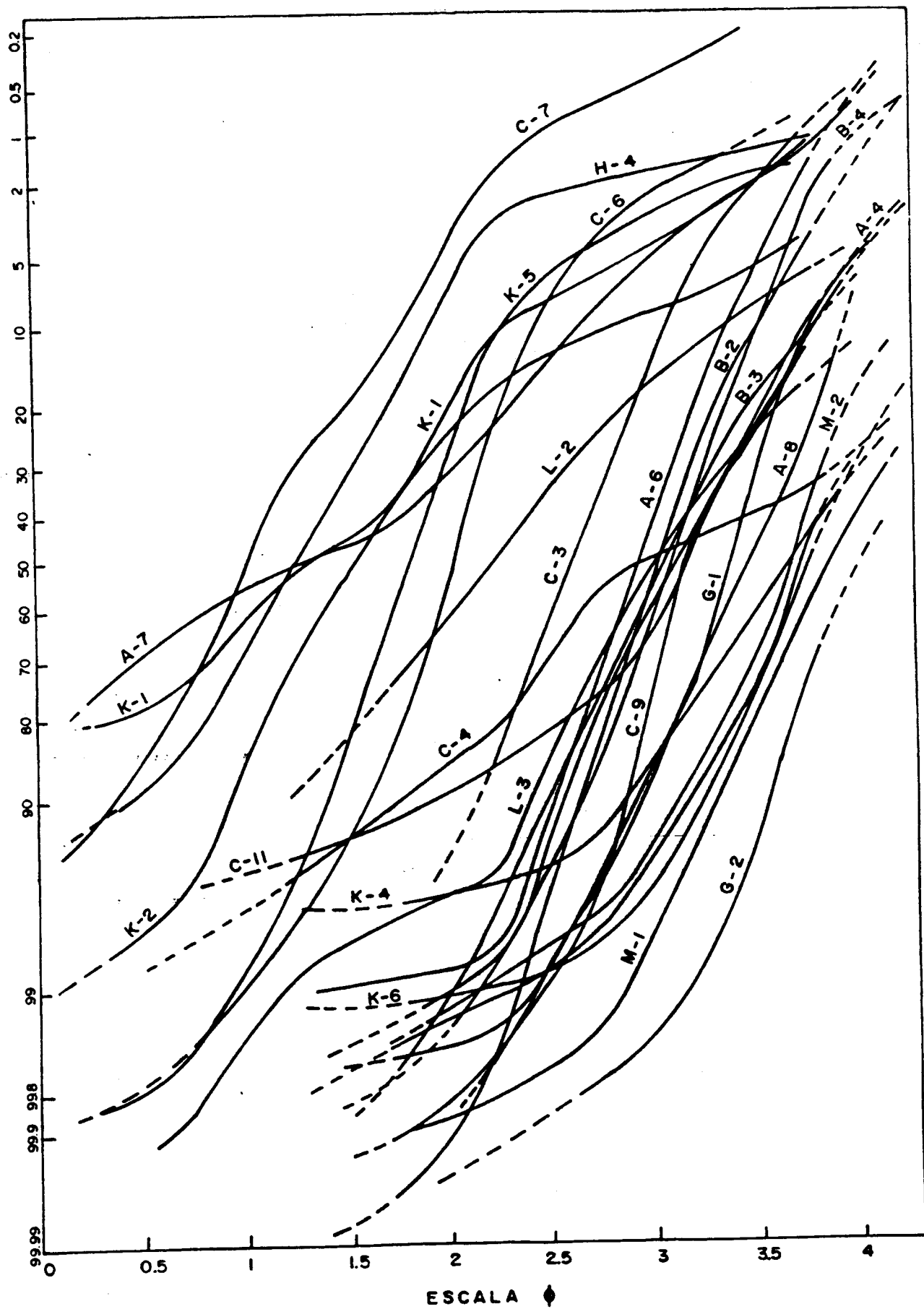


Fig. 30- Curvas granulométricas para os sedimentos recentes do Estuário Guajará.

de suprimentos do material (Ponçano, 1985).

Nos sedimentos analisados verifica-se que o diâmetro médio varia entre 0,07 e 0,48mm ou seja, incluindo na classe areia fina a média. O mapa de distribuição do diâmetro médio, apresentado na figura 31, indica a predominância de areias médias a norte da Ilha das Onças, no banco que circunda a Ilha da Barra, e ainda, nas barras da desembocadura dos rios Guamã e Acará. Areias finas ocupam uma área bem mais significativa em frente a cidade de Belém tanto no leito dos canais do Meio e do Porto, como nos bancos do Meio e da Cidade. Sedimentos silítico-argilosos posicionam-se preferencialmente nas margens menos inclinadas e espraiadas ao longo de todos os braços e canais estuarinos.

Este quadro, quando confrontado com a distribuição de correntes no Estuário Guajará permite estabelecer as seguintes conclusões:

- Nos canais onde predominam condições hidrominâmicas fortes, tal como no Canal de Ilha das Onças, a força das correntes pode assumir caráter erosivo fazendo aflorar sedimentos mais antigos do substrato, ou mesmo permitindo o transporte e a deposição apenas de areias mais grossas.
- Nas adjacências das ilhas menores, a ação das ondas distribui, ao redor destas, sedimentos arenosos de granulação média. Estes sedimentos podem depositar-se ainda, nestes locais devido a quebra do fluxo de energia das correntes ao encontrar as ilhas como obstáculos.
- Nas zonas de correntes relativamente mais fracas a moderadas, por exemplo na confluência de Belém, ocorrem areias finas a silicosas.
- Nas áreas fora do trajeto principal das correntes co

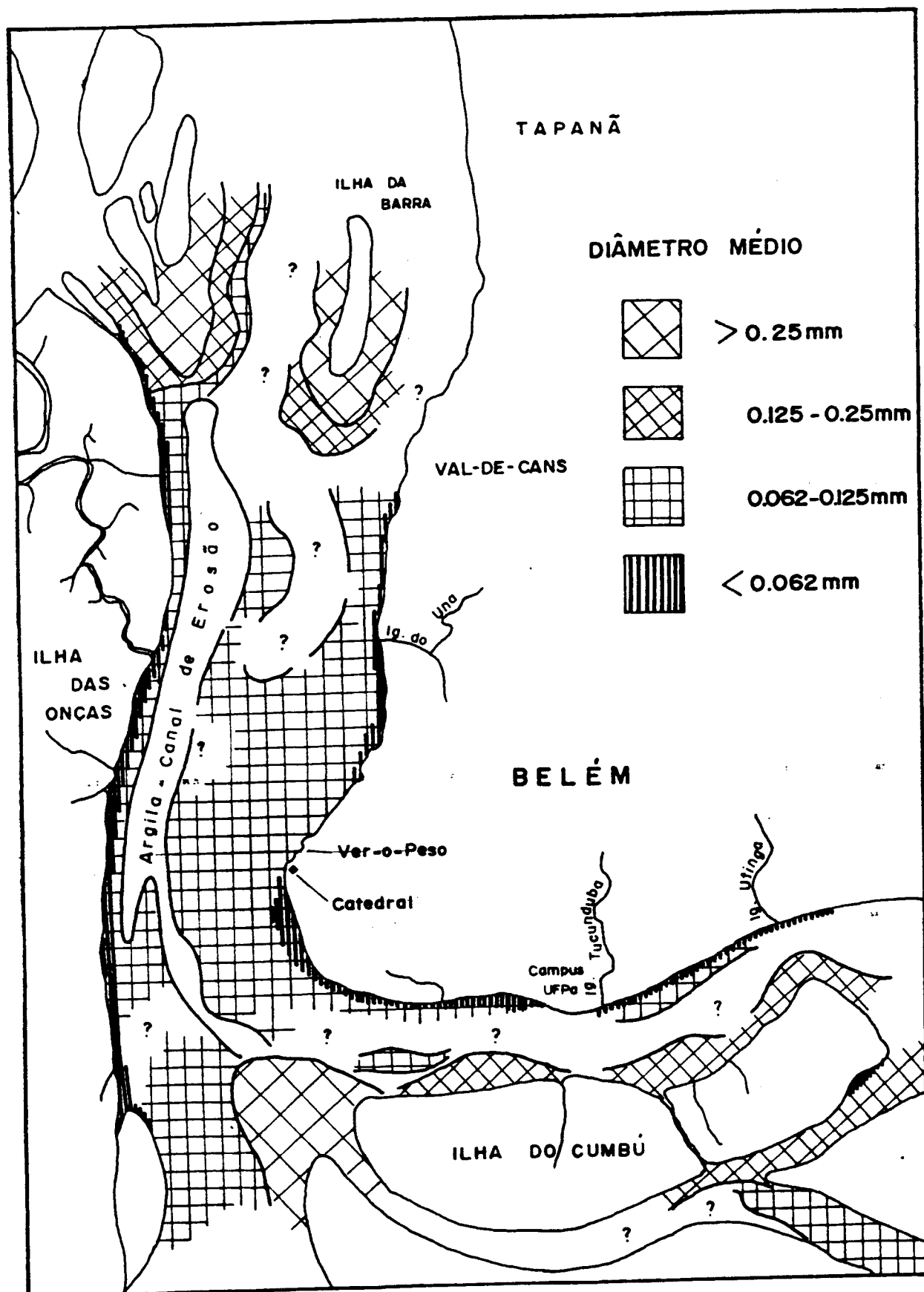


Fig. 31 - Mapa de distribuição do diâmetro médio dos sedimentos recentes do Estuário Guajará.

mo é o caso das margens mais protegidas e espraiadas depositam-se os sedimentos finos (siltico-argilosos).

c) Desvio Padrão

Estes parâmetros refere-se ao grau da dispersão dos dados da distribuição granulométrica em torno do valor médio. Seu significado geológico diz respeito a capacidade das correntes em selecionar um determinado sedimento. Sua interpretação prática, porém, é ainda muito confusa. (Ponçano, 1985).

d) Assimetria

Indicada pelo afastamento do diâmetro médio em relação a mediana a predominância, nos sedimentos, de partículas finas ou grosseiras, o que é indicado por assimetria positiva ou negativa respectivamente.

No estuário, os sedimentos apresentam assimetria variando de $-0,03$ a $+0,40$ predominando valores em torno de $+0,06$, revelando uma tendência destes sedimentos a uma distribuição simétrica.

Valores negativos de assimetria são encontrados nas amostras de bancos arenosos onde predominam condições hidrodinâmicas mais energéticas. Os valores positivos obtidos podem indicar invasão de material proveniente de outras fontes, resultando em excesso de material fino.

e) Curtose

A curtose representa a medida estatística que corresponde a razão entre a dispersão das partes centrais e terminais da distribuição granulométrica. De uma maneira geral, as interpretações sobre os valores de curtose dizem respeito as condições de movimentação do ambiente sedimentar. Assim curvas leptocúrticas a muito leptocúrticas indicam zonas de maior energia, enquanto que curvas platicúrticas a muito platicúrticas, representam zonas de menor movimentação (Cunha, 1982).

Os sedimentos estuarinos mostram valores de curtose variando de 0,74 a 0,64, correspondendo a uma ampla faixa de classificação de suas curvas, englobando desde curvas platicúrticas até muito leptocúrticas.

Segundo Ponçano (1985), as relações entre os parâmetros granulométricos obtidos pelas fórmulas de Folk e Ward (1957) e a hidrodinâmica do ambiente são válidas somente para intervalos restritos de granulometria, não sendo possível a dedução de uma única lei aplicável a todos os intervalos granulométricos. Qualquer interpretação a partir de parâmetros estatísticos torna-se assim limitada, e o único parâmetro com significado físico real seria o diâmetro médio. Ainda segundo Ponçano (1985) também não são válidas as interpretações oriundas da combinação e interrelação entre os diversos parâmetros estatísticos. Este autor sugere, para interpretações e uso apenas da classificação textural de Shepard, do diâmetro médio, de dados granulométricos brutos e da composição mineralógica como índices ambientais seguros.

4.3- Distribuição das Fácies Texturais

Adotando-se o diagrama triangular de Shepard (1954 in Pettijhon et al, 1972), que classifica os sedimentos com base nas quantidades das frações areia, silte e argila, foram determinados diversos tipos texturais para o estuário guarinino (Fig.32). Predominam areias relativamente puras e areias siltosas, algumas apresentando quantidades de silte acima 50%. Ocorrem, secundariamente, sedimentos siltico-argilosos e argilo-siltosos, sendo menos comuns materiais essencialmente siltosos e argilosos. Com base nisto, foram individualizadas, duas fácies texturais de maior relevância: a) Fácies Lamosa e b) Fácies Arenosa.

a) Fácies Lamosa

Corresponde à amostras silticas e argilosas, incluindo suas misturas, além de amostras contendo concentrações

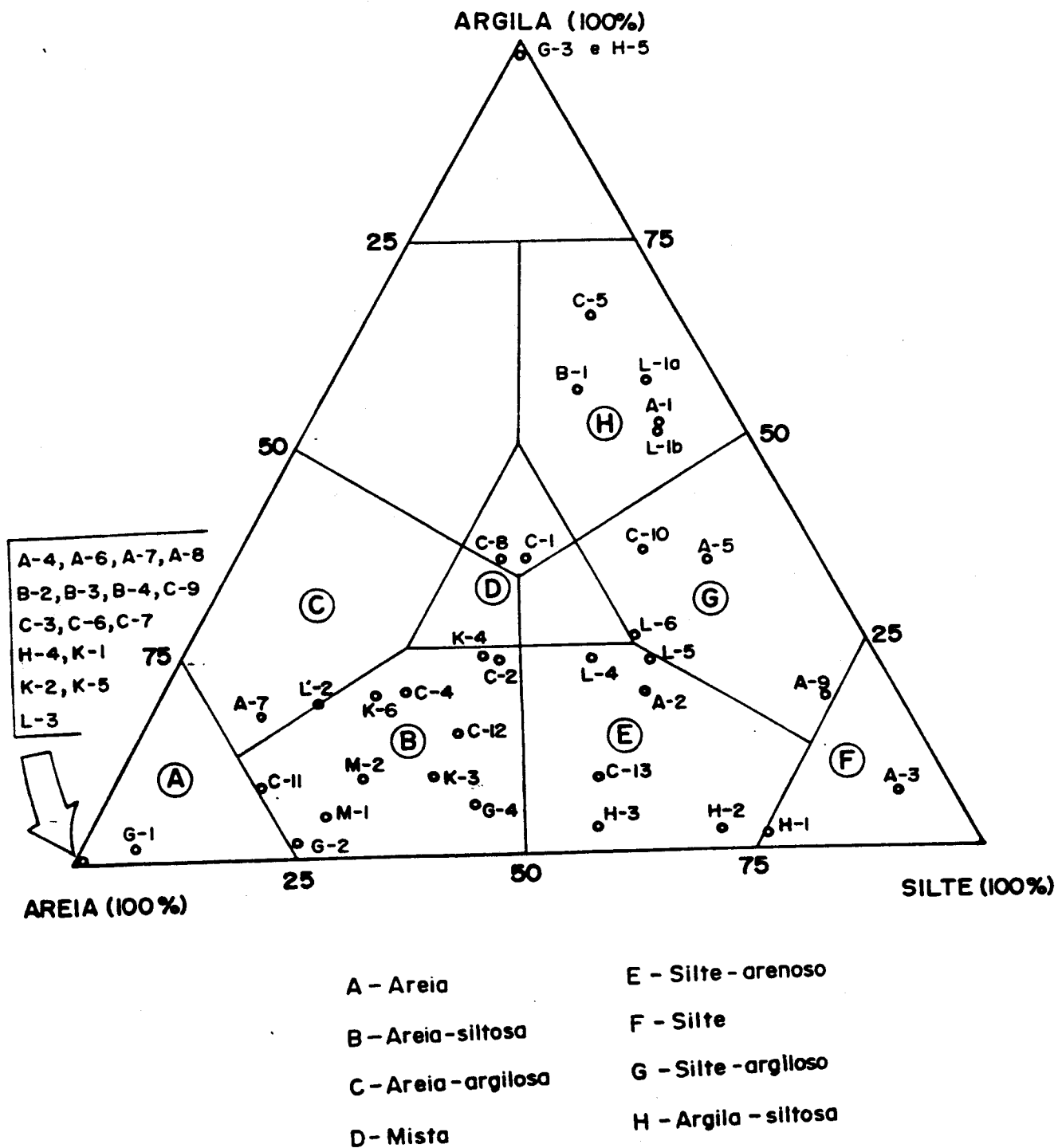


Fig. 32 - Distribuição das amostras de sedimentos do Estuário Guajará no Diagrama de Shepard (1954, in Pettijhon et al., 1972).

de argila silte a areia aproximadamente iguais, tidas como mis
tas (Fig. 33).

Esta fácies distribui-se, de uma maneira geral, nas regiões marginais do estuário. Sedimentos com mais de 75% de silte ocorrem de modo restrito no Rio Guamã, próximo a de de
sembocadura no Igarapé Tucunduba; silte argiloso encontra-se também, em locais definidos no Rio Guamã, próximo ao Furo da da
Paciência, na Ilha do Cumbú, e, ainda, na margem direita da da
Baía do Guajará; sedimentos mistos estão presentes em alguns pon
tos na margem direita do Rio Guamã, em frente ao Iate Clube do do
Pará e na ponta do extremo oeste da Ilha do Cumbú; argila sil
tosa ocorre, característicamente, distribuídas em todas as mar
gens estuarinas como depósitos de praias lamosas expostos du
rante a baixa-mar sedimentos com mais de 75% de argila podem de
ser encontrados no talvegue do Rio Guamã, bem como no canal da da
Ilha das Onças, provenientes possivelmente de camadas semi-con-
sol
idadas do substrato estuarino, erodidas pelas fortes corren-
tes de vazante.

b) Fácies Arenosa

Compreende sedimentos essencialmente arenosos (+75% areia) e ainda areia siltosa. Abrange cerca de 70% da da
área submersa do estuário, com ampla distribuição (Fig. 33).

Sedimentos com mais que 75% de areia ocorrem nos diversos bancos e preenchendo partes dos principais canais, en
quanto sedimentos areno-siltosos podem ser encontrados ampla
mente dispersos; com quantidades variadas de silte, em todo ei
xo central do Rio Guamã e Baía do Guajará (Fig 33).

4.4- Composição Mineralógica dos Sedimentos

4.4.1- Minerais essenciais dos sedimentos

As areias presentes na calha do Estuário Guaja
rã são constituídas essencialmente de grão de quartzo e quan
tidades menores de fragmentos de óxidos de ferro provenientes

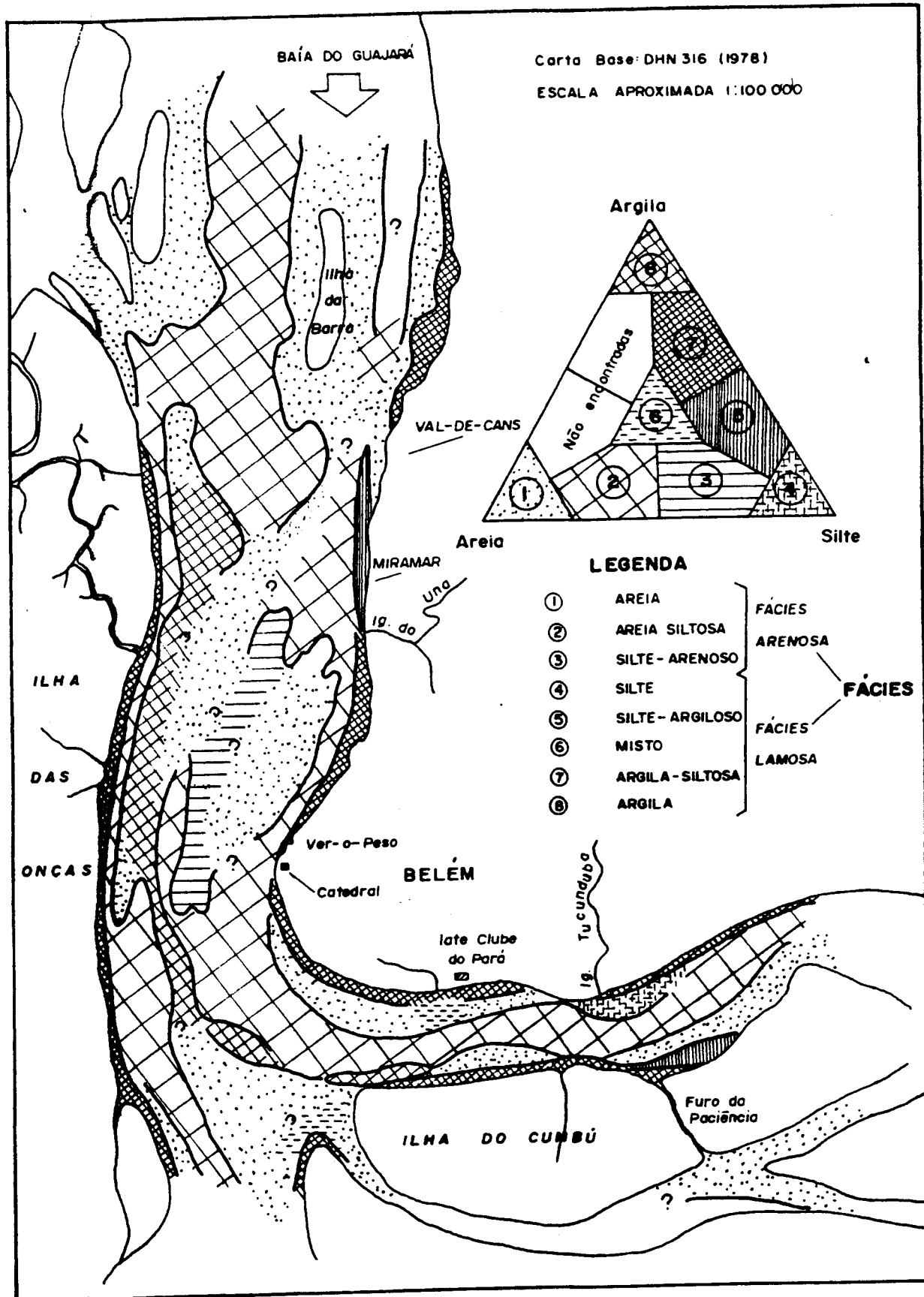


Fig. 33 - Distribuição das principais fácies texturais no Estuário Guajará.

do arenito ferruginoso conhecido como "grés-do-Pará".

Quanto aos sedimentos pelíticos, a difratometria de Raio-X apontou uma associação semelhante aquela encontrada para o material em suspensão nas águas: caolinita, ilita, esmectita com interestratificados de ilita-esmectita além de traços de clorita (Fig. 34).

4.4.2- Minerais pesados transparentes da fração areia

A tabela 10 e a figura 35 mostram a frequência dos principais minerais pesados transparentes encontrados nos sedimentos do estuário, para os dois intervalos granulométricos estudados, e a distribuição destes, no estuário, respectivamente.

Na fração 0,250 - 0,125mm (grossa-G), a estaurolita é o tipo mais abundante, seguido pela turmalina, cianita, epidoto, zircão, anfíbólio (hornblenda) e rutilo. Foram encontrados, ainda, traços de granada e andaluzita. Turmalina, cianita e epidoto perfazem em média mais de 85% dos acessórios dos sedimentos estudados, sendo frequentes em todas as amostras.

No intervalo 0,125 - 0,062mm (fração fina - F) destacam-se três grupos de associação mineralógica quanto a abundância dos tipos identificados:

- 1- Segundo a ordem de abundância: Zircão - epídoto - turmalina - estaurolita - cianita. Neste grupo, que perfaz cerca de 50% das amostras, zircão, epídoto e turmalina perfazem, em geral, mais de 80% do total dos acessórios, estando presentes em quase todas as amostras analisadas. Rutilo ocorre somente em quantidades insignificantes neste grupo.
- 2- Epídoto - turmalina - zircão - anfíbólio - cianita e rutilo. Este grupo perfaz cerca de 25% das amostras analisadas, verificando-se que zircão, anfíbólio e cianita, em muitos casos, variam de frequência dentro da as

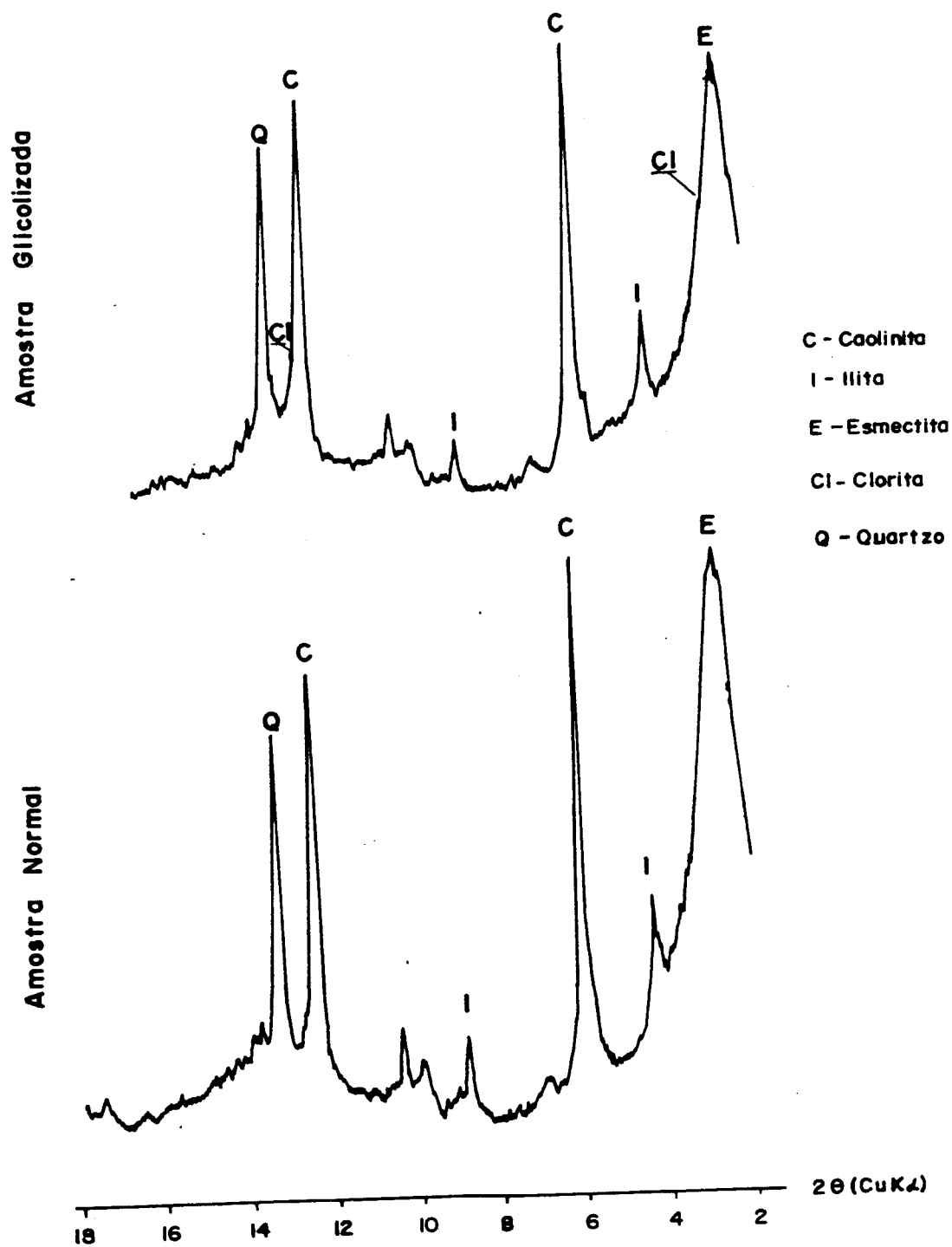


Fig. 34 - Difratoograma de raio-x representativo dos sedimentos argilosos depositados no fundo e margens do Estuário Guajará.

TABELA 10

TABELA

AMOSTRA	ESTAUROL.	ZIRCÃO	TURMAL.	CIANITA	EPIDOTO	ANFIBOL.	RUTILO	GRANADA	ANDALIZ.	SILIMAN.	ANATÁSIO	OUTROS	N
A-2F	10	14	23	7	20	14	7	2	T	-	-	3	124
A-4F	24	4	28	10	17	12	3	1	T	-	-	1	300
A-6F	9	17	24	10	32	4	4	T	-	T	T	-	300
A-7G	48	7	21	12	8	2	T	-	-	-	-	2	241
A-8F	11	47	10	5	13	8	4	2	-	T	T	-	272
B-2F	7	37	22	15	12	1	4	1	-	-	-	1	300
B-3F	6	62	7	5	16	T	2	T	-	-	-	2	310
B-4F	7	55	12	6	14	2	4	-	-	-	-	-	300
C-3F	16	46	10	5	14	2	6	-	-	-	T	1	350
C-6G	40	2	29	16	8	2	2	T	-	-	-	1	308
C-7F	43	13	22	10	7	1	3	-	T	-	-	1	200
C-7G	56	3	18	7	11	1	4	-	-	-	-	-	104
C-9F	1	23	-	1	2	71	2	-	-	-	-	-	190
C-11F	14	16	26	10	27	T	5	2	-	-	-	-	290
H-4G	59	1	20	11	7	1	1	-	-	-	-	-	137
K-1G	39	2	29	17	5	1	5	-	T	-	-	2	97
K-2G	48	2	28	8	11	1	2	T	-	-	-	-	119
K-3F	12	1	13	7	39	26	2	-	-	-	-	-	300
K-4F	5	28	13	6	24	21	3	-	-	-	-	-	322
L-2G	39	4	28	12	13	3	-	1	-	-	-	-	109
L-3F	8	61	17	2	7	2	3	-	-	-	T	-	111
M-1F	8	10	16	8	40	17	T	-	-	-	-	-	300

T- Traços

N- Número total de grãos contados na lâmina

Amostras com código G- fração 0,250 - 0,125mm

Amostras com código F- fração 0,125 - 0,062mm

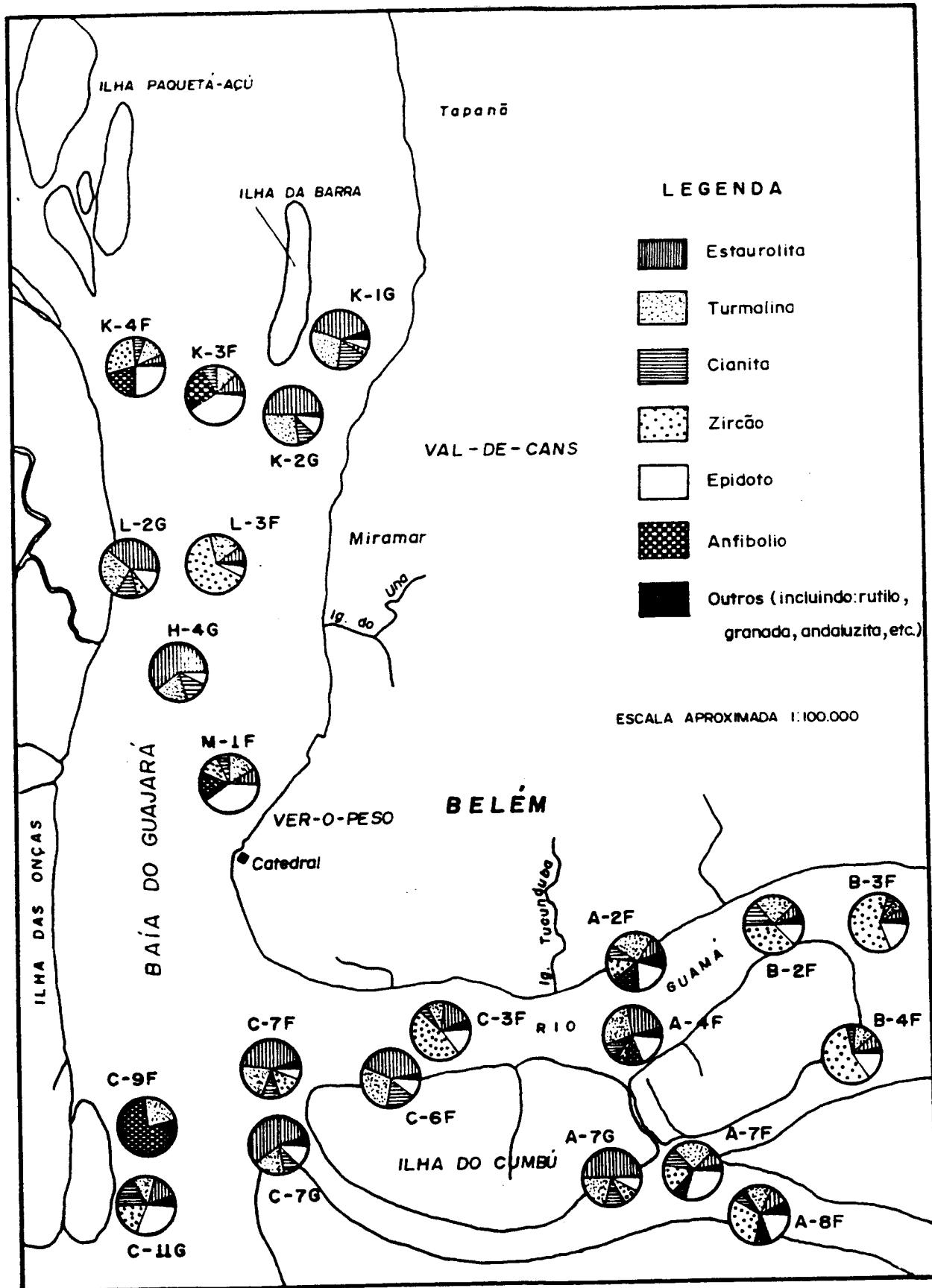


Fig. 35- Mapa de distribuição quantitativa dos principais minerais pesados transparentes dos sedimentos de Estuário Guajará.

Roberto Vizeu Pinheiro
 UFPa - Departamento de Geologia

sociação.

- 3- O terceiro grupo com anfibólio e epídoto, predomina em número reduzido de amostras, chamando atenção, en tretanto, pelo fato de que quantidades entre 50% e 70%, representam casos anômalos dentro do conjunto anali sado. Associados a estes minerais ocorrem ainda como traços granada, andaluzita, sillimanita e anatásio.

Segundo Rittenhouse (1943), uma análise inter pretativa envolvendo as relações entre as frequências mineraló gicas e a dinâmica do ambiente sedimentar requer um estudo es pecífico das condições hidráulica em cada ponto amostrado, em particular, envolvendo um apanhado das relações existentes en tre as diversas classes granulométricas dos minerais pesados i dentificados e a carga das correntes nos locais de sua ocorrên cia. Neste trabalho, foram excluídas conclusões a este respei to por não se dispor de dados sobre os parâmetros acima mencio nados.

No Estuário Guajará verifica-se que a intensa dinâmica das águas propicia uma completa mistura e aparente ho mogeneização dos tipos mineralógicos presentes nos sedimentos, o que não excluiu a ocorrência de altas concentrações de um ou outro tipo, em locais definidos, por exemplo, na amostra C-9F, com elevada concentração de anfíbólio (Fig. 35).

4.4.2.1- Descrição dos principais minerais pesados

Estauroлита-ocorre sob a forma de grãos bem ar redondados a subarredondados e mais raros angulosos, com colo ração amarelo claro a castanho. São comuns grãos mostrando si nais de dissolução por ataque intempérico.

Turmalina- encontrada em vários tipos, desde grãos prismáticos alongados com bordas arredondadas a subarre dondadas, até aqueles perfeitamente esférico e bem arredonda dos. Quanto a coloração, são encontradas espécies marrons e verdes (predominantes) além de azuis e/ou cinza. Grãos com in

clusões aciculares ocorrem em pequenas quantidades bem como aqueles mostrando sinais de ataque químico.

Zircão- São frequentes grãos incolores e marrons, variando desde euédricos com cantos levemente arredondados, até tipos arredondados, que predominam nas amostras estudadas. Zirções zonados são pouco frequentes associando-se a grãos bem arredondados.

Epídoto- ocorre geralmente sob a forma de grãos arredondados, com coloração típica verde-limão (pistachita) e mesmo incolores.

Anfibólios- presentes, normalmente, como grãos alongados a angulosos, em forma de fragmentos ou palhetas. Apresentam coloração verde clara e escura por vezes incolores. Mostram-se fortemente alterados pelo intemperismo, com manchas pontuais marrons, avermelhadas ou escuras, concentrando-se do centro para as bordas dos grãos. Trata-se provavelmente de grãos de hornblenda e/ou tremolita sendo a primeira predominante.

Cianita- apresenta-se como grãos alongados, arredondados a subarredondados, sendo comuns, também, sob a forma de fragmentos angulosos a subangulosos. Sua coloração varia de amarelo-claro a branco acinzentado. Sinais de alteração intempérica podem ser vistos em alguns exemplares.

Rutilo- varia de grãos arredondados até fragmentos angulosos com coloração típica avermelhada escura.

4.4.3- Procedência dos Sedimentos

A presença de esmectita entre os sedimentos pelíticos do estuário sugere como áreas fontes rochas ou sedimentos situados em clima sêco, bem diferente do atual, na região. Gibbs (1967 e 1973) refere-se a sedimentos encontrados na plataforma continental adjacente à desembocadura do Amazonas como proveniente da Cordilheira Andina, a partir de transporte

pelas correntes desse rio. Bemerguy (1981) levanta a possibilidade de que a esmectita encontrada em sedimentos pelíticos de paleocanais da Ilha do Marajó seja proveniente de sedimentos terciários de áreas baixas do Alto Amazonas, assim como da Bacia Sedimentar do Maranhão onde encontram-se rochas com altos teores desse argilo-mineral (Faria Jr. e Truckenbrodt, 1980). No caso dos sedimentos do Estuário Guajará, é possível aceitar como válidas as considerações referidas acima, visto que o mesmo recebe influências diretas das águas do sistema amazônico bem como de cursos de águas que drenam partes de Bacia Sedimentar do Maranhão, como é o caso do Rio Tocantins e seus afluentes.

É possível, também, que parte da esmectita encontrada no estuário seja proveniente da Plataforma Continental trazida pelas fortes correntes de enchente que adetram no estuário com as marés.

Quanto a clorita, se a considerarmos como detritica, pode-se apontar como principal área fonte os sedimentos recentes do Rio Tocantins, visto ser comum a ocorrência deste argilo-mineral no material terrígeno neste rio (Tancredi et al. 1975, in Bemerguy, 1981).

A caulinita e a illita do estuário podem ser proveniente de solos e sedimentos que bordejam os canais e os principais rios que drenam a área tais com o Guamã e o Acará. Admite-se, também, que parte dela tenha se formado "in situ", a partir de alterações intemperíticas sob o clima úmido agindo sobre a esmectita.

Os minerais pesados transparentes presentes nas areias que preenchem as calhas do Rio Guamã e Baía do Guajará fornecem importantes informações com respeito a suas procedências.

Turmalina, zircão e rutilo, considerados minerais ultra-estáveis (Pettijohn, 1941 e 1957, in Suguio, 1980), quando arredondados e predominantês na assembléia, podem indi

car retrabalhamento sucessivo de sedimentos mais antigos. Zircão e turmalina, em particular, associam-se principalmente a rochas graníticas, pegmatíticas e xistos. A ocorrência de zircão euédrico juntamente com grãos arredondados nas areias e estuarinas permite a suposição de duas fontes: uma magmática e outra a partir de sedimentos retrabalhados. A ocorrência destes minerais no estuário está associada principalmente a retrabalhamento de sedimentos do Grupo Barreiras, que aflora nas falésias em suas margens.

Dentre os minerais pesados metaestáveis, foram identificados no estuário, anfibólios, granada, epidoto, cianita, andaluzita e estauroлита. Os anfibólios podem ser provenientes de rochas ígneas ou metamórficas, porém, no caso das amostras com grandes quantidades deste mineral, a procedência a partir de rochas metamórficas é a mais provável. Granada pode derivar de rochas ígneas ou metamórficas, da mesma forma que o epidoto. Este último, quando abundante, deve provir, também com maior possibilidade de rochas metamórficas. Cianita, sillimanita, andaluzita e estauroлита são indicadores precisos de fontes metamórficas. A presença de andaluzita, anfibólio, epidoto e granada na assembléia de pesados do estuário, pode evidenciar a participação do Rio Amazonas como fornecedor de sedimentos para o mesmo. Segundo Landin et.al. (1983) estes minerais são encontrados nos sedimentos recentes do rio Amazonas, que, segundo o mesmo autor, proveriam em grande maioria dos Andes e/ou dos escudos das Guianas e Amazônico (Tab. 11). A presença de anfibólios, epidoto e granada no Estuário Guajará pode indicar, ainda contribuição de sedimentos provenientes da Bacia do Rio Tocantins que drena terrenos metamórficos e parte da Bacia Sedimentar do Maranhão (Tab. 11).

Veríssimo e Costa (1986) encontraram assembléias de minerais pesados no Alto Rio Guamã, nas proximidades de Ourém, que muito se assemelham as encontradas no estuário (Tab. 11). Esta semelhança pode indicar, também, este rio como um dos principais fornecedores de sedimentos para o Estuário Guajará. O Rio Acará, como afluente principal do Rio Guamã, deve

TABELA 11

TABELA

LOCAL/UNIDADE	RIO AMAZONAS	RIO TOCANTINS	G. BARREIRAS	S. PÓS-BARREIRAS	Plat. Cont. Adj. Rio Pará	ALTO RIO GUAMA	ESTUÁRIO GUAJARA
AUTOR (ES)	Landi et. al. (1983)	Sugio e Fulfaro (1977)	Goés (1981)	Sugio e Fulfaro (1977)	Pomerancolum e Costa (1972)	Verissimo e Costa (1986)	
Estaurolita	X	X	X	X	X	X	X
Zircão	X	X	X	X	X	X	X
Turmalina	X	X	X	X	X	X	X
Cianita	—	X	X	X	X	X	X
Epídoto	X	X			X		X
Anfíbólio	X	X			X		X
Hornblenda							
Rutilo	—		X	X	X	X	X
Granada	X	X					X
Andaluzita	X						X
Apatita	X						
Hiperstênio	X						
Piroxênio	X						
Tremolita	X						
Sillimanita	—	X	X	X			
Monazita	—	X					
Anatásio	—		X				
Área (s) Fonte	Andes/Escudos Pré-Cambrianos	—	St. Luzia e m. Gurupi, Grampos, Iracuaetua e Mirasselva, Arenito Guama	Sed. Barreiras	Rochas e Sedi. da Bacia do Amazonas	—	

enquadra-se neste mesmo raciocínio.

Não se deve destacar a possibilidade de sedimentos da Plataforma Continental interna, servirem de fontes, onde os sedimentos seriam transportados para montante do estuãrio por correntes de marés. As assembléias encontradas na plataforma por Pomerancblum e Costa (1972b), coincidem em grande parte com aquelas presentes nas amostras investigadas (Tab.11).

5- GEOLOGIA E EVOLUÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA REGIÃO ESTUARINA

5.1- Contexto Tectônico

O estudo do Quaternário na Região Guajarina en contra-se associado ao conhecido sobre a história geológica do Terciário da Amazônia. Grande parte da geomorfologia atual re flete o arcabouço estrutural do embasamento da região, quer se ja encaixando-se diretamente em sua estruturação ou, ainda, de corrente de reativações e ajustes tectônicos mais recentes . Tais relações evidenciam-se em toda a borda leste da Bacia Ama zônica e Plataforma Continental Adjacente.

A figura 36 mostra as principais feições estru turais regionais da chamada Bacia Sedimentar da Foz do Amazo nas definidas por Schaller et.al.(1971). O Graben de Limoeiro e o Graben de Mexiana e as duas plataformas do Pará e do Ama pá são reconhecidas como as principais feições, que definem importantes movimentos rupturais para a história geológica da Foz do Amazonas. Estas grandes estruturas apresentam "trends " principais NE/SW e NW/SE.

Barreto (1948, 1949), estudou estas feições através de geofísica e perfuração de poços profundos, estabele cendo a espessura dos sedimentos da Bacia Sedimentar do Mara jô.

Ludwig (1968) defende a idéia de que a Bacia do Marajó tenha se originado a partir de falhas normais desenvol vidas durante o Cretaceo, as quais segundo Rezende e Ferradaes (1971) se mostraram ativas até o Terciário.

Segundo Rezende e Brito (1973), as estruturas do embasamento Pré-Cambriano influenciaram de maneira decisiva no desenvolvimento da Bacia do Baixo-Amazonas. Estes autores chamam atenção para o fato de que as falhas de direção NW , coincidem com as orientações estruturais gerais do embasamento exposto a norte e sul da Bacia.

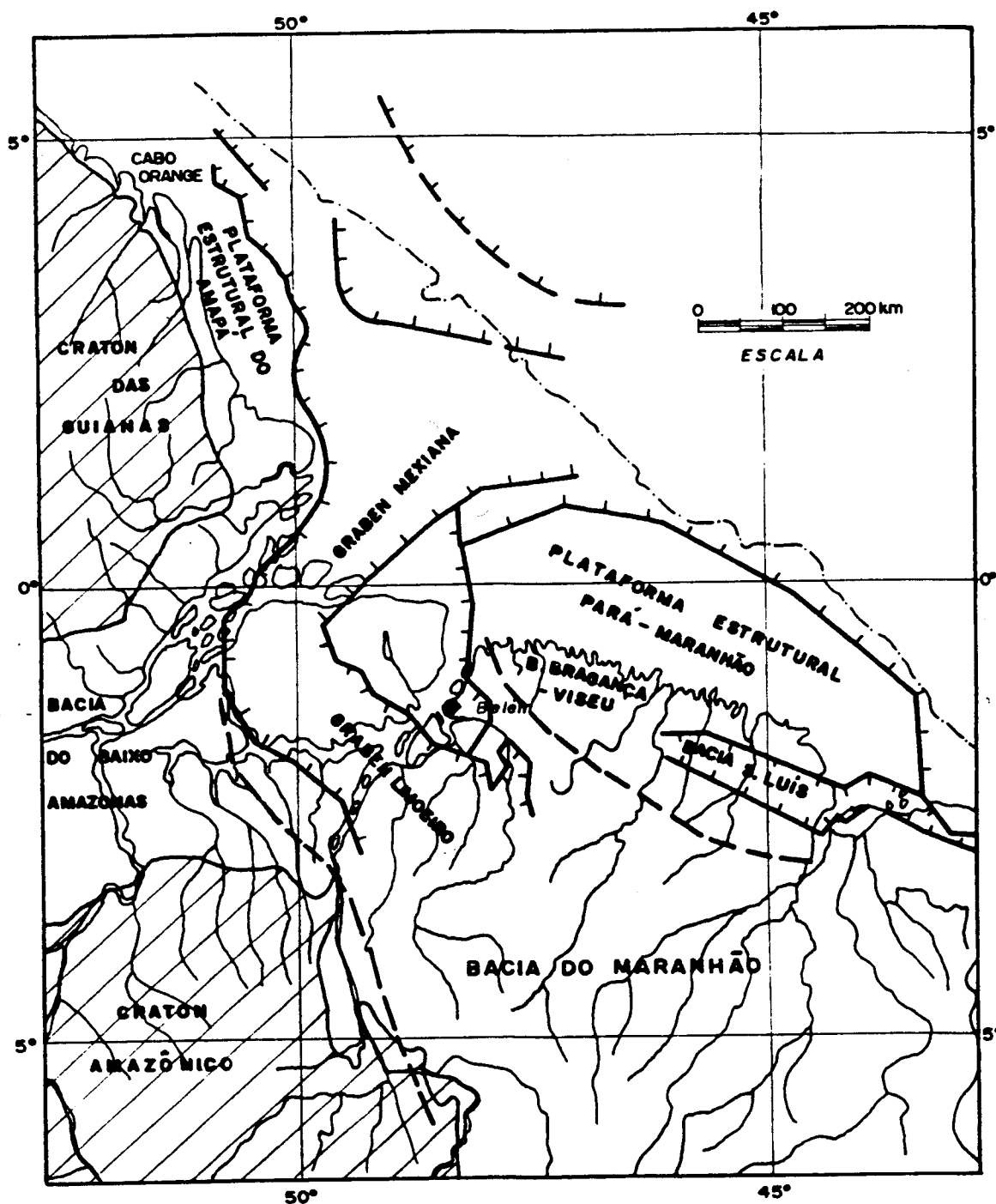


Fig. 36-Arcabouço estrutural da região costeira e de parte da plataforma continental norte brasileira (Modificado de Gorini, 1979, in Palma, 1979).

Segundo Hasui et.al. (1984), o estudo destas estruturas, ainda que encobertas pelo pacote sedimentar, é de fundamental importância para o entendimento do arcabouço estrutural da Amazônia, uma vez que as mesmas indicam estar ativas desde o Pré-Cambriano. Ainda segundo estes autores, várias descontinuidades com direção NW e NNW foram localizadas na Bacia do Marajó através de anomalias Bouguer. Estas estruturas apresentam direções paralelas a maioria das falhas do embasamento. As direções ENE seriam mais jovens, ligadas à abertura de um "Rift" desenvolvido desde o fim do Pré-Cambriano até o Ordoviciano (Rezende e Brito, 1973; Szatmari, 1983).

Bahia e Abreu (1985) interpretaram as descontinuidades acima citadas através de um modelo de aulocógeno, visto que os dados disponíveis apresentam um razoável grau de convergência para esta idéia. Estes autores propõem que o aulocógeno da Bacia do Amazonas seria uma feição resultante da desativação de um "Rift" a partir de uma acentuada subsidência regional no Siluro-Devoniano, passando para a condição de Rift abortado em articulação com uma junção tríplice na Foz do Amazonas.

5.2- Estratigrafia do Quaternário

Schaller et.al.(1971) com base em dados de poços e usando critérios lito e bio-estratigráficos subdividem a seqüência sedimentar da Bacia do Marajó em três partes(Fig.37) :

- a) Sequência Clástica Basal, composta de fanglomeradas (Formação Jacarezinho) e arenitos (Formação Limoeiro), datada do Cretáceo;
- b) Sequência Intermediária de idade Paleoceno e Mioceno, com um fácies clástico (Formação Marajó) e um fácies carbonático Formação Amapá.
- c) Sequência Clástica Superior do Mioceno Superior ao Holoceno, denominada Grupo Pará. Este grupo engloba uma seqüência sedimentar de 1.900m de espessura, associada

Era	PERÍODO	Idade	Área de Marajó e Litoral	Plataforma Continental	
Cenozóico	Quaternário	Holoceno	FORMAÇÃO TUCUNARÉ		
		Pleistoceno	FORMAÇÃO PIRARUCÚ		
	Plioceno	GRUPO PARÁ (Grupo Barreiras)			
	Terciário			Mioceno	Membro Araguari
		Oligoceno	Membro Mexiana	Seqüência Tambaquí	
		Eoceno		Seqüência Jacundá	
		Paleoceno	Membro Cururu	Seqüência Candirú	
			Membro Afuá		
	Mesozóico	CRETÁCEO	Formação Jacarezinho	Formação Limoeiro	
	PALEOZÓICO INDIFERENCIADO		Paleozóico		
		PRÉ-CAMBRIANO INDIFERENCIADO	Pré-Cambriano		

Fig. 37 - Coluna estratigráfica da Bacia Sedimentar da Foz do Rio Amazonas (modificado de Schaller et al. 1971, incluindo sugestões de Ferreira, 1982).

a ambiente fluvial e parálico (Formação Tucunaré), e nerítico (Formação Pirarucú).

Ferreira (1982) ao se referir aos sedimentos clásticos continentais adverte que, quando sobrepostos aos sedimentos marinhos da Formação Pirabas (Mioceno Inferior), estes são conhecidos na literatura como representantes do Grupo Barreiras. Segundo este autor, o Membro Araguari da Formação Marajó e grande parte da Formação Amapá (Sequência Tambaquí e Tamotã), datadas por Schaller et.al. (1971) do Oligoceno ao Mioceno Inferior, devem ser denominadas Formação Pirabas. Esta última aflora ao longo de toda a costa do Pará, Maranhão e Piauí, bem como em subsuperfície na zona Bragantina (PA). Neste trabalho serão consideradas estas correlações apontadas por Ferreira (1982).

Vários autores referem-se ao Grupo Barreiras enfatizando seus aspectos litológicos e relações estratigráficas: Katzer (1933), Moura (1932), Ackermann (1964, 1969), Sá (1969), Francisco et.al. (1971), dentre outros.

Goes (1981) assume a denominação Grupo Barreiras para os sedimentos da Região Bragantina e Salgado do Estado do Pará subdividindo-a em três litofácies: conglomerática, argilo-arenosa e arenosa, considerando seu ambiente de sedimentação predominantemente subaéreo, com depósitos em fluxos gravitacionais, com variações locais para lacustre ou subaéreo em forma de enxurradas.

Silva e Loewenstein (1968) refere-se aos sedimentos amarelados sobreposto ao Grupo Barreiras, distribuídos ao longo do litoral e Região NE do Pará, como "Sedimentos Pós-Barreiras".

Ackermann (1964) separou o Quaternário da região em Recente e Antigo. Ao Quaternário Recente associou os depósitos da várzeas e fundo dos rios e ao Quaternário Antigo os depósitos situados fora da faixa de inundações, referindo-se as

areias mal classificadas com argila e arenito ferruginoso.

Sã (1969) seguindo Silva e Loewenstein (1968) de nomina "Sedimentos Pós-Barreiras" o material argiloso, que corre em discordância erosional sobre os sedimentos do Grupo Barreiras.

Francisco et.al. (1971) mantêm o termo "Pós-Barreiras" referindo-se aos sedimentos inconsolidados, de granulação fina, encontrados sobre o Grupo Barreiras ou diretamente sobre a Formação Pirabas.

Mais recentemente Joseph e Faria Jr. (1985) estudando amostras obtidas em sondagens geotécnicas na área da cidade de Belém, referem-se a alternância de camas argilosas e arenosas, como uma sequência datada possivelmente do Pleistoceno e ligados a ambiente fluvial meandrante com associação de planície de inundação e de barras arenosas. Tais sedimentos, segundo estes autores, estariam recobrando o Grupo Barreiras, na região de Belém.

5.3- Geologia da Região de Belém

Tomando-se como base dados geotécnicos e de sondagens realizadas em vários locais da Região Metropolitana de Belém e adjacências (Companhia de Docas do Pará, 1972; Brandão Filho e Maltez, 1983; Soares e Assis, 1984; Silva e Truckenbrodt, 1985). Propõe-se informalmente a Coluna Estratigráfica apresentada na figura 38, para esta região.

A Companhia das Docas do Pará (1972) realizou 24 perfurações rasas (até cerca de 45,00m), dispostas em 4 seções, no Porto de Belém, definindo como Pleitocênicos/Holocênicos os sedimentos do subsolo da cidade (Fig. 39).

Admite-se neste trabalho que estes sedimentos são correlacionáveis com a Sequência "Pós-Barreiras", de idade provável compreendida entre o Pleitoceno e o Holoceno Inferior a Médio.

UNIDADE	PROFUNDIDADE	IDADE	Descrição Sucinta		
GRUPO BARREIRAS	Holoceno Sup. do Recente	0 a	Quaternário	10.000 a 4-5.000 anos AP ao Recente	Argilas silteosas e areias quartzosas com matéria orgânica.
	Holoceno Med.-Inf.	40-50		10.000 a 16.000 anos AP.	Siltos, argilas, areias finas a me- dias com siltos. Siltos argilosos com grânulos e blocos de arenito ferruginoso.
	Pleistoceno	m	16.000 a 2.5 M.A.		
BARREIRAS	0 a 100-150 m	Terciário Superior		Siltos argilosos com níveis de are- nito ferruginoso, argila cinza clara, areias avermelhadas variadas e late- ritas.	
FORMAÇÃO PIRABAS	entre 76 e 100 - 120 m.	Oligo-Mioceno		Areia argilosa cinza escura, gros- sa a muito grossa, subangular com grãos arredondados a subarredonda- dos. Macro e microfósseis (foramini- feros), briozoários, moluscos, cora- is, fragmentos de ossos, etc.	

Fig. 38 - Coluna estratigráfica esquemática para a região de Belém e adjacências.

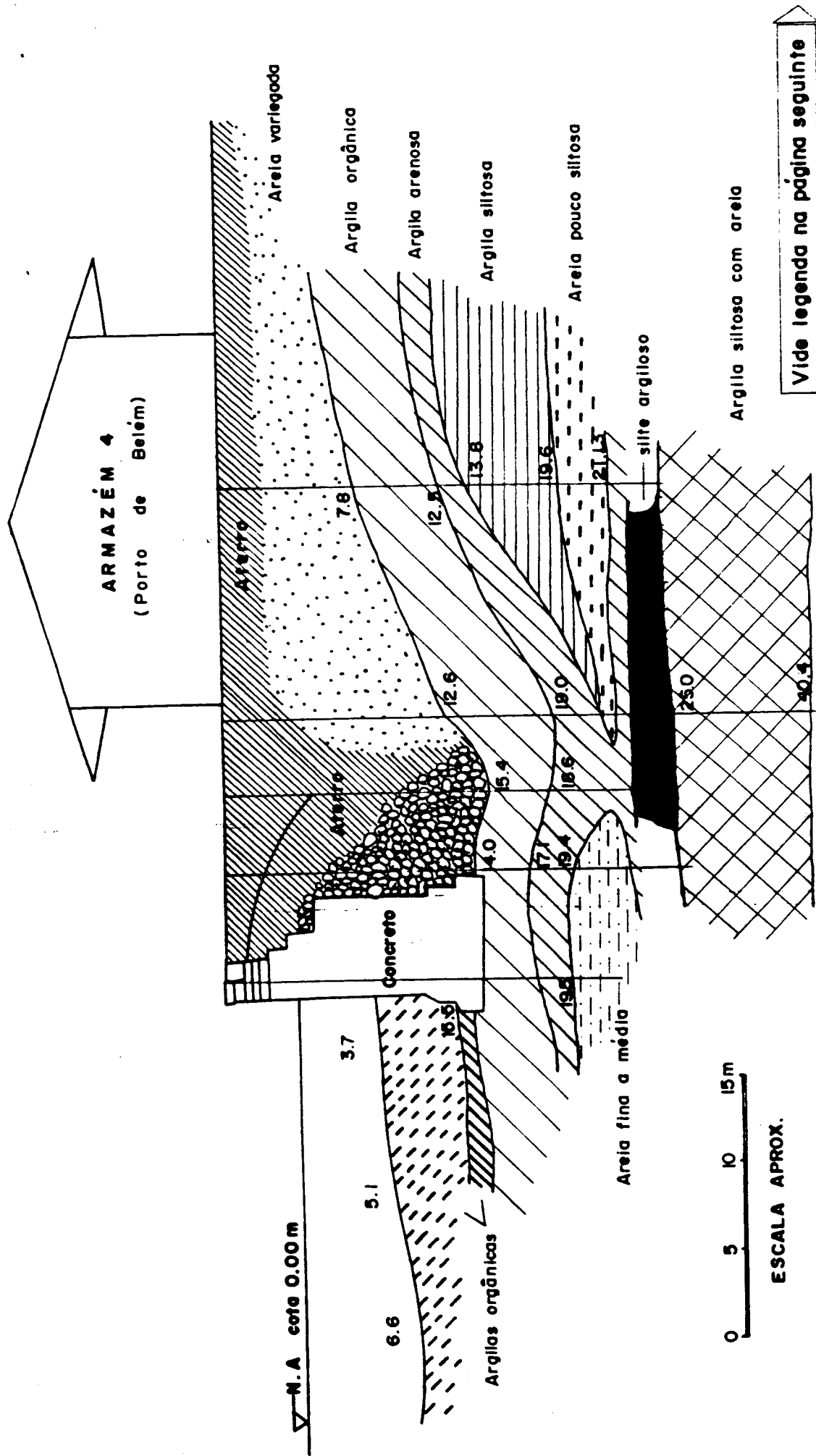



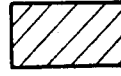

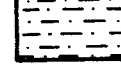





Fig. 39 - Perfil geológico esquemático composto a partir de dados de sondagens realizadas no Porto de Belém (Companhia Docas do Pará, 1972, modificado).

	<p>Argila Orgânica cinza escura a claro com espessura e distribuição irregular.</p>
	<p>Areia fina a média, marrom, de granulação variada, com silte e veios de argila (espessura 7 a 15 m)</p>
	<p>Argila Orgânica cinza a escura, muito plástica, com granulos e blocos de arenito ferruginoso. (espessura. 3 a 4m).</p>
	<p>Argila arenosa, de cinza clara com blocos de arenito ferruginoso. (espessura 1m).</p>
	<p>Argila Siltosa cinza clara (espessura aprox.6m).</p>
	<p>Areia fina a média cinza clara.</p>
	<p>Areia fina a média, pouco siltosa, cinza claro (espes. ≈ 1m).</p>
	<p>Silte argiloso com areia e pedregulhos de arenito ferruginoso, gradando para o topo argila quase pura. (espessura 4-5m).</p>
	<p>Argila Siltosa com areia, variando de cinza a cinza escura (espessura -4.4).</p>

Legenda da Figura 39

Acredita-se, ainda, que os canais estuarinos, com seus sedimentos recentes a atuais, estejam encaixados na Unidade Pós-Barreiras. Tal informação, no entanto, carece de estudos mais detalhados que não fizeram parte dos objetivos deste trabalho.

5.4- Geomorfologia do Estuário Guajará

5.4.1- Relações com o Rio Amazonas

A discussão sobre o uso dos termos morfológicos delta ou estuário, para denominar a desembocadura do rio Amazonas, tem sido motivo de controvérsias. Pimenta (1959, in Ponçano, 1985) e Bacocoli (1971) apresentam argumentos para considerá-lo delta, enquanto Smith (1879 in Ab'Saber, 1967), e Egler e Schwassmann (1962) propõe o termo estuário. Soares (1977) utiliza "delta-estário"; Botelho C. de C. (inédito, in Soares, 1977) assume a denominação "delta-de-flanco-estuarino"; Ottmann (1968), "delta no fundo do estuário" ("delta a fond de l'estuaire").

Ponçano (1985) considera que devido a sua elevada carga sedimentar, o Amazonas "é um rio de construção deltáica, porém, a fase atual, em virtude de seu recente afogamento, pode comportar características de circulação estuarina". Trabalhos mais recentes reconhecem que o regime atual do Amazonas é propício a formação de um delta submarino posicionado na Plataforma Continental adjacente (Kuehl et.al., 1986).

Desta forma considera-se que a Baía do Guajará constitui-se uma pequena parte do Grande Estuário do Rio Amazonas, estando, portanto, sujeita aos processos geológicos determinantes da evolução geomorfológica dessa região.

5.4.2- Unidades do Relêvo

As principais unidades do relevo distinguem-se quanto as suas características geomorfológicas e posicionamento

em relação ao principal agente dinâmico da região, a maré:

- a) Terraços³ Pleistocênicos.
- b) Terrenos Holocênicos ou áreas de várzeas e zonas litorâneas.

5.4.2.1- Terrenos Pleistocênicos - A "Terra Firme"

Os Terraços Pleistocênicos na Região Amazônica são caracterizados por extensas elevações de baixa altitude (max. 50m) que se expandem e se escalonam regionalmente a medida que se afastam do eixo da Bacia Hidrográfica do Amazonas. A "Terra Firme" é constituída por terrenos planos associados a platôs plio-pleistocênicos (Sombroeck, 1966).

Os terrenos que se destacam acima do nível das águas dos principais cursos fluviais da região, tal como o Guamã e o Acará, sob a forma de patamares, mantidos por lateritas, podem ser vistos como parte integrante desta unidade geomorfológica.

Ruellan (1945) aponta sete terraços deste tipo com altitudes de 100, 50, 40, 30, 20, 8 e 4m na região compreendida desde os arredores de Belém até a Ilha do Marajó. Tais feições podem ser interpretadas como degraus de dissecação associados a aluvionamentos ocorridos no fim do Terciário e Pleistoceno, devido a movimentos relativos do nível do mar e/ou dos continentes, responsáveis por mudanças no nível de base de erosão dos rios. As variações nas descargas e aporte de erosão dos rios podem ocorrer associadas a modificações climáticas durante este intervalo de tempo (Van Gell e Van der Hammen, 1973; Marabe e Hahn, 1977 in Baker, 1978; Van der Hammen, 1974, 1978 in Marques et.al., 1986 e outros).

Deve ser destacado que a ocorrência de "Terra Firme" ou Terraços Pleistocênicos em algumas ilhas do estuário

-3- No sentido de Christofolletti (1981) que refere-se a este termo como patamares fluviais, associados a antigas planícies de inundação.

rio sugere ~~idades~~ mais antigas para formação das mesmas. É o caso das ilhas de Arapiranga e Cotijuba, onde se observam elevações de 15-20m constituídas de sequência arenosas e argilosas com níveis irregulares de Grês-do-Pará (Huber, 1902).

5.4.2.2- Terrenos Holocênicos

Estão representado por terrenos encaixados nos Platôs Pleistocênicos (Terra Firme), associados às planícies de inundação e baixios com evidência do entalhes e afogamentos.

A região litorânea caracteriza-se por se apresentar extremamente recortada, com vales afogados ou "Rias", em alguns casos mascarados pela retomada subsequente da sedimentação (Ab' Sáber, 1986). Nesta região são comuns as desembocaduras de rios relativamente largas, de cotas batimétricas baixas, muitos das quais assumindo, atualmente, comportamento estuarino. Segundo Ab' Sáber (1986) somente em condições tropicais e numa área com forte sedimentação marinha e fluvial pode haver condições para o estabelecimento de tal tipo de morfologia.

Franzinelli (1976) reconhece a existência de três tipos distintos de costa no litoral e nas margens do amplo estuário do Rio Pará:

- 1º) Costa baixa com pequena inclinação, coberta de mangue e inundada na preamar;
- 2º) Costa baixa complexa com inclinação moderada e com planos inundáveis pouco desenvolvidos e cobertos por vegetação;
- 3º) Costa alta, com falésias esculpidas nos depósitos areno-silte-argilosos avermelhados do Grupo Pará (Schaller et.al., 1971) com praias inclinadas e planos de marés limitados.

Segundo Barbosa et.al. (1974, in Franzinelli, 1976) as fãlesias da região litorânea paraense representam níveis de terraços que correspondem a restos do Pedimento Pleitocênico, os quais seguem preferencialmente a margem direita do estuário, desde a cidade de Colares e incluindo as ilhas do Mosqueiro, Cotijuba, Arapiranga e Carnapijô (Fig. 1)

Ponçano (1985) refere-se as falésias dividindo as em dois tipos:

- a) Antigas, mantidas por crostas lateríticas e com 5-12m de altura posicionadas mais para o interior, indicativas do nível do mar cerca de 5 a 10m acima do atual e relacionadas a terraços de gênese complexa;
- b) Atuais, localizadas no litoral, pouco acima do nível do mar e encontradas nas regiões de Maracanã, Salinópolis, Outeiro, etc...

Com relação a região adjacente aos canais estuarinos mais interiores, esta caracteriza-se por uma morfologia típica de várzea ou planície inundável, podendo ser subdividida em várzea alta e várzea baixa. Estas mesmas feições ocorrem na região litorânea associadas a outros elementos morfológicos, fortemente condicionados pelos rios, que consequentemente assumem o caráter de autênticos canais de marés.

As várzeas altas, com altitudes máximas de 5-6m, conforme Sioli (1951), são locais atingidos pelas águas de marés somente durante as grandes enchentes, abrangendo extensas áreas das margens estuarinas principalmente nas ilhas das Onças, Cumbú e arquipélago contíguo ao canal de Cotijuba, além de boa parte das "terras altas", da cidade de Belém e adjacências.

As várzeas, constantemente alagadas pelas marés semi-diurnas, incluem as margens dos canais estuarinos e "braços" fluviais anexos, configurando uma topografia plana com depressões responsáveis pela desorganização e dificuldades no fluxo da drenagem (Sioli, 1951). Aqui enquadram-se, também, os

diques marginais de várzeas, antigos ou atuais, associados as planícies de inundação dos principais rios.

A distribuição e arranjo destas feições geomorfológicas na região do Estuário Guajará apresenta aspectos peculiares e contrastantes se comparadas a fisiografia das duas margens. Na margem correspondente a cidade de Belém predominam as várzeas baixas, que gradam interiormente para zonas de várzeas altas. Feições típicas desta margem são as extensas praias lamosas, suavemente inclinadas em direção ao canal, expostas na baixa-mar, com/ou desprovidas de vegetação. Esta característica pode ser observada, ainda, nas margens dos "furos" e igarapés distribuídos nas ilhas e no continente, onde alcançam alguns quilômetros. Na margem esquerda do estuário nota-se a ausência de várzeas baixas contínuas, observando-se que as águas estuarinas entram em contato direto com a várzea alta através de "barrancos" relativamente baixos.

Ainda com relação as margens, verifica-se que existe uma relação direta entre estas e a posição dos canais mais profundos ou talvez do estuário. Aquelas dispostas próximas aos canais mostram-se abruptas e íngremes, enquanto que naquelas posicionadas mais distantes destes, predominam margens espriadas e lamosas associadas as várzeas baixas.

Com respeito as feições submersas do estuário, destacam-se além dos canais descritos no item 5.1, bancos e cordões arenosos e/ou siltosos. Cabe ressaltar que por maior que seja a ação dinâmica da águas no modelamento destas feições, no estuário o aparecimento e a erosão dos bancos e canais não se constitui num processo que se desenvolva em curtos intervalos de tempo. Ponçano (1985) apresenta conclusões semelhantes, também, para áreas mais extensas do estuário do Rio Pará.

5.4.3- Geomorfologia e Tectonismo

A análise de fotografias aéreas na escala 1:40.000 e imagens de radar 1:100.000 permitiram a elaboração

de uma mapa, no qual constam os principais alinhamentos estruturais e fotogeológicos interpretados na região da Baía do Guajará (Fig. 40). Observam-se estruturas rupturais, ou reflexos destas, com predominância de um conjunto NW-SE seguido por um outro NE-SW e, ainda, N-S e ESE-NNW.

Na Região do Furo das Marinhas, entre a Ilha do Outeiro e Ilha do Mosqueiro, a presença de um labirinto de "furos" ou canais de marés, separando inúmeras ilhas, está claramente associada a alinhamentos fotogeológicos. É provável que esta região esteja ligada a uma zona tectonicamente abatida ou associada a estruturas rupturas de maior porte, gerando uma zona topograficamente plana e baixa onde o mecanismo de sedimentos de várzeas predomina.

Os alinhamentos fotogeológicos observados nas ilhas estuarinas e que desaparecem ou são interrompidos pela presença dos canais de marés tem seus prologamentos visivelmente coincidentes com direções de alinhamentos nas áreas vizinhas na "terra firme".

Admite-se que as ilhas e regiões de "terra firme" tenham constituído terrenos contíguos que posteriormente foram separados devido ao "afogamento" de canais menores, consequência da elevação do nível do mar a partir do Holoceno.

Admite-se, ainda, que os principais contrastes topográficos e geomorfológicos da região estuarina, incluindo os canais e os terraços, são reflexos de uma estruturação em blocos do substrato pré-Terciário (Fig. 41), condicionada por movimentos tectônicos de pequena amplitude, provavelmente recentes (Pleistoceno-Holoceno Inferior a Médio). Tais blocos podem refletir, também o restabelecimento do equilíbrio isostático ligado a implantação dos grabens de Limoeiro e Mexiana no Terciário Inferior. (Bahia e Abreu 1985), que sua vez estariam associado a anisotropia crustais geradas no Pré-Cambriano (Hassui et.al. 1984).

Estas conclusões estão de acordo com as observa

FIGURA 40 MAPA DE ALINHAMENTOS ESTRUTURAIS






BELÉM - MOSQUEIRO

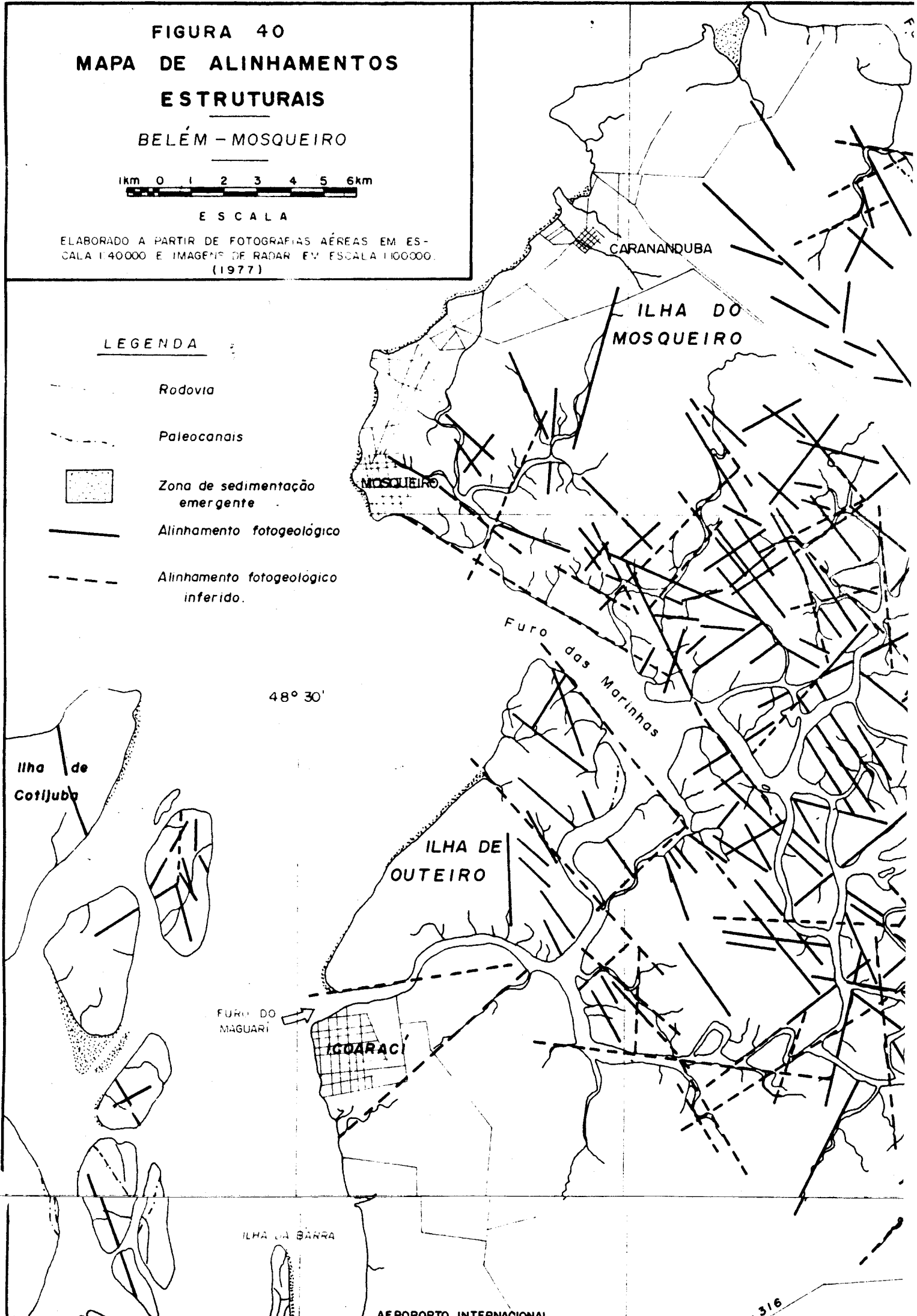
1km 0 1 2 3 4 5 6km

ESCALA

ELABORADO A PARTIR DE FOTOGRAFIAS AÉREAS EM ESCALA 1:40000 E IMAGENS DE RADAR EM ESCALA 1:100000 (1977)

LEGENDA

-  Rodovia
-  Paleocanais
-  Zona de sedimentação emergente
-  Alinhamento fotogeológico
-  Alinhamento fotogeológico inferido.



48° 30'

28°20'

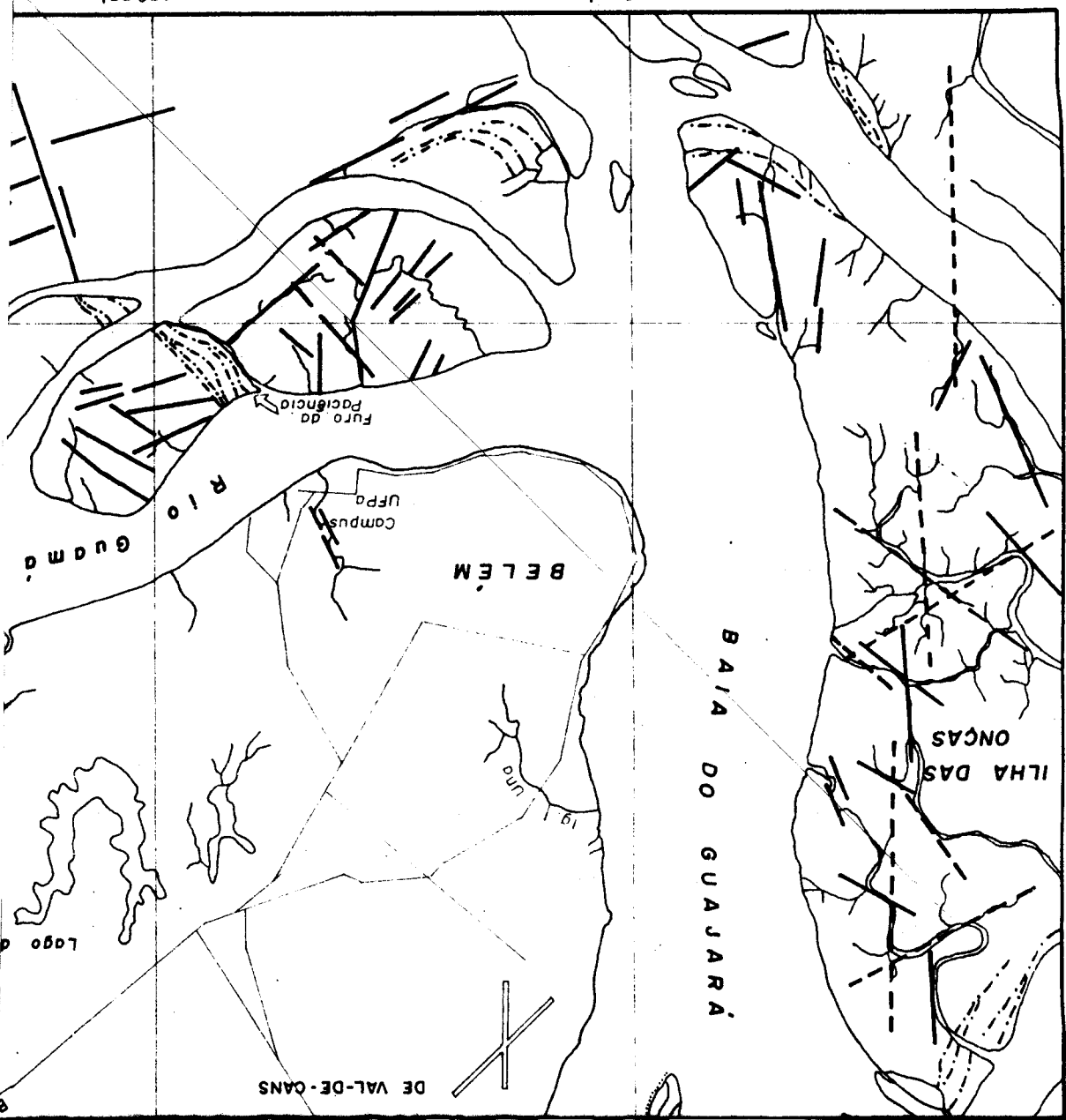
das Marinhas

01°

48°25'

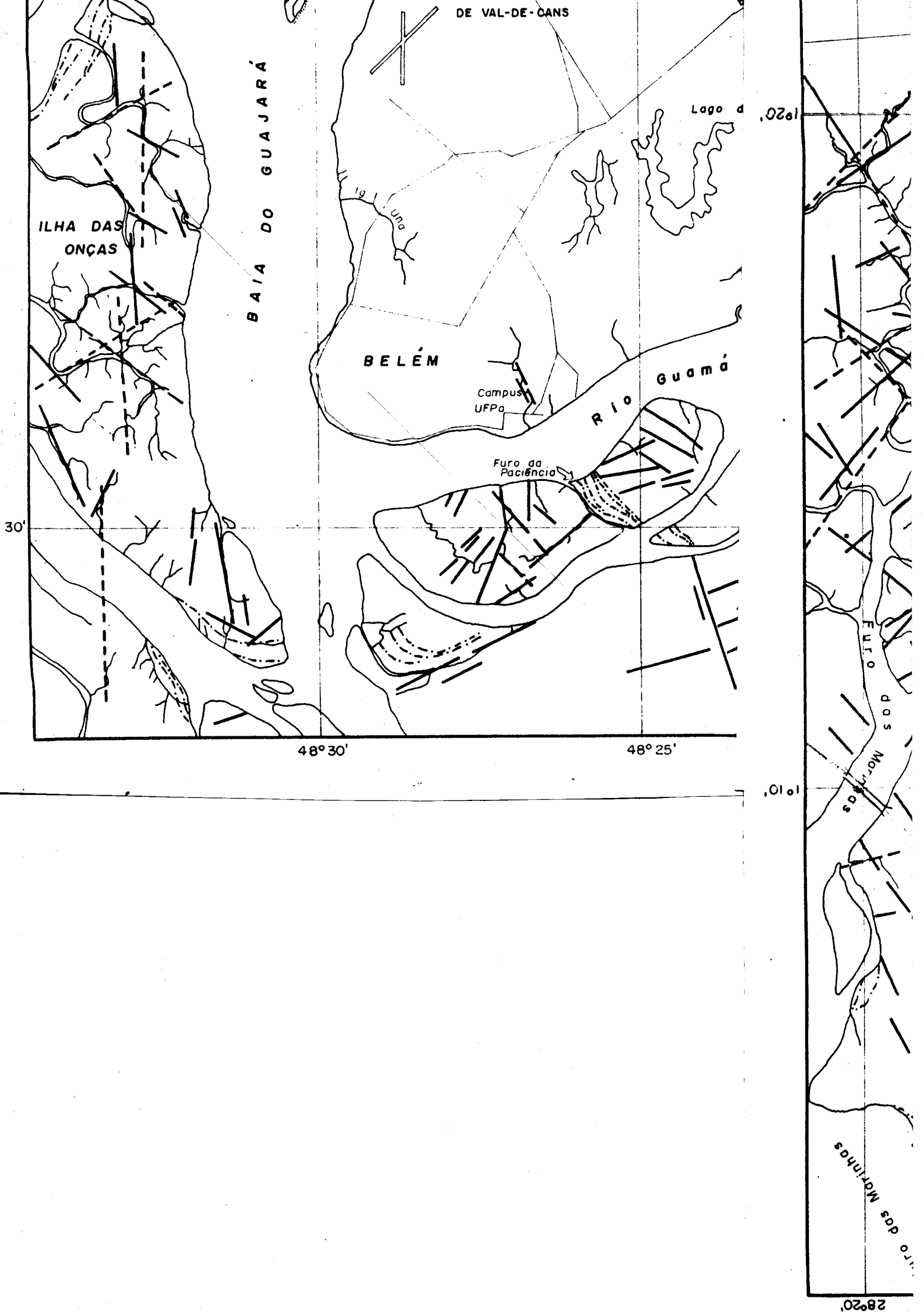
48°30'

30°



02°

DE VAL-DE-CANS



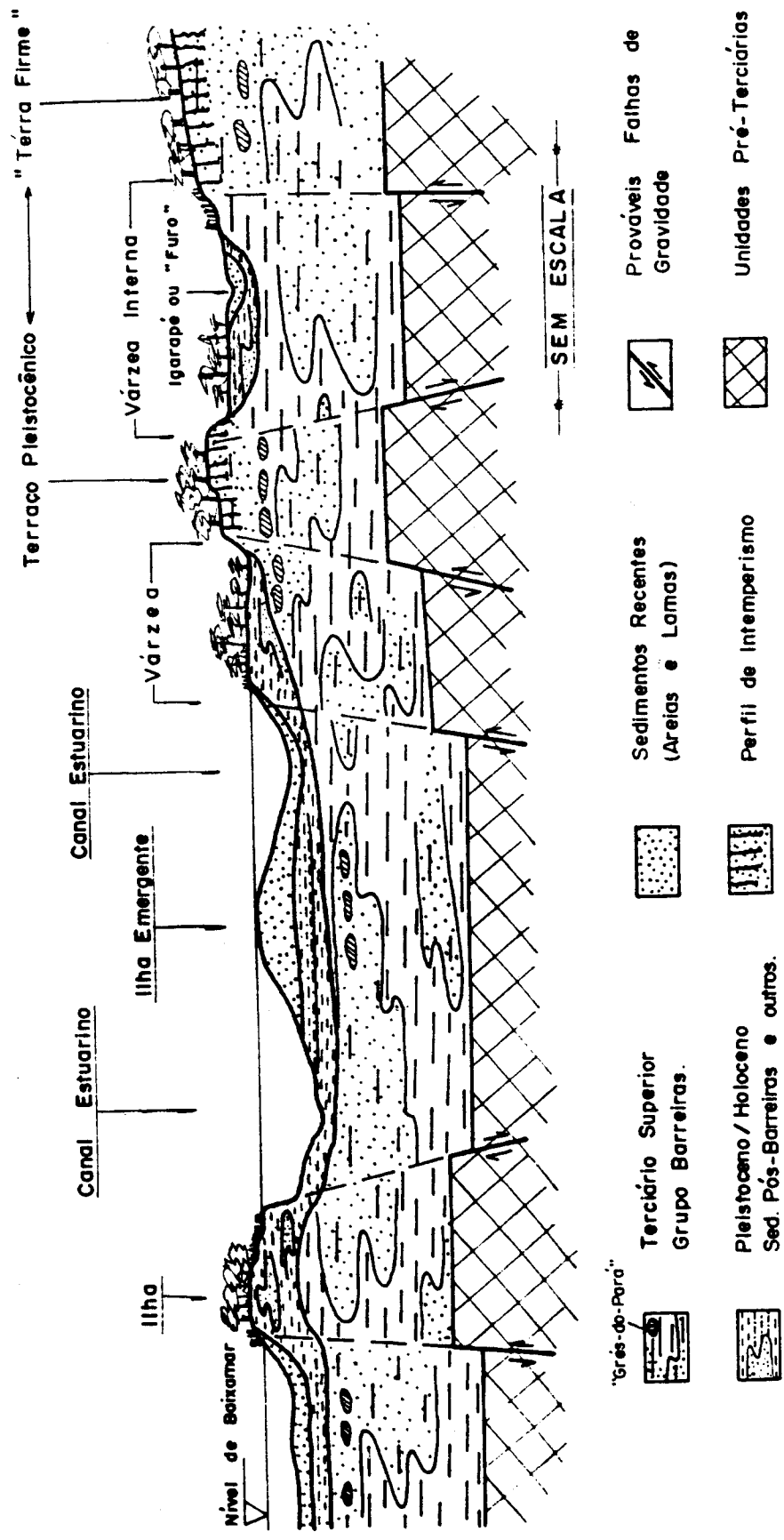


Fig. 41 - Perfil esquemático da região estuarina relacionando as principais unidades litológicas com as feições geomorfológicas e estruturais da área.

ções de Sternberg (1950), que salienta que estas compartimentações se dariam por reativações e abatimentos do embasamento cristalino, provavelmente fraturado pelo "diastrofismo gondwanico" e visualizado em vários rios da Bacia Amazônica.

5.5- Evolução Paleogeográfica

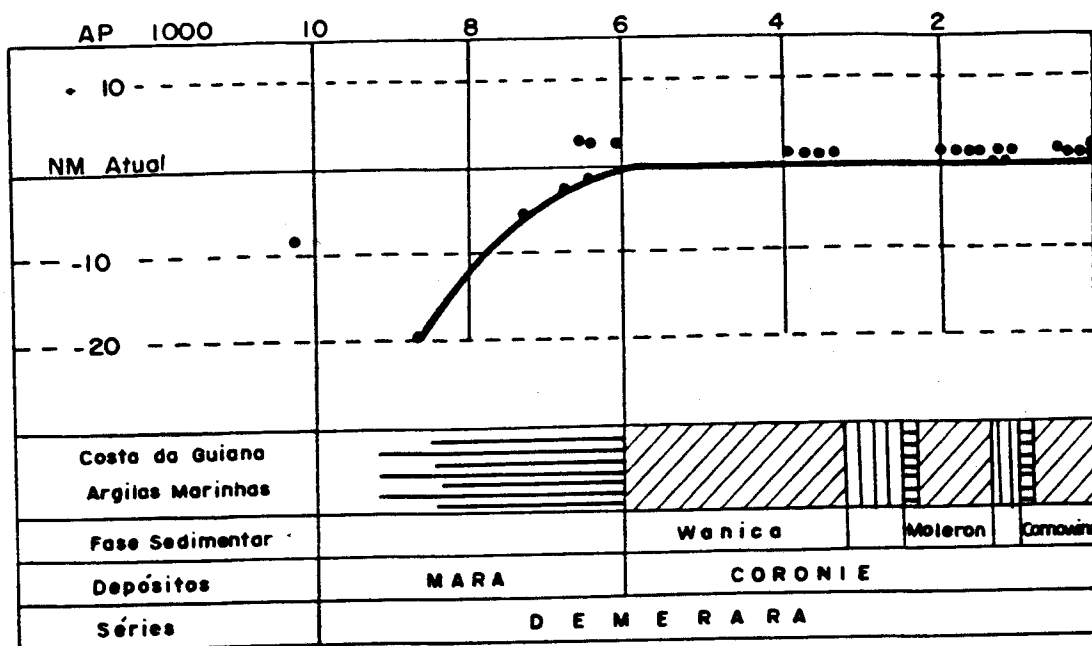
O passado recente do Estuário Guajarino está condicionado às variações do nível marinho cujas principais causas, segundo Ponçano (1985) podem ser: movimentos crustais tectônicos e isostáticos; compactação de sedimentos, e fenômenos glacio-eustáticos. Flint (1971, in Ponçano, 1985) reconhece este último como sendo o mais importante.

Milliman e Emery (1968, in Santos, 1972) admitem que de 30.000 a 35.000 anos o nível do mar esteve próximo ao atual, tendo regredido até cerca de menos de 130m a 16.000 anos. Segundo estes autores a Transgressão Flandriana (ou Holocênica) teria iniciado a 14.000 anos continuando mais rapidamente até 7.000 anos, elevando-se, então, a partir daí, lenta e gradualmente. Segundo Fairbridge (1961, in Krook, 1979) esta transgressão teria se iniciado a 18.000 anos e atuado descontinuamente, sendo interrompida por regressões menores.

As principais variações do nível do mar detectadas ao longo da plataforma brasileira, segundo Kowsmann e Costa (1974), correspondem às isóbatas de -130, -110, -90, -75, -60, e -40m, assim distribuídas:

- 130m - 15.000 AP (último evento glacial)
- 110m - 13.000 a 14.000 AP
- 90-75m - 12.000 a 11.000 AP
- 60m - 11.000 AP
- 40m - 9.000 AP

Brinkman e Pons (1968, in Prost, 1986) estabeleceram a partir de datações com carbono-14 uma curva de variação do nível do mar para o Holoceno na costa do Suriname (Fig. 42). Segundo estes autores o nível do mar atingiu a posição atual somente a cerca de 6.000 anos AP, tendo-se mantido aparente



- 1 - Depósitos argilosos: nível do mar "estável"
- 2 - Depósitos de argilas com pirita: subida do nível do mar
- 3 - Erosão
- 4 - Datação C-14

Fig. 42 - Curva de variação do nível do mar no Holoceno para a costa do Suriname, segundo Brinkman e Pons (1968, in Prost, 1986).

mente estável até nossos dias.

Admite-se que a partir do Terciário, com a implantação da Bacia do Marajó, a foz do Amazonas poderia ter sofrido modificações que se prolongaram até a efetiva implantação, no Holoceno, de um regime deltáico a estuarino semelhante ao atual. Ab'Saber (1986) afirma que o rio Amazonas escavou um amplo vale durante o último estágio de abaixamento do nível do mar, na glaciação Pré-Flandriana ocorrida a 1.3000-20.000 anos AP. O clima era menos quente e muito seco, impondo regimes fluviais menos volumosos e conseqüentemente com baixo aporte de sedimentos à Plataforma, com seus afluentes fortemente encaixados na estruturação da Bacia de Marajó. Estas idéias tem como base a ocorrência de paleocanais detectados por eco-sondagem na plataforma adjacente a desembocadura do Amazonas, como relíquias de um antigo sistema de drenagem continental, representando inconformidades erosionais (Santos, 1972).

Evidências de clima glacial-árido, associado a regressão Pré-Flandriana, são apontadas por vários autores: Hafler, (1969 in Van der Hammen, 1974); Wijmstra (1969 e 1971 in Van der Hammen, 1974), Van Geel e Van der Hammen (1973) e Van der Hammen (1974); Livingstone e Van der Hammen (1978, in Marques et.al. 1986). Marabe e Hahn (1977, in Baker, 1978) estudando o modelo geral de circulação da atmosfera da Terra também concordam com a existência de um período glacial-árido no final do Pleitoceno.

Segundo Van der Hammen (1974), após um período extremamente seco que coincidiu com o período de máxima glaciação (21.000-13.000 anos AP), o clima foi se tornando mais chuvoso, com o que concorda Ab'Saber (1986). Segundo este autor, com a Transgressão Flandriana (10.000 a 9.500 anos AP) processou-se uma retropicalização generalizada da Região Amazônica, com aumento da temperatura e da umidade provocando a reimplantação da floresta que segundo Van der Hammen (1974) foi substituída por savana durante o período glacial.

No início da Transgressão Flandriana, a região

estuarina do Rio Parã apresentava, provavelmente, características fluviais. Com o avanço desta transgressão os vales fluviais foram afogados fazendo submergir a costa. Este processo, segundo Ab' Saber (1986), deve ser acentuado por volta de 6.000-5.000 anos AP, quando o mar atingiu as indentações rasas da atual costa de mangues frontais. Na região do Estuário Guajará, em particular o afogamento do continente deve ter assumido taxas elevadas pois, além da subida do nível do mar provocada pelo fenômeno glacio-eustático, a região apresentava tendências a um abaixamento tectônico geral como reflexos da implantação do Graben do Marajó. Existem registros de subsistências locais associadas a falhas menores subordinadas a estruturação do Graben, as quais seriam responsáveis também pela reestruturação da drenagem (Sombroek, 1966).

A partir de 6.000 anos AP, quando o nível do mar teria atingido a posição atual, os antigos canais originados por erosão e encaixados em feições estruturais durante a época de mar baixo, incluindo a região adjacente a Baía do Guajará, estariam completamente afogados e sofrendo colmatação intensiva sob um regime estuarino típico, onde as marés passaram a modelar a morfologia em integração como o regime fluvial.

Pequenas variações climáticas, relacionadas a períodos mais secos, no Holoceno, parecem ter sido responsáveis por mudanças no regime fluvial ocasionando a individualização de diferentes níveis ou terraços na região estuarina. Segundo Absy (1980) os principais períodos secos, com precipitações menos efetivas, foram datados por carbono-14 para as seguintes épocas: logo após 4.000 anos AP; 2.100 anos AP (provavelmente o período seco mais pronunciado entre cerca de 2.700AP e 2.000AP) e próximo de 700 anos AP (ano domini 1.200).

6- CONCLUSÕES

O Estuário Guajará representa um ambiente caracterizado por uma alta energia hidráulica, com fortes correntes tidais que interagem com a elevada energia fluvial dos rios Guamã e Acará. Em consequência disto não apenas a fisiografia como ainda o próprio relevo da calha estuarina está sujeito a modificações periódicas relativamente rápidas.

A vegetação das margens estuarinas desempenha importante papel no contexto geomorfológico e hidrodinâmico do ambiente, onde, em conjunto com os fatores sedimentológicos, segue uma tendência decolmatação dos canais e regiões de várzeas. A composição florística das margens depende fundamentalmente da relação entre o relevo e o regime das marés, estabelecendo-se assim um equilíbrio dinâmico.

O contraste decorrente das diferentes alturas de chuva, relativas aos períodos "chuvosos" e "menos chuvosos", propicia modificações sazonais no regime dos rios que compõem o estuário, resultando em variações das condições físico-químicas das águas estuarinas, sobressaindo-se aquelas decorrentes da intrusão da maré salina. O mecanismo de entrada da maré salina no estuário obedece a um padrão dinâmico que permite definir um canal de enchente, ocupando os chamados Canal do Porto e Canal do Meio, e um canal de vazante posicionado na margem esquerda do estuário (Canal da Ilha das Onças). No período "chuvoso" (dezembro a abril/maio) as altas descargas fluviais impedem por completo a penetração das águas salobras, enquanto que nos meses correspondentes a "estiagem" (junho a novembro) a maré salina penetra de modo decisivo, mesmo nas porções mais internas do estuário, notadamente durante a preamar das marés de sizígia. Nestas condições a salinidade pode alcançar valores da ordem de até cerca de 0,5‰ em frente a cidade de Belém. Nas marés de quadratura, mesmo no período de baixa vazão dos rios, a penetração salina é menos efetiva. Assim sendo, pode-se considerar o Estuário Guajará como parcialmente misturado quanto ao padrão de circulação, com apreciáveis variações laterais. No decorrer das enchentes e vazante, isto é, nos intervalos entre

preamar e baixa-mar, o estuário assume características que tendem ao tipo homogêneo, com águas pouco mais diluídas em superfície.

Parâmetros físico-químicos das águas como: concentração de O_2 , pH, condutividade e concentração de material em suspensão, sofrem variações horárias em decorrência do movimento das marés; variações quinzenais acompanhando os ciclos lunares, e, por fim variações decorrentes das oscilações pluviométricas sazonais, aproximadamente semestrais. A temperatura da água, por outro lado, acompanha com atraso a temperatura do ar. A concentração do material em suspensão sofre profundas oscilações principalmente em função das correntes tidais e da salinidade. As concentrações máximas encontradas associam-se aos momentos de final de vazante, no Canal do Meio, podendo coincidir ou não com os momentos em que as correntes atingem velocidades máximas neste canal.

A composição mineralógica do material em suspensão nas águas mostrou-se semelhantes aquela encontrada nos sedimentos pelíticos da calha estuarina, ocorrendo caulinita, illita, esmectita, interestratificados de illita-esmectita, quartzo, além de traços de clorita.

A distribuição dos tipos texturais no leito estuarino apresentou-se compatível com os padrões hidrodinâmicos verificados. Em locais com correntes moderadas, ocorrem areias finas a médias muitas vezes misturadas com silte e/ou argila. No Canal da Ilha das Onças onde as correntes são extremamente fortes, principalmente nas vazantes, o fundo sofre erosão fazendo aflorar argilas compactas do substrato. Nas bordas de algumas ilhas estuarinas ocorrem areias com diâmetro médio podendo ultrapassar 0,25mm, enquanto que nas margens baixas espraiadas, protegidas das correntes, distribuem-se sedimentos essencialmente pelíticos. De um modo geral predominam, no leito estuarino, sedimentos com diâmetro médio na faixa de 0,062 a 0,125mm. Deste conjunto pode-se individualizar duas fácies principais: a Fácies Lamosa e a Fácies Arenosa.

Os sedimentos arenosos do estuário são compostos minealógicamente por quartzo e óxido de ferro, além de estauroлита, zircão, turmalina, cianita, epidoto, anfibólio, rutilo, granada, andaluzita, sillimanita e anatásio como acessórios transparentes, na fração pesada. Podem ser consideradas como principais áreas fontes de sedimentos para o estuário, os rios Guamã e Tocantins. A ocorrência de anfibólio e epidoto é a principal indicação de proveniência a partir destes locais. A presença marcante de minerais típicos de assembléias do Grupo Barreiras indicam a participação de sedimentos desta unidade, que aflora ao longo das margens estuarinas, na dinâmica sedimentar deste ambiente. Os argilo-minerais por outro lado, podem apontar áreas fontes diversas, envolvendo sedimentos provenientes da Cadeia Andina (indicador: esmectita); da Bacia Sedimentar do Maranhão e mesmo dos cursos dos rios Amazonas, Tocantins e Guamã.

Com respeito a geologia das margens estuarinas assume-se uma coluna estratigráfica esquemática para a região de Belém e adjacências, onde a cerca de 100-120m da superfície encontram-se sedimentos de idade Oligo-Miocêna atribuídos a Formação Pirabas. Sobrepostos, em profundidades entre 100-150 m encontram-se Sedimentos Terciários correlacionáveis ao Grupo Barreiras. Em seguida, já no Quaternário, estaria repousando uma unidade atribuída do Pleistoceno / Holoceno Médio-Inferior, que poderia ser correlacionada aos conhecidos "Sedimentos Pós-Barreiras". Finalmente, no topo da seção, estariam os sedimentos ditos Recentes.

Estas unidades estratigráficas estariam estruturadas de modo interdigitado, sem que as camadas apresentem, aparentemente, grandes continuidades.

Ao que tudo indica, as feições geomorfológicas maiores do estuário, tais como os Terraços Pleistocênicos ("Terra Firme") as várzeas e os canais estuarinos, estariam condicionadas a estruturação do substrato, onde de repousam rochas pré-Terciárias, que teria sido diferenciado em blocos por falhas normais de baixo rejeito. Es

tas descontinuidades estariam associadas a uma estabilização tardia da Fossa do Marajó. Tais estruturas podem ser vistas, em fotografias aéreas, ao longo de toda a região.

Considerando como aceitável a curva de variação do nível do mar montada por Brinkman e Pons (1968, in Prost , 1986) para a costa do Suriname, pode-se admitir que a partir do Terciário, com a implantação da Baía do Marajó, a foz do Amazonas começaria a sofrer profundas modificações que se prolongariam até a efetiva implantação, no Holoceno, de um regime deltáico e estuarino semelhante ao atual. Durante a glaciação pré-Flandriana (13.000 a 20.000 anos AP), em regime climático bem distinto do atual, a desembocadura do Amazonas estaria estendida à Plataforma Continental, com os afluentes deste rio mostrando-se fortemente encaixados na estruturação promovida, na foz, pela implantação da Bacia do Marajó. No início da Transgressão Flandriana, a região estuarina do rio Pará apresentava-se provavelmente com características francamente fluviais. Com o avanço da transgressão, os vales fluviais existentes foram sendo afogados e deram luz e ambientes com características predominantemente estuarinas, semelhantes aos atuais. Isto teria se dado, segundo a curva de Brinkman e Pons, anteriormente mencionada, por volta de 6.000-5.000 anos AP, período em que o mar teria atingido seu nível atual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ab'SÁBER, A.N. - 1967 - Problemas Geomorfológicos da Amazonia Brasileira. Atas do Simpósio sobre a Biota Amazônica. V.1, p. 35-67.
- Ab'SÁBER, A.N. - 1986 - Geomorfologia da Região de Carajás. In: Almeida Jr., J.M.G. Carajás, Desafio Político, Ecologia e Desenvolvimento. São Paulo, Ed. Brasiliense/CNPq., p. 88-124.
- ABSY, M.L. - 1980 - Dados sobre as mudanças do clima e da vegetação da Amazônia durante o Quaternário. Acta Amazônica 10 (4): 929-931.
- ACKERMANN, F.L. - 1964 - Geologia e Fisiografia da Região Bragantina. Cadernos da Amazonia. Manaus, INPA. N. 2.
- ACKERMANN, F.L. - 1969 - Esboço para a Geologia entre a Cidade de Belém - Rio Gurupi e Atlântico - Rio Guamã. Belém, Imprensa Universitária do Pará - UFPa. 90 p.
- ADRIAN WOLKER DREDGING - 1976 - The Effect on the Regimen of the Rio Guamã if Dredged Material is Dumped into the Canal da Ilha das Onças. Ref. Int., mimeografado.
- BACOCOLI, G. - 1971 - Os Deltas Marinhos Holocênicos Brasileiros - Uma tentativa de classificação. Bol. Técn. PETROBRÁS, Rio de Janeiro, 14 (1/2).
- BAENA, Antonio Ladislau, M. - 1816 - Compendio das Eras da Província do Pará. Tipografia - Santos e Santos, Pará. 648 págs.
- BAHIA, R.R. e ABREU, F. de A.M. - 1985 - O rift do Amazonas. Sistema Aulacogênico na Plataforma Amazônica. Anais do II Simp. Geol. da Amaz., Belém (Pa) V.1., p. 222-229.
- BAKER, V.R. - 1978 - Adjustment of Fluvial Systems to Climate and Source Terrain in Tropical and Subtropical Environments. Fluvial Sedimentology, Canada. Canadian Society of Petroleum Geologist, Canadá. 859 págs.

- BARBOSA, G.V.; RENÓ, C.V. e FRANCO, E.M.S. - 1974 - Geomorfo-
logia da Folha SA.22-Belém. In: Projeto RADAM, vol. 5 p.
II/3 - II 135.
- BARRETO, V.C. - 1948 - Estado do Pará, Geofísica. Relatório do
Conselho Nacional do Petróleo. Rio de Janeiro, p. 69 a 72.
- BARRETO, J.C. - 1949 - Estado do Pará, Geofísica. Relatório do
Conselho Nacional do Petróleo. Rio de Janeiro, p. 68 a 71.
- BATES, Henry W. - 1944 - O Naturalista no Rio Amazonas. São
Paulo, Ed. Nacional, São Paulo. 2v. c/ Ilust. Tradução da
obra de 1848.
- BEMERGUY, R.L. - 1981 - Estudo Sedimentológico dos Paleoca-
nais da Região do Rio Paracauari, Ilha do Marajó - Estado
do Pará. Tese de Mestrado. Belém, Nuc. Cienc. Geof. e Geol.
UFPA. 95 p.
- BRANDÃO FILHO, E. de O. e MALTEZ, M.T. - 1983 - Contribuição
ao Estudo Hidrológico da Região de Belém-Pa. Trabalho de
Conclusão. Belém, Universidade Federal do Pará/Dept? de
Geologia, 35 p.
- BRASIL/SUDAM - 1984 - Ministério do Interior. Superintendência
de Desenvolvimento da Amazônia - Atlas Climatológico da Ama-
zônia/PHCA, n. 39, 125 p.
- BROWN, G. - 1961 - The X-Ray Identification and Crystal Struc-
tures of Clay Minerals. London, Mineralogical Society of
London. 544 p.
- CARVALHO, Carlos M.D. de - 1917 - Météorologie du Brésil. Lon-
dros, John Bale, Sons and Danielsson. 525 p.
- CARVER, R.E. - 1974 - Procedures in Sedimentary Petrology. New
York, Wiley - Interscience. 653 p.
- CETESB - 1978 - Saneamento Ambiental, Análise Físico - Química
das Águas. Normalização Técnica NT-07, São Paulo, 52 p.

- CHRISTOFOLETTI, A. - 1981 - Geomorfologia fluvial. São Paulo, Edgard Blücher. 188 p.
- COMPANHIA DE DOCAS DO PARÁ - 1972 - Sondagens, Vistoria e Projeto de Reparos para Recuperação da Muralha do Cais, no Porto de Belém-Estado do Pará. Rel. Int. BH Engenharia S/A. Belém, 26 p.
- COMPANHIA DE DOCAS DO PARÁ/CDP - 1977 - Informativo CDP, Belém, n. 3, 12 p.
- CORDEIRO, C.A. - 1986 - Estudo da Salinização do Estuário do Rio Pará no trecho Belém-Mosqueiro. Tese de Mestrado. Belém, UFGA, Centro de Geociências. 106 p.
- CUNHA, Eugenio M.S. - 1982 - Caracterização e Planejamento Ambiental do Estuário Potengi. Tese de Mestrado. Natal UFRN-Centro de Biociências, Departº de Oceanografia e Limnologia. 211 p.
- CRUZ, Ernesto - 1973a - História de Belém. Col. Amazônica, Série José Veríssimo. 1º vol. Ed. Comemorativa do Sesquicentário da Adesão do Pará à Independência Política do Brasil. UFGA. Belém-Pa. 342 p.
- CRUZ, Ernesto - 1973b - História de Belém. Col. Amazônica, Série José Veríssimo. 2º vol. Ed. Comemorativa do Sesquicentário da Adesão do Pará à Independência Política do Brasil. UFGA. Belém-Pa. 340 p.
- CURTIN, T.B. - 1986 - Physical Observation in the Plume Region of the Amazon River during Peak Discharge - III. Currents. Continental Shelf Research, 6: 73-86.
- CURTIN, T.B. e LEHECKIS, R.V. - 1986 - Physical Observations in the Plume Region of the Amazon River During Peak Discharge-I. Surfave Variability. Continental Shelf Research, 6: 31-51.
- CURTIS, W.F.; MEADE, R.H.; NORDIN, C.F.; PRICE, N.B. e SHOLKOVITZ, T. - 1979 - Non-uniform Vertical Distribution of Fine Sediments in the Amazon River. Nature, 280: 381-383.

- DIEGUES, F.M.F. - 1972 - Introdução a Oceanografia do Estuário Amazônico. In: 26º Cong. Bras. de Geol. Belém, V. 2, p. 301-317.
- D'ORBIGNY, A. - 1976 - Viagem Pitoresca através do Brasil. Col. Reconquista do Brasil. V. 29. 1ª ed. Tradução de David Jardim. Ed. Itatiaia e Ed. da USP. São Paulo.
- EGLER, Walter A. SCHWASSMANN, Horst O. - 1962 - Limnological Studies in the Amazon Estuary. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Nova Série, Geologia n. 1, 25 p.
- FARIA JR, L.E. do C. e TRUCKENBRODT, W. - 1980 - Estratigrafia e Petrologia da Formação Pedra de Fogo - Permiano da Baía do Maranhão. 31º Cong. Bras. Geol., Camboriú, V. 2, 740-754.
- FERREIRA, C.S. - 1982 - Notas Estratigráficas sobre o Cenozóico Marinho do Estado do Pará. In: Anais do I Simp. de Geol. da Amaz. Belém, SBG-Norte, V.1, p. 84-88.
- FOLK, R.L. e WARD, W.C. - 1957 - Brazos River Bar: a Study in the Significance of Grain Size Parameters. Journal Sedimentary Petrology, 27: 3-37.
- FRANCISCO, B.H.R.; LOEWENSTEIN, P.; SILVA, O.F. da; SILVA, O. F. da; SILVA, G.G. - 1971 - Contribuição à Geologia da Folha de São Luís (SA-23), no Estado do Pará. III Estratigrafia, IV Recursos Minerais. Bol. Mus. Par. Emílio Goeldi - Nova Série, Geologia, n. 17, 40 p.
- FRANCO, A.S. - 1981 - Tides, Fundamentals, Analysis and Prediction. São Paulo, IPT. 232 p.
- FRANZINELLI, E. - 1976 - Contribuição à Sedimentologia da Baía do Marajó. Rel. Int. SUDAM-DNOS-IDESP, Belém, Pa. 12 p.
- FRANZINELLI, E. e POTTER, P.E. - 1983 - Petrology, Chemistry and Texture of Modern River Sands, Amazon River System. Journal of Geology, 91: 23.39.

- GIBBS, R.J. - 1967 - The Geochemistry of the Amazon River System: Part I. The factors that Control the Salinity and the Composition and Concentration of the suspended solids. Geol. Society of America Bulletin, 78: 1203-1232.
- GIBBS; R.J. - 1970 - Circulation in the Amazon River Estuary and Adjacent Atlantic Ocean. Journal of Marine Research, 28: 113-123.
- GIBBS, R.J. - 1973 - The Bottom Sediments on the Amazon Shelf and Tropical Atlantic Ocean. Marine Geology, 14: M39-M45.
- GIBBS, R.J. e KOHWAR, L. - 1986 - Coagulation and Settling of Amazon River Suspended Sediments. Continental Shelf Research, 6: 127-149.
- GOES, A.M. - 1981 - Estudo Sedimentológico dos Sedimentos Barreiras, Ipixuna e Itapecuru no Nordeste do Pará e Noroeste do Maranhão. Tese de Mestrado. Belém, UFPA. Nuc. Cienc. Geof. e Geol. 55 p.
- HARTT, C.F. - 1985 - Contribuição para a Ethnologia do Vale do Amazonas. Arch. Mus. Nac. Rio de Janeiro, n. 6, 175 p.
- HASUI, Y.: HARALYI, N.L.E. e SCHOBENHAUS, C. - 1984 - Elementos Geofísicos e Geológicos da Região Amazonia. Subsídios para o Modelo Tectônico. Anais do Symposium Amazônico, Manaus, DNPM.p. 129-140.
- HUBER, J. - 1902 - Contribuição à Geografia Física dos Furos de Breves e da Parte Ocidental do Marajó. Bol. Mus. Par. de Hist. Nat. e Etnog. (Museu Goeldi), Tomo III, fasc. 1-4/1900-1902, Pará. p. 447-498.
- IDESP - 1974 - Estudos Integrados da Ilha do Marajó. Rel. Int. Belém (PA). 333 p.
- JAPIASSÚ, A.M.S. e GOES FILHO, L. - 1974 - As Regiões Fitocológicas, sua Natureza e seus Recursos Econômicos. Estudos dos Fitogeográficos da Folha SA-22. Belém. In: Projeto RADAM, Levantamento dos Recursos Naturais, Min. das Minas

e Energia DNPM, V. 5.

JOSEPH, C.S. e FARIA JR. L.E. do C. - 1985 - Estudo Sedimentológico e Geotécnico do Quartenário na Área Urbana da Cidade de Belém, Pa. Trabalho de Conclusão de Curso. Belém, Dept^o de Geologia, UFPA. 57 p.

KATZER, F. - 1933 - Geologia do Estado do Pará (Brasil), Bol. Mus. Par. Hist. Nat. Ethnogr., Belém, n. 9, 269 p., il.

KOWSMANN, R.O. e COSTA, M.P. de A. - 1974 - Paleolinhas da Costa na Plataforma Continental da Região Sul e Norte Brasileira. Rev. Bras. de Geoc. 4: 215-22.

KRAATZ-KOSCHLAU, K.A. e HUBER, J. - 1900 - Zwischen Ocean und Guamá: Beitrag zur Kenntniss des Staates Pará. Mem.Mus. Par. Hist. Nat. Ethnogr., Belém, n. 2, 34 p.

KROOK, L. - 1979 - Sediment Petrographical Studies in Northern Suriname. Amsterdam, Vrije Universiteit. Academisch Proefschriftx Utrecht. 154 p.

KUEHL, S.A.; NITTROUER, C.A. e De MASTER, D.J. - 1986a - Distribution of Sedimentary Structures in the Amazon Subaqueous Delta. Continental Shelf Research, 6: (1/2.)

KUEHL, S.A.; NITTROUER, C.A. e De MASTER, D.J. - 1986b - Nature of Sediment Accumulation on the Amazon Continental Shelf. Continental Shelf Research, 6: 209-225.

LANDIN, P.M.B.; BÓRIO, N.J.; WU, F.T. e CASTRO, P.R.M. - 1983 - Minerais Pesados Provenientes do Leito do Rio Amazonas. Acta Amazônia, Ano 13 (1): 51-72.

Le COINTE, P. - 1945 - O Estado do Pará, a Terra, a Água e o Ar. A Fauna e a Flora, Minerais. Brasiliana, S. 5, V. 5. Biblioteca Pedagógica Brasileira, Comp. Ed. Nacional.

LIMA, RUBENS R. - 1956 - A Agricultura na Várzea do Estuário do Amazonas. Bol. Tec. do Inst. Agron. do Norte, Belém, n. 33, 164 p.

- LIRA, L. et al. - 1978 - Material em Suspensão, Temperatura e Salinidade no Estuário do Rio Mamucaba-PE. Caderno Ômega de UFPE, Recife, 2(1): 97-116.
- LUDWIG, G. - 1968 - Die Geologische Entwicklung des Marajó Bechens in Nord Brasilien. Geol. Hannover, p. 845-878.
- MARQUES, J.; SALATI, E.; ABSY, M.L. e MOZETO, A.A. - 1986 - Considerações sobre o Clima, Anexo I, In: Carajás; Desafio político, Ecologia e Desenvolvimento, Organizado por Almeida Jr., J.M.A. de, Ed. Brasiliense/CNPq: 59-87.
- MEADE, R.H.; NORDIN, C.F.; CURTIS, W.F.; RODRIGUES, F.M.C.; Valle, C.M. do; e DDMOND, J.M. - 1979 - Sediments Loads in the Amazon River. Nature 278: 161-163.
- METCALF, W.G. - 1968 - Shallow Currents Along the Northeastern Coast of South America. Journal of Marine Research, 26: 232-243.
- METCLAF, W.G. e STALCUP, M.C. - 1967 - Origin of the Atlantic Equatorial Undercurrent. Journal of Geophysical Research, 72: 4959-4975.
- MILLIMAN, J.D.; BARRETO, H.T.; BARRETO, L.A.; COSTA, M.P.A e FRANCISCONI, O. - 1972 - Surficial Sediments of the Brazilian Continental Margin. In: 26º Congr. Bras. Geol., Belém, Anais do XXVI Congr. São Paulo-SBG. V. 2, p. 29-44.
- MILLIMAN, J.D.; SUMMERHAYES, C.P. e BARRETO, H.T. - 1975 - Quaternary Sedimentation on the Amazon Continental Margin: a Model. Geol. Soc. Of. Am. Bul., 86: 610-614.
- MOLINARI, R.L. - 1983 - Observations of Near-Surface Currents and Temperature in the Central and Western Tropical Atlantic Ocean. Journal of Geophysical Research, 88: 4.433-4.438.

- MOREIRA, E. - 1976 - Os Igapós e seu Aproveitamento. Cadernos do NAEA, n. 2. UFFPA, IPEA/INPES, Fund. Ford. SUBIM-SUDAM-BASA, Belém. 133 p.
- MOREIRA FILHO, M.; MOREIRA, I.M.V. e CECY, I.I.T. - 1974 - Diatomáceas do Rio Guamã (Foz do Rio - Belém - Estado do Pará). Leandra, Anos III e IV. Dez. n. 4-5: 122-135.
- MOURA, P. de A. - 1932 - Reconhecimento Geológico no Vale do Tapajós Bol. Serv. Geol. e Mineral., Rio de Janeiro, 67: 1-53.
- MÜLLER, G. - 1967 - Methods in Sedimentary Petrology. Sedimentary Petrology. New York, Schweizerbariche Verragsbhhandeng, part I. 238 p.
- NITTROUER, C.A. e De MASTER, D.V. - 1986 - Sedimentary Processes on the Amazon Continental Shelf: Past, Present and Future Research. Continental Shelf Research, 6 (1/2): 5-30.
- NUCLEBRÁS - 1980 - Estudo de um local para lançamento de rejeitos de dragagem em Belém-Pa. Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear. Div. de Radioisótopos. Belo Horizonte. 138 p.
- OLIVEIRA, Ceúrio de - 1983 - Dicionário Cartográfico Inst. Bras. de Geog. e Estat. - IBGE - 2^a ed. Rio de Janeiro. Ed. IBGE. 781 p.
- OTTMANN, F. - 1960 - Sobre a Distribuição das Diversas Fácies dos Sedimentos na Embocadura do Rio Amazonas. Bol. Soc. Bras. Geol. (SBG), 9(1) 57-61.
- OTTMANN, F. - 1968 - L'Étude des Problèmes Estuariens. Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamiques (2), V.X., fasc. 4: 329-353.
- PALMA, V.C. - 1979 - Geomorfologia da Plataforma Continental Norte Brasileira. Série Projeto REMAC, n. 7. p. 27-51.

- PENTEADO, A.R. - 1968 - Belém do Pará, Estudo da Geografia Urbana. Col. Amazônica, Série José Veríssimo, 1ª vol. Tese de Livre Docência, Fac. de Filosofia, Ciências e Letras. da USP. 183 p.
- PETTIJHON, F.V.; POTTER, P.E. e SIEVER, R. - 1972 - Sand and Sandstone. Belém, Springer - Verlag. 618 p.
- POMERANCBUM, M. e COSTA, M.P.A. - 1972a - Sedimentologia da Plataforma Continental Norte Brasileira. In: Cong. Bras. de Geol. 26, Belém. Anais do XXVI Cong. São Paulo, SBG. V. 2, p. 157-78.
- POMERANCBUM, M. e COSTA, M.P.A. - 1972b - Integração de Informações sobre os Minerais Pesados na Plataforma Continental Brasileira. In: Cong. Bras. Geol., 26, Belém. Anais do XXVI Cong. São Paulo. SBG. V. 2, p. 179-86.
- PONÇANO, W.L. - 1985 - Sedimentação Atual Aplicada a Portos no Brasil. Tese de Doutorado. São Paulo, Univ. de São Paulo. Inst. de Geociências. 278 p.
- PORTOBRÁS-INPH - 1980a - Porto de Belém - Transporte de Material Sólido em Suspensão na Baía de Guajará. Relatório INPH 147/80. Rio de Janeiro. 170 p.
- PORTOBRÁS-INPH - 1980b - Medições de Correntes e Material em Suspensão junto ao Porto de Belém-Pará. Relatório INPH 82/80, código Belém 740/01. Rio de Janeiro. 162 p.
- PRITCHARD, D.W. - 1955 - Estuarine Circulation Patterns. Proc. Am. Soc. Civil Eng. 81. Separate no 717. 75 p.
- PROJETO RADAM - 1972 - Folha SA.22, Belém, Levantamento de Recursos Naturais. DNPM, Rio de Janeiro. V. 5.
- PROST, M.T. - 1986 - Observations Sur L'evolution Morpho-Sedimentaire du Littoral Guyanais. Inst. Symp. on Sea Level Changes and Quaternary Shorelines. São Paulo. 23 p.

- REZENDE, W.M. e BRITO, C.G. de - 1973 - Avaliação Geológica da Bacia Paleozóica do Amazonas. In: Anais do XXVII Cong. Bras. de Geol. Aracajú, p. 227-245.
- REZENDE, W.M. e FERRADAES, J.O. - 1971 - Interpretação Geológica Regional da Bacia Sedimentar da Foz do Amazonas. In: Anais do Cong. Bras. de Geol. 25. V. 3, p. 203-214.
- RITTENHOUSE, G. - 1943 - Transportation and Deposition of Heavy Minerals. Bul. of the Geol. Soc. of Am. 54: 1.725 - 80.
- R.T.Z. Consultants - 1975 - Reconnaissance Rio Guamã, Rio Capim and Miltonia Link. DHV. Consulting Engineers - Netherlands. 17 p. 6 fig., e apend.
- RUELLAN, F. - 1945 - As Vias Amazônicas (Conferência). In: Semana de Estudos Geográficos. Sorocaba. Ed. Mimeografada. 18 p.
- RYTHER, J.H.; MENZEL, D.W. e CORWIN, N. - 1967 - Influence of the Amazon River Outflow on the Ecology of the Western Tropical Atlantic, I: Hidrology and Nutrient Chemistry. Journal of Marine Research, 25: 69-82.
- SÁ, J.H.S. - 1969 - Contribuição à Geologia dos Sedimentos Terciários e Quaternários da Região Bragantina. Bol. Inst. Geoc. Geologia. Rio de Janeiro, 3:21-36.
- SANTOS, A. - 1986 - As Águas da Região de Carajás. In: Almeida Jr. J.M.G. Carajás, Desafio Político, Ecologia e Desenvolvimento, São Paulo. Ed. Brasiliense/CNPq. p. 156-183.
- SANTOS, José A. - 1982 - Porto de Belém - Análise dos Estudos Realizados sobre a Sedimentação na Área Portuária. Rel. INPH 80/82 código 170/01. 2V. Rio de Janeiro. 160 p.
- SANTOS, M.E.C.M. - 1972 - Paleografia do Quaternário Superior na Plataforma Continental Norte Brasileira. In: Anais do Cong. Bras. de Geol., 26. SBG, V.2, p. 267-88.

- SCHALLER, H.; VASCONCELOS, D.N. e CASTRO, J.C. - 1971 - Estratigrafia Preliminar da Bacia Sedimentar da Foz do Rio Amazonas. In: Anais do Cong. Bras. de Geol., 25. São Paulo. SBG, V.3, p. 189-202.
- SCHNITZER, W.A. e FARIA JR, L.E. do C. - 1980 - Tabelas e Fotos dos Minerais Pesados mais Importantes dos Sedimentos e Rochas Sedimentares. Geologisches Institut - Universität Würzburg (RFA). 50 p. il.
- SCHUBEL, J.R. - 1971 - The Estuarine Environment, Estuaries and Estuarine Sedimentation. Short Course Lecture Notes, Am. Geol. Inst. Washington.
- SILVA, J.F.B.R. da e TRUCKENBRODT, W. - 1985 - Estratigrafia dos Sedimentos Cenozóicos do Poço do Museu Emílio Goeldi. Trabalho de Conclusão de Curso, UFPA, Deptº de Geologia. 38 P.
- SILVA, S.O e LOEWENSTEIN, P. - 1968 - Contribuição à Geologia da Folha de São Luis (SA-23) no Estado do Pará II - Novas Localidades e razão Magnésio - Calcio do Calcáreo Pirabas. Bol. Mus. Par. Emílio Goeldi, Belém, n. 12 série Geologia. n. 12, 17 p.
- SIOLI, H. - 1951 - Alguns Resultados e Problemas da Limnologia Amazônica. Bol.Tec. Inst. Agron. Norte. Belém, 24: 2-44.
- SIOLI, H. - 1957 - Beitrage zur Regionalen Limologie des Amazonasgebietes. IV. Archiv. f. Hydrobiol. 53: 161-222.
- SIOLI, H. - 1968 - Principal Biotipes of Primary Production in the Waters of Amazonia. Recent Adv. Trop. Ecol.The Inst. Soc. for Prop. Ecology. p. 591-600.
- SOARES, A.D.V. e ASSIS, J.F.P. - 1984 - Novo Registro em Subsuperfície de Sedimentos Terciários (Formação Pirabas) dentro da Área da Grande Belém (Poço nº 3, Campus Universitá

- rio). Trabalho de Conclusão de Curso, UFPA/Deptº de Geologia. 21 p.
- SOARES, L. de C. - 1977 - Geografia do Brasil, Região Norte. Rio de Janeiro. Fundação Inst. Bras. de Geog. e Estat. - IBGE. 466 p.
- SOMBROECK, W.G. - 1966 - Amazon Soils. A Reconnaissance of the Soile of the Brazilian Amazon Region. Centre of Agricultural Publications and Documentation. Wageningen. Netherlands. ed. 1, 303 p.
- SPIX E MARCIUS - 1981 - Viagem pelo Brasil. Vol. 3 Coleção Reconquista do Brasil, Vol. 48, 4ª edição. Tradução de Lúcia F. Lahmeger. Ed. Itatiaia e Ed. da USP.
- STERNBERG, H. O'R - 1950 - Vales Tectônicos na Planície Amazônica. Rev. Bras. de Geog. R.J. 12(4): 513-533.
- SUGUIO, K. - 1973 - Introdução à Sedimentologia. São Paulo, Blücher. 317 p.
- SUGUIO, K. - 1980 - Rochas Sedimentares. Propriedades, Gênese, Importância Econômica. São Paulo, Edgard Blücher. 500 p.
- SUGUIO, K. e FULFARO, V.L. - 1977 - Geologia da Margem Ocidental da Bacia do Parnaíba (Estado do Pará). Boletim IG - USP. 8: 31-34.
- SZATMARI, P. - 1983 - Amazon Rift and Pisco-Juruá Fault: There Evolution to the Separation of North America from Gondwana. Geology 11: 300-304.
- THOREZ, J. - 1976 - Practical Identification of Clay Minerals Belgique, Ed. G. Lelotte. 90 p.
- VAN DER HAMMEN, T. - 1974 - The Pleistocene Changes of Vegetation and Climate in Tropical South America. Journal of Bio-geography 1: 3-36.
- VAN GEEL, B. e VAN DER HAMMEN, T. - 1973 - Upper Quaternary Vegetational and Climatic Sequence of the Fuquene Area (Eastern Cordillera, Colombia). Palaeogra. Paleoclim. Palaeocol.

14: 9-92.

VERÍSSIMO, C.U.V. e COSTA, M.L. da - 1986 - Contribuição à Geologia de Ourém-Capitão Poço (Pa). Trabalho de Conclusão de Curso. UFPA/Deptº de Geologia. 43 p.

VOGEL, A.I. - 1961 - A Text-book of Quantitative Inorganic Analysis, Including Elementary Instrumental Analysis. Third Edition. Lowe and Brydone Thetford, Norfolk, Great Bridorin. 634 p.

WALLACE, A.R. - 1979 - Viagem pelos rios Amazonas e Negro. Coleção Reconquista do Brasil, Vol. 50, 1ª edição. Tradução de Eugênio Amado. Ed. Itatiaia e Ed. da USP.

Y.S.I. - 1983 - Manual de Instruções. YSI Scientific Division Ohio/USA. 15 p.

Roberto Vizeu Pinheiro
UFPA - Departamento de Geologia



VAL-DE-CANS

Usina de Miramar

Aeroporto
Internacional
de Val-de-Cans

ILHA
DA
BARRA

Ilha do
Fortinho

Pedras

Pedras

N

31'

48°30'

29'

28'

27'

22'

23'

24'

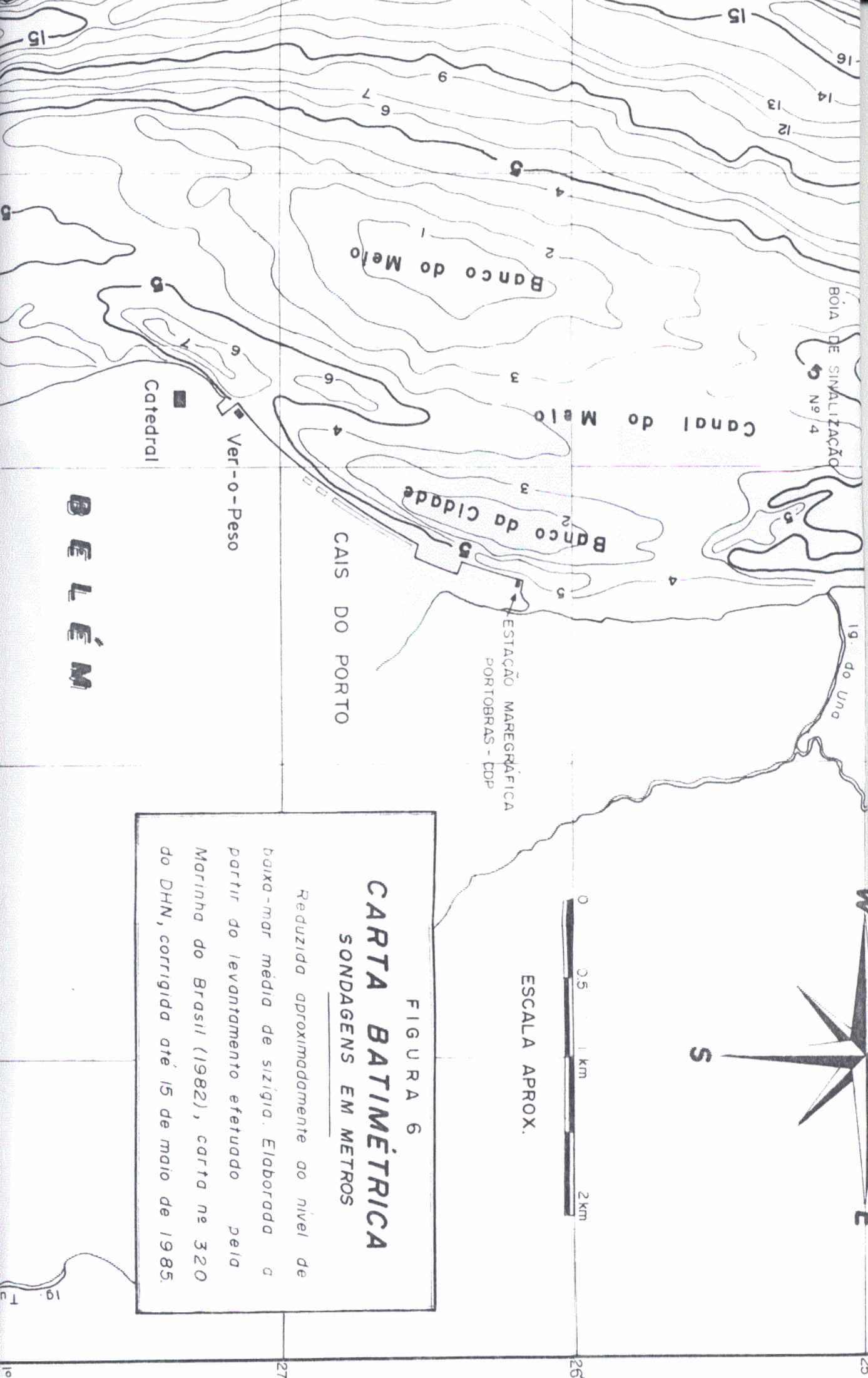
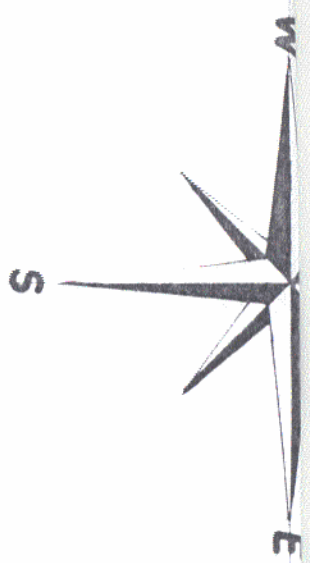


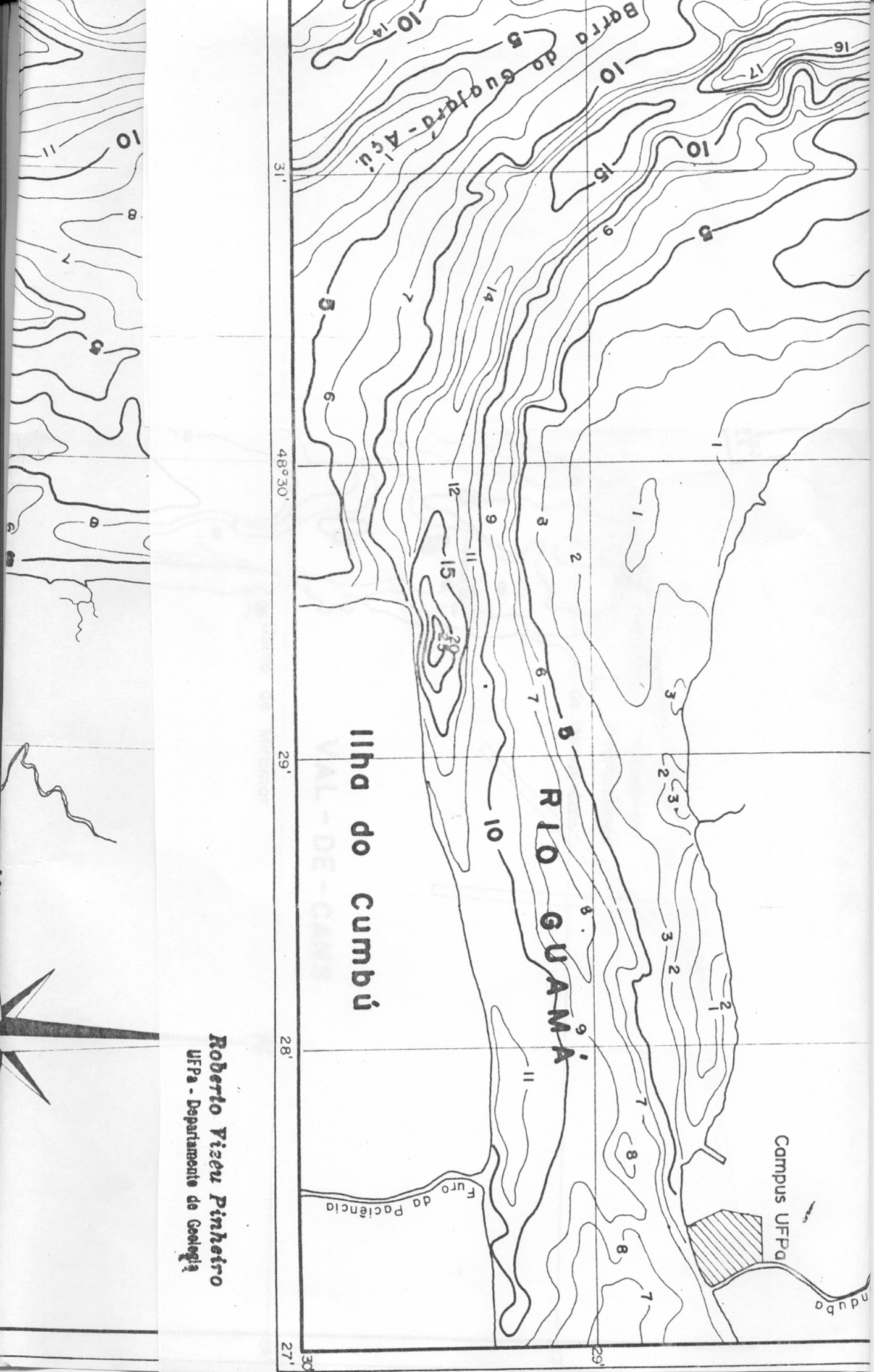
FIGURA 6
CARTA BATIMÉTRICA
SONDAGENS EM METROS

Reduzida aproximadamente ao nível de baixa-mar média de sizígia. Elaborada a partir do levantamento efetuado pela Marinha do Brasil (1982), carta nº 320 do DHN, corrigida até 15 de maio de 1985.

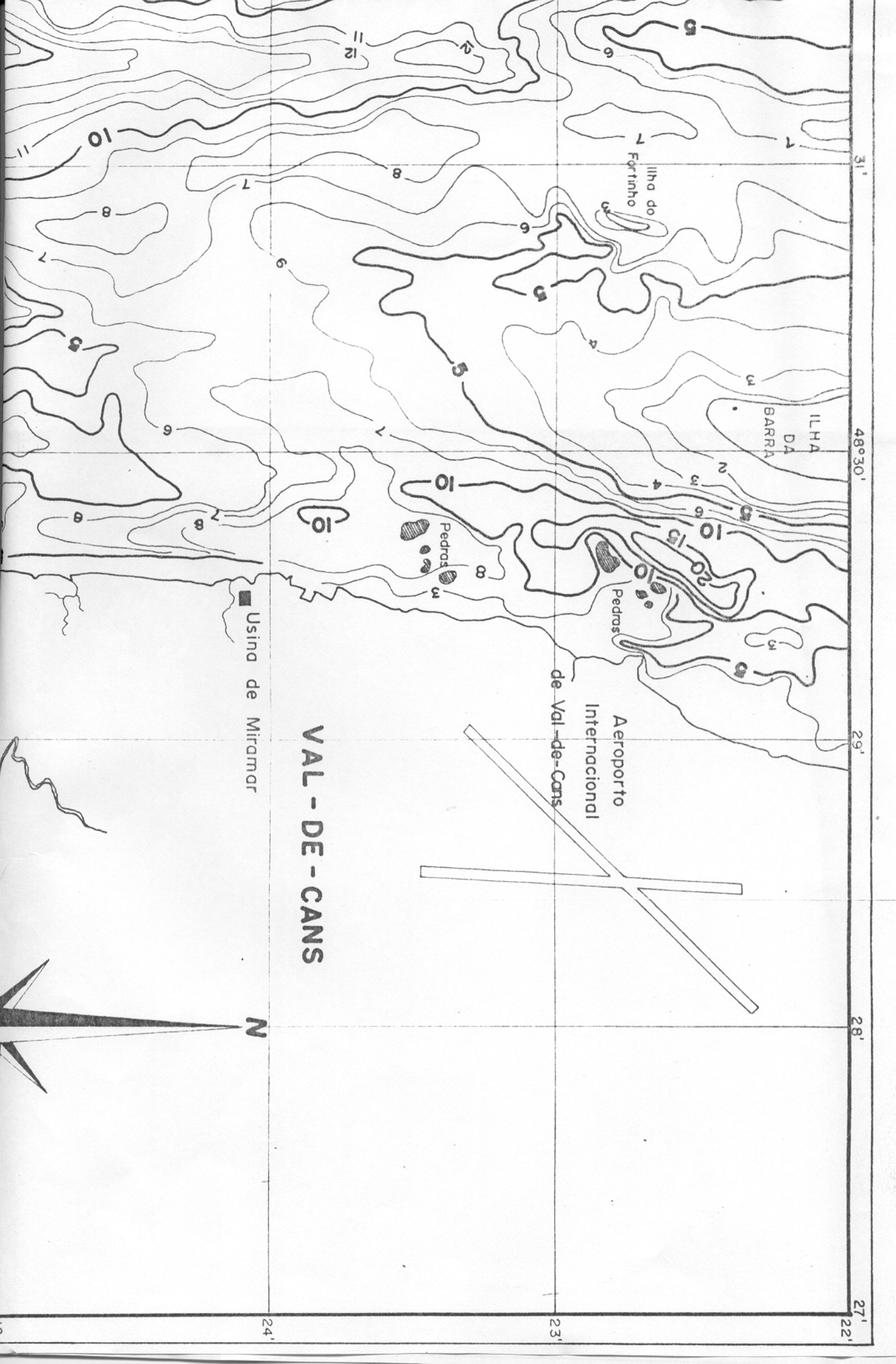
ESCALA APROX.



B E L É M



Roberto Vizeu Pinheiro
UFPA - Departamento de Geologia



31' 48°30' 29' 28' 27' 22'

ILHA DA BARRA

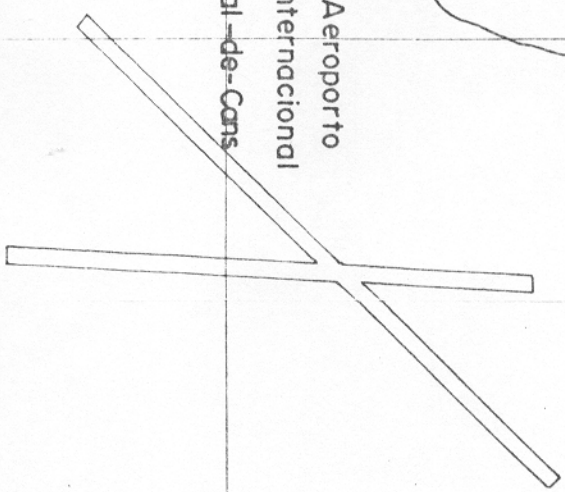
Ilha do Fortinho

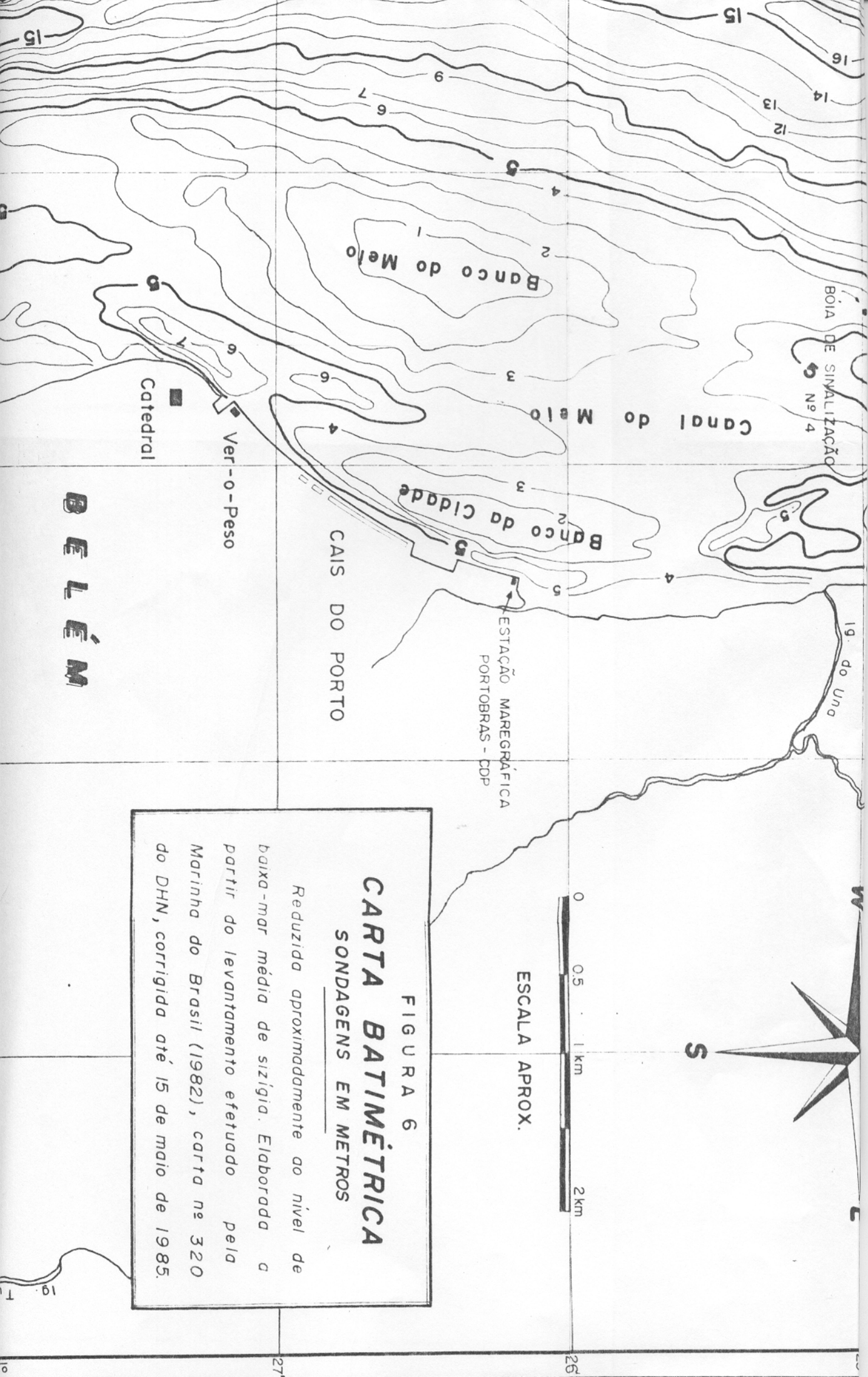
Aeroporto Internacional de Val-de-Cans

VAL-DE-CANS

Usina de Miramar

N





CAIS DO PORTO

Banco do Meio

Banco da Cidade

ESTAÇÃO MAREGRÁFICA
PORTOBRAS - CDP

Ver-o-Peso

Catedral

BOIA DE SIMALIZAÇÃO
Nº 4

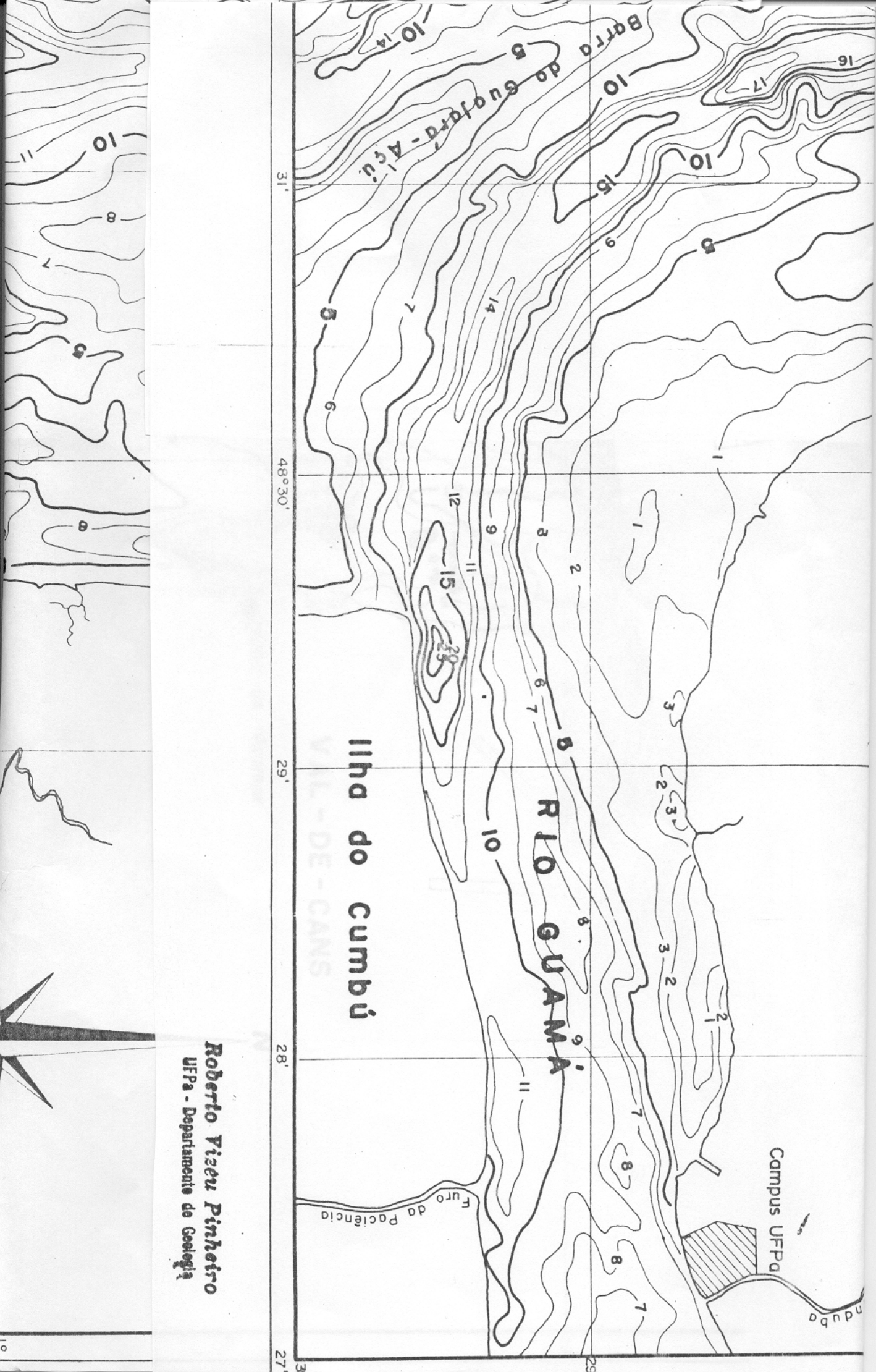
19. do Una

BELÉM

ESCALA APROX.

FIGURA 6
CARTA BATIMÉTRICA
SONDAGENS EM METROS

Reduzida aproximadamente ao nível de baixa-mar média de sizígia. Elaborada a partir do levantamento efetuado pela Marinha do Brasil (1982), carta nº 320 do DHN, corrigida até 15 de maio de 1985.



Ilha do Cumbú

RIO GUAMÃ

Campus UFPa

Furo da Paciência

Roberto Vizeu Pinheiro
UFPa - Departamento de Geologia