

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

ESTUDO BATIMÉTRICO/SONOGRÁFICO DO ESTUÁRIO GUAJARÁ, BELEM-PA

Tese Apresentada por
ODETE FATIMA MACHADO DA SILVEIRA

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: 10.11.89

Comitê de Tese

LUIS ERCILIO DO CARMO FÁRIA JR. (ORIENTADOR)

ALBERTO GARCIA DE FIGUEIREDO JR.

JURGEN H. BISCHOFF

À Ana Luíza e Chicão pelas novas
oportunidades no amor.

AGRADECIMENTOS

A elaboração deste trabalho, desde a sua idealização, obteve o apoio e a valiosa colaboração de várias pessoas e entidades a quem agradecemos profundamente.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq - pela concessão de bolsa de estudo durante o curso de Mestrado.

À Comissão Interministerial para Recursos do Mar - CIRM - inicialmente pela definição das diretrizes para a pesquisa nas Ciências do Mar através de sua Secretaria - SECIRM - e do Plano Setorial para Recursos do Mar - PSRM. Ainda, pelo financiamento do projeto "Desenvolvimento de Métodos Geológicos e Geofísicos no Golfo Marajoara" o qual abrigou esta pesquisa à partir de 1988.

Ao Programa de Ensino e Pesquisa em Ciências do Mar - PROMAR - da UFPA, pela oportunidade de aí desenvolver este trabalho e ao PGGM pela credibilidade na vocação científica do grupo de pesquisadores do PROMAR, no qual a autora se inclui

À Universidade Federal do Pará - UFPA - através do Centro de Geociências -CG - pela utilização de suas dependências e Laboratórios durante a execução deste trabalho.

Aos Profs. Luís Ercílio e Jürgen Bischoff (PROMAR - UFPA) pela orientação e confiança no desenvolvimento do trabalho, bem como pelo respeito nas discussões das idéias apresentadas e a amizade dispensadas à autora.

Ao Prof. Alberto Figueiredo (UFF-LAGEMAR) membro da Banca

Examinadora, cujas sugestões contribuíram para o enriquecimento do trabalho.

Ao técnico em instrumentação geofísica, Alberto Leandro pela valiosa colaboração em campanhas nem sempre gratificantes.

Aos companheiros do PROMAR, que permaneceram sempre vigilantes (tanto nas enchentes quanto nas vazantes) confiando sempre no sucesso desta tarefa, o qual reparto carinhosamente com todos eles (Vizeu, Helenice, Tereza, Humberto e Mauro).

Aos amigos Kennedy e Sônia pelo auxílio no trabalho cartográfico.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	i
AGRADECIMENTOS	ii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	iv
RESUMO.....	1
ABSTRACT.....	2
1 - INTRODUÇÃO.....	4
1.1 - Discussão do Tema.....	4
1.2 - Objetivos.....	5
1.3 - Localização da Área Estudada.....	6
1.4 - Aspectos Geográficos Regionais.....	6
2 - METODOLOGIA.....	12
2.1 - Batimetria.....	12
2.2 - Correntometria.....	14
2.3 - Sonografia de Fundo.....	18
2.3.1 - Princípios Físicos de Funcionamento do Sonar de Varredura Lateral " Side Scan Sonar".....	21
2.3.2 - Construção da Imagem Sonográfica.....	22
2.3.3.- Variações na Velocidade da Embarcação.....	24
2.3.4 - Distorções de Escala.....	26
2.3.5 - Correções das Distorções.....	28
2.3.5.1 - Cálculo da Resolução Transversa (Rt)....	28
2.3.5.2 - Cálculo da Resolução Vertical (Rr).....	31
2.3.5.3 - Cálculo da Altura do Alvo (Ht).....	31

2.3.5.4 - Cálculo do Comprimento da Sombra Acústica.....	32
2.3.5.5 - Cálculo da Inclinação do Range (Slant Range).....	33
2.3.5.6 - Cálculo da Distância Horizontal Verdadeira (Rh).....	33
3 - ANÁLISE BATIMÉTRICA.....	35
3.1 - O Alto Fundo da Baía	37
3.2 - O Canal da Ilha das Onças.....	43
3.3 - A Barra do Guajará-Açú.....	44
3.4 - O Vale da Foz do Rio Guamá.....	44
4 - A DISTRIBUIÇÃO DAS CORRENTES NO ESTUÁRIO GUAJARÁ.....	55
4.1 - A distribuição das Correntes no Rio Guamá.....	55
4.2 - A Distribuição das Correntes na Área Portuária.....	60
4.3 - As Correntes de Fundo no Estuário Guajará.....	64
5 - AS FORMAS DE FUNDO NO ESTUÁRIO GUAJARÁ.....	72
5.1 - A Sonografia e a Distribuição dos Fácies Texturais...73	
5.2 - As Formas de Fundo da Fácies Lamosa.....76	
5.3 - As Formas de Fundo da Fácies Arenosa.....82	

6 - FEIÇÕES ANTROPOGÊNICAS.....	87
6.1 - Princípios Básicos.....	87
6.2 - A Ação Antrópica no Estuário Guajará.....	89
6.3 - Outras Feições Antropogênicas.....	92
7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	96
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101

LISTA DAS ILUSTRAÇÕES

Figuras	Página
01	Mapa de Localização da Área.....7
02	Mapa de localização do Estuário Guajará no contexto regional da desembocadura do Rio Amazonas.....10
03	Mapa de localização das secções batimétricas e distribuição das sub-áreas estudadas.....13
04	Mapa de localização das secções correntométricas segundo a Portobrás- 198016
05	Mapa de distribuição das velocidades de correntes nas imediações do Igarapé Tucunduba.....17
06	Curvas de Maré para os dias 06/11/87 e 14/11/87 com pontos de medição alocados na curva.....19
07	Curva de Maré obtidas pelo marégrafo da COSANPA em 10/09/87.....20
08a	Construção da imagem do Side Scan Sonar Vista Plana.....23
08b	Idem - Seção Vertical.....23
08c	Idem - Registro Sonográfica.....23
09	Conversão de um sonograma de campo em sonograma real.....25
10	Distorções causadas pela variação da velocidade da embarcação.....29
11	Construção das elipses de distorção, usadas no sentido de eliminar o efeito compressivo

	paralelo à linha de recobrimento.....	29
12	Parâmetros para cálculo da altura dos objetos. Adaptado de Flemming (1976).....	32
13	Parâmetros para o cálculo da sombra acústica. Adaptado de Flemming (1976).....	32
14	Efeito compressivo da inclinação do range. Adaptado de Mazel (1985).....	34
15	Mapa batimétrico da Baía do Guajará.....	36
16	Bloco diagrama ressaltando feições de relevo de fundo da Sub-Área 02 do Estuário Guajará. Inclinação do bloco= 30° ; Rotação= 185°	38
17	Idem. Inclinação do bloco= 30° ; Rotação= 5°	39
18	Idem, para a Sub-Área 03. Inclinação do bloco= 30° ; Rotação= 5°	41
19	Idem. Inclinação do Bloco= 30° ; Rotação= 185°	42
20	Perfil batimétrico perpendicular ao Banco do Meio e Banco da Cidade.....	44
21	Mapa batimétrico do fundo da Baía na Sub-Área 02. Intervalo entre as curvas de nível=0,5 metros.....	45
22	Perfil batimétrico E-E', representando a configuração da Depressão da Ponta de Porto Alegre.....	46
23	Bloco diagrama mostrando a configuração de fundo da Sub-Área 01. Inclinação do bloco= 30° ; Rotação= 76°	47
24	Idem. Inclinação do bloco= 45° ; Rotação= 282°	48
25	Idem. Inclinação do bloco= 45° ; Rotação= 102°	49

26	Vista da porção leste da Sub-Área 01, na margem direita do Rio Guamá.	52
27	Erosão progressiva da margem após a construção do novo cais de arrimo no Setor de Recreação da UFPA.....	52
27a	Vista frontal da figura anterior, ressaltando o limite entre as construções antiga e a atual e o enrocamento provisório utilizado na tentativa de conter a erosão.....	53
28	"Micro-delta" do Igarapé Tucunduba, na desembocadura do mesmo com o Rio Guamá. Range=200 m. Registro tomado em 2/12/88.....	54
28a	Idem, em outra relação de escala lateral. Range=100m. Registro tomado em 03/03/87.....	54
29	Curvas de velocidades de correntes de maré para o Rio Guamá - Canal Principal. Fonte: Bernardi et al.(1988).....	56
30	Curva de variação de velocidades de correntes no Rio Guamá próximo ao Campus Universitário do Guamá. Setor de Recreação. Extraído de Bernardi et al. (1988).....	58
31	Distribuição das correntes de superfície em marés de sizígia, segundo dados obtidos pela Portobrás (1980-b), no Rio Guamá.....	59
32	Distribuição das correntes de superfície em marés de quadratura, segundo dados obtidos pela Portobrás (1980-b), no Rio Guamá.....	61

33	Quadro da dinâmica das correntes de maré de sizígia, em superfície, na Baía de Guajará aproximadamente 2 horas após a estofa de preamar. Fonte: Pinheiro (1987).....	62
34	Quadro da dinâmica das correntes de maré de quadratura, em superfície, na Baía de Guajará, aproximadamente 1 hora à 1 hora e 30 min. após a estofa de baixa-mar. Fonte: Pinheiro (1987).....	63
35	Quadro da implantação das correntes de maré de sizígia, à 1m do leito, nas seções S ₁ e S ₂	66
36	Quadro da implantação das correntes de maré de quadratura, à 1m do leito, nas seções S ₁ e S ₂	67
37	Quadro da dinâmica das correntes de maré de sizígia, para a seção S ₅ , no Rio Guamá, à um metro do leito.....	68
38	Quadro da dinâmica das correntes de maré de quadratura, à 1 metro do leito, para a seção S ₅ , no Rio Guamá.....	69
39	Mapa de distribuição das Fácies Lamosa e Arenosa. Modificada de Pinheiro (1987).....	74
40	Tipos de espalhamento do som emitido pelo sonar, em função das rugosidades do fundo.....	75
41	Mapa da distribuição das formas de fundo na Baía do Guajará.....	77
42	Sulcos bifurcados mostrando direções alternadas da corrente.....	78

43	Sulcos sedimentares registrados no leito do Canal Principal, próximo a ilha do Cumbú e feições erosivas semelhantes à "dentes de serra". Range=100m.....79	79
44	Canal Principal do Rio Guamá, próximo a ilha do Cumbú. Sulcos sedimentares bifurcados. Range=100m.....79	79
45	Registro sonográfico do campo de "Sand waves" localizado na porção norte do Canal da ilha das Onças.....84	84
46	Lineações de corrente associadas ao campo de "sand waves" no Canal da ilha das Onças. Range=100m.....86	86
47	Lineações de corrente representadas por pequenos cordões e depressões. Canal da ilha das Onças. Range=100m.....86	86
48a	Lineações de corrente resultantes da ação de fluxos secundários. Canal da ilha das Onças. Range=75m.....91	91
48b	Canal da ilha das Onças. Retrabalhamento de material dragado e lineações de corrente.....91	91
49	Feições irregulares resultantes do retrabalhamento pela ação das correntes, do material dragado na área portuária e depositado no Canal da ilha das Onças. Cemitério dos Navios, à norte do Canal da ilha das Onças. Range=100m.....93	93

50	Registro sonográfico obtido na porção sul do Canal da ilha das Onças. Embarcações naufragadas. Range= 100m.....	93
51	Registro sonográfico obtido próximo a ilha do Cumbú. Ressaltam-se ancoradouros e sulcos sedimentares. Range=100m.....	94
52	Registro sonográfico da porção leste da Sub-Área 01. Feições antropogênicas. Range=100m.....	94
53	Parte da antiga linha telegráfica registrada no Canal da ilha das Onças. Range=75m.....	95

TABELAS

01	Interrelação de parâmetros de resolução do Sonar de Varredura Lateral.....	30
02	Valores médios para velocidade de correntes de fundo na seção S ₁	65
03	Valores médios para velocidade de corrente de superfície na seção S ₁	70
04	Valores médios para velocidades de corrente de fundo na seção S ₂	70
05	Valores médios para velocidades de corrente de superfície na seção S ₂	71

RESUMO

O Estuário Guajará, envolvendo a cidade de Belém, abrange a Baía homônima e a confluência dos rios Guamá e Guajará-Açú. Distante cerca de 120 quilômetros do Oceano Atlântico, vem sendo estudada nos últimos anos, principalmente quanto a seus parâmetros hidrodinâmicos, físicos e químicos, além da distribuição qualitativa e quantitativa dos sedimentos presentes nas calhas.

Neste trabalho, o reconhecimento da morfologia de fundo deste Estuário, através da análise batimétrica e sonográfica, objetivou-se integrar novos dados aos estudos já efetuados e avaliar a influência das correntes superficiais e de fundo na modelagem do leito.

O emprego do " Side Scan Sonar " revelou-se de grande utilidade na identificação da morfologia de fundo e sua relação com a ação predominante das correntes de marés no Estuário Guajará. Além disso demonstrou como os sonogramas podem servir de base para a comparação das diferentes formas resultantes das variações hidrodinâmicas locais.

A região do Porto de Belém, na margem direita da Baía de Guajará, é submetida frequentemente à operações de dragagens. Essa área parcialmente protegida das correntes tidais é local de intensa e constante deposição de sedimentos, resultando num assoreamento acelerado do canal e por isso tornando as dragagens indispensáveis, sob pena de comprometer a operacionalidade daquele Porto. Essas operações dificultam sobremaneira qualquer

tentativa de estabelecer ali um padrão morfológico e relacioná-lo à atuação das correntes.

A circulação das águas no Estuário Guajará promovida pelas variações das correntes de marés e da descarga fluvial, resulta que as águas de montante a incidir predominantemente sobre a sua margem esquerda, desenvolve nessa área grandes profundidades e a erosão progressiva do lado oriental da ilha das Onças. Na porção norte do Canal da ilha das Onças, nas zonas de maior profundidade, as lineações de correntes e campo de "sand waves" são as feições sedimentares de fundo mais frequentes e importantes na interpretação das condições hidrodinâmicas do Estuário.

ABSTRACT

The Guajará Estuary, located around the Belém city, has been studied in the recent years in its hydrodynamic, physical and chemical aspects. The qualitative and quantitative distribution of its sediments has been investigated as well.

In this work, the analysis of echosounders and sonographic profiles in association with tidal current recorders should point out new and important data about the relations between the hydrodynamical parameters, sedimentation and morphology of the Guamá-Gujará Sistem.

The analysis of Side Scan Sonar records disclosed a wide

range of bottom morphological features: sand wave fields, current lineations as well as sedimentary furrows. The furrows were developed in the Muddy Facies, and show bifurcations in one or two directions in response to alternating currents.

The Sandy Facies were morphologically characterized by sand wave fields and current lineations. The first one are approximately 400m long and 185m wide. The current lineations are predominantly NE-SW and have a sharp definition principally near the boarder of the sand wave field and in the Sandy Facies of the Guamá River. Megaripples are present in the lateral lee side and in the smooth surfaces between couples of sand waves crests suggesting secondary fluxes development.

The Side Scan Sonar provides observation of the antropogenic action according to Brown's classification. Both direct and indirect changes in the Estuarine morphology are caused by the building of the Port of Belém. This harbor promotes and increases the sedimentary rate in the entire Estuary.

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - Discussão do Tema

A análise da morfologia de fundo, utilizando o "Side Scan Sonar" combinado com a ecobatimetria de registro, constitui-se numa ferramenta muito útil para decifrar a atividade das correntes bem como o mecanismo do transporte de sedimentos em ambientes aquosos. Mesmo quando determinados mecanismos formadores de alguns tipos de feições morfológicas não são perfeitamente conhecidos, essas feições ainda fornecem uma base de comparação para os diferentes ambientes sedimentares ativos ou contribuem para a documentação das mudanças nas condições hidrodinâmicas de um determinado local. Segundo Ludwick (1972); Bokuniewicz, Gordon e Kastens, (1977); Kjerfve, (1978); Swift e Freeland, (1978) (In: Bokuniewicz, 1986), em sedimentos de granulação grosseira, estruturas do tipo "ripples", "sand waves" e cordões de areia tem sido usadas para inferir a capacidade do transporte em resposta à correntes extremamente variáveis.

Em fundos predominantemente lamosos, segundo Flood (1983), sulcos longitudinais foram identificados como importantes indicadores de variação das condições hidrodinâmicas.

A região do porto de Belém é submetida com muita frequência a operações de dragagem, o que dificulta sobremaneira qualquer tentativa de estabelecer-se um padrão morfológico de fundo pelos métodos tradicionais de batimetria.

Considerando que os rios Guamá e Pará são importantes vias de acesso das populações ribeirinhas e escoadouro da produção madeireira e de fibras vegetais da Amazônia Oriental, o transporte superlotado e a construção de ancoradouros, sem considerar os processos hidrodinâmicos do estuário é muito comum nas suas margens. Uma das consequências danosas disso é a freqüências de embarcações que naufragam nessa região.

Este trabalho, mesmo considerando seu caráter preliminar e de reconhecimento, é uma contribuição inédita à compreensão dos mecanismos dinâmicos e do desenvolvimento da morfologia de fundo do Estuário Guajará, além do que, certamente, emprestará aos órgãos competentes o devido apoio no sistema de controle e segurança da navegação fluvial nesta área da Amazônia.

1.2 - OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho é reconhecer e estudar a morfologia de fundo do Estuário Guajará através da integração da análise sonográfica aos estudos de dinâmica estuarina realizados pela Portobrás (1980b), Pinheiro (1987) e Bernardi et al (1988). Aliado a isso, foi feita uma reinterpretação da influência das correntes superficiais e de fundo na modelagem do fundo estuarino.

O monitoramento das alterações ambientais nas margens do Estuário também foi alvo dessa pesquisa, sendo o Side Scan Sonar

uma ferramenta de grande utilidade na identificação da atuação antrópica.

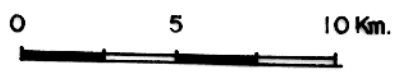
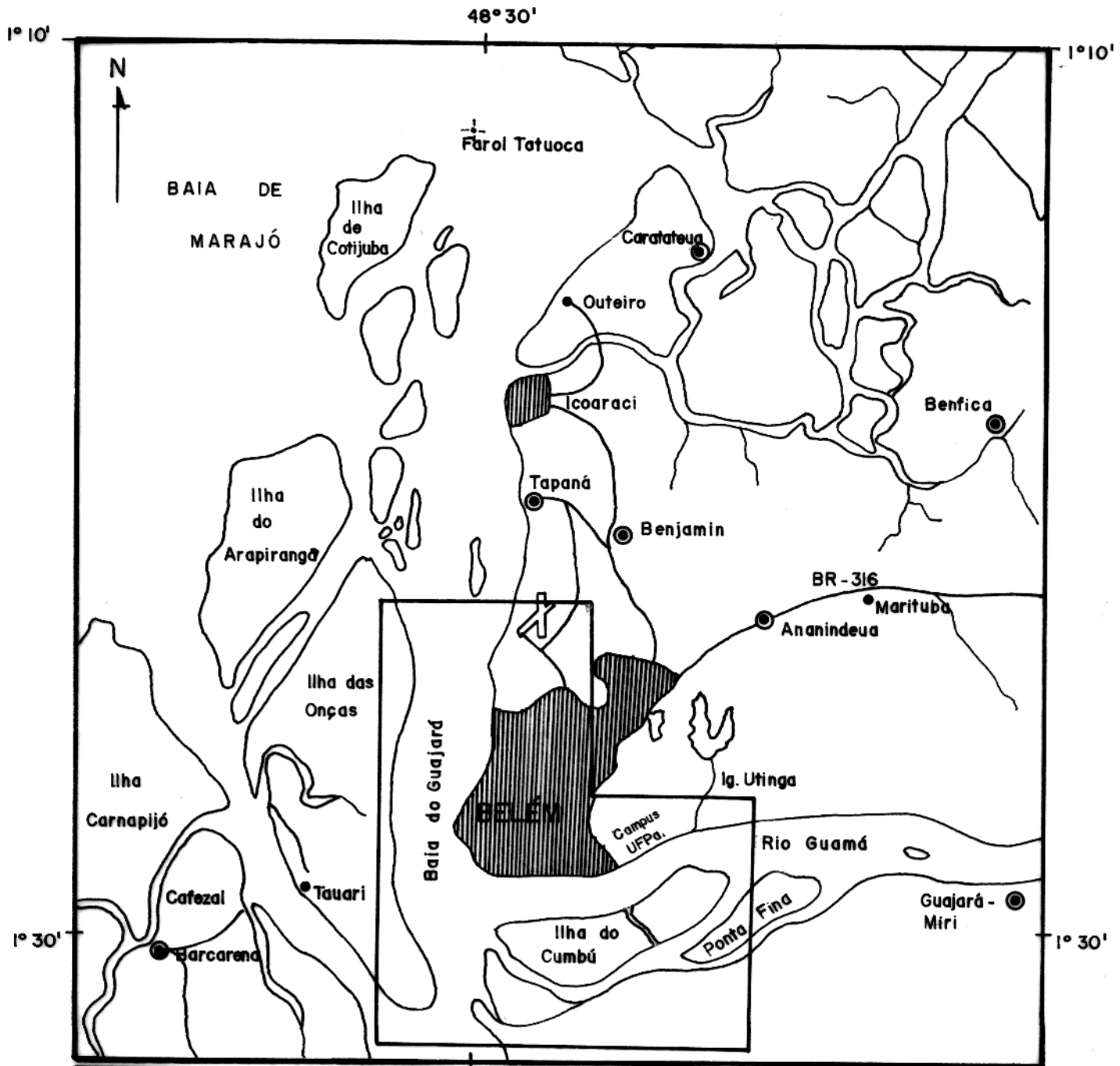
O desenvolvimento do trabalho aborda inicialmente as características intrínsecas da sonografia, procurando dar, em linhas gerais, uma avaliação das potencialidades do método sonográfico, para, em seguida, à partir da interpretação dos sonogramas obtidos, avaliar as respostas do ambiente estuarino à ação das correntes na formação geomorfológica e das estruturas sedimentares.

1.3 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

Enquadrada aproximadamente dentro dos paralelos $1^{\circ} 22' S$ e $1^{\circ} 30' S$ e dos meridianos $48^{\circ} 25' W$ e $48^{\circ} 35' W$, distante cerca de 120 Km do Oceano Atlântico, a área estudada localiza-se no município de Belém, Estado do Pará, mais precisamente na confluência dos rios Guamá e Guajará-Açú e fazendo parte do Estuário Guajará (Pinheiro, 1987). Estende-se desde 5 Km além da desembocadura do Igarapé Utinga, no Rio Guamá, atravessando o litoral Sul da cidade de Belém, desde a depressão da Ponta de Porto Alegre até a porção Sul da Ilha das Onças tendo seu limite norte nas proximidades da Ilha do Fortinho (fig. 01).

1.4 - ASPECTOS GEOGRÁFICOS REGIONAIS

O "Arquipélago Amazônico", ocupando uma área de 60 000 km²



Escala: 1 : 250.000

Área estudada 

Figura 1 : Localização da área.

de acordo com Carvalho 1942: (In Soares, 1977), abrange as Ilhas Mexiana, Caviana e Marajó, além de outras menores mais fronteiriças ao Oceano Atlântico e algumas situadas na desembocadura do Rio Amazonas.

A Ilha dos Porcos, Grande de Gurupá, do Pará, Queimada, Itaquara, Antonio Lemos, Mututi e várias outras menores, fazem parte do denominado "Delta Interno" (Le Cointe, 1945). Essa porção, por ser a mais interna do estuário e por sua posição geográfica, sofre grande influência de águas fluviais. O Rio Pará, definido como um canal fluvio-estuarino que separa a borda sul da Ilha de Marajó da porção continental nordeste do Estado do Pará, representa o "braço direito da foz do Rio Amazonas" (Pinheiro, 1987). Segundo o Idesp/Cena 1976: (In Franzinelli, 1976), a foz do Rio Amazonas está ligada através do Amazonas à diversos "furos" (canais que interligam um curso de água a outro, ou a um lago, ou ainda pela montante da foz onde deságua, (Oliveira, 1983).

Os rios Anapú, Tocantins, Acará Grande e Guamá são os principais afluentes do rio Pará pela margem direita, enquanto que na margem esquerda localizam-se os rios Arari e Camará, ambos na Ilha de Marajó, (Oliveira, 1983).

A denominada Baía de Guajará forma-se na confluência dos rios Acará e Guamá, a nordeste da cidade de Belém, e estende-se até a Ilha do Mosqueiro onde se encontra com a Baía do Marajó, no Rio Pará (fig. 02). Abriga várias ilhas e canais, entre elas a Ilha das Onças, Jararaca, Mirim, Jutuba e Paquetá-Açu, na margem esquerda (Pinheiro, 1987). Na margem direita localiza-se

a cidade de Belém e as Ilhas do Outeiro e do Mosqueiro, separadas pelos "furos" do Maguari e das Marinhas, respectivamente (fig.02). Dada as suas características de navegabilidade, o Canal do Carnapijó, representando um prolongamento do Rio Acará na direcção do Rio Pará, e o Canal de Cotijuba servem de ligação entre a Baía de Guajará e o Rio Pará.

Segundo Pinheiro (1987), fatores geomorfológicos condicionam fortemente a vegetação das margens Guajarinas, podendo ser distintos três tipos predominantes: A vegetação de várzea, controlada periodicamente pelas marés e típicas de áreas inundáveis; a floresta densa, associada a terrenos topograficamente mais elevados e florestas secundárias, resultado dos desmatamentos, com uma distribuição bastante significativa na região.

A vegetação de várzea, ainda segundo Pinheiro(1987), ocupa cerca de 60% da área enfocada e sua composição florística depende fundamentalmente da relação entre o relevo e o regime das marés. Resulta normalmente dos processos naturais de colmatação a partir das inundações nos períodos de enchente e em consequência de elevada concentração de material sólido em suspensão das águas estuarinas.

As florestas densas, segundo Lima (1956), instalam-se nos terrenos mais elevados ou gradando desde a várzea alta até a terra firme, sendo as dicotiledôneas as espécies predominantes, tais como a andiroba, o cacau, a seringueira e o ingá, entre muitos outros.

A posição geográfica da microregião, próximo ao Oceano

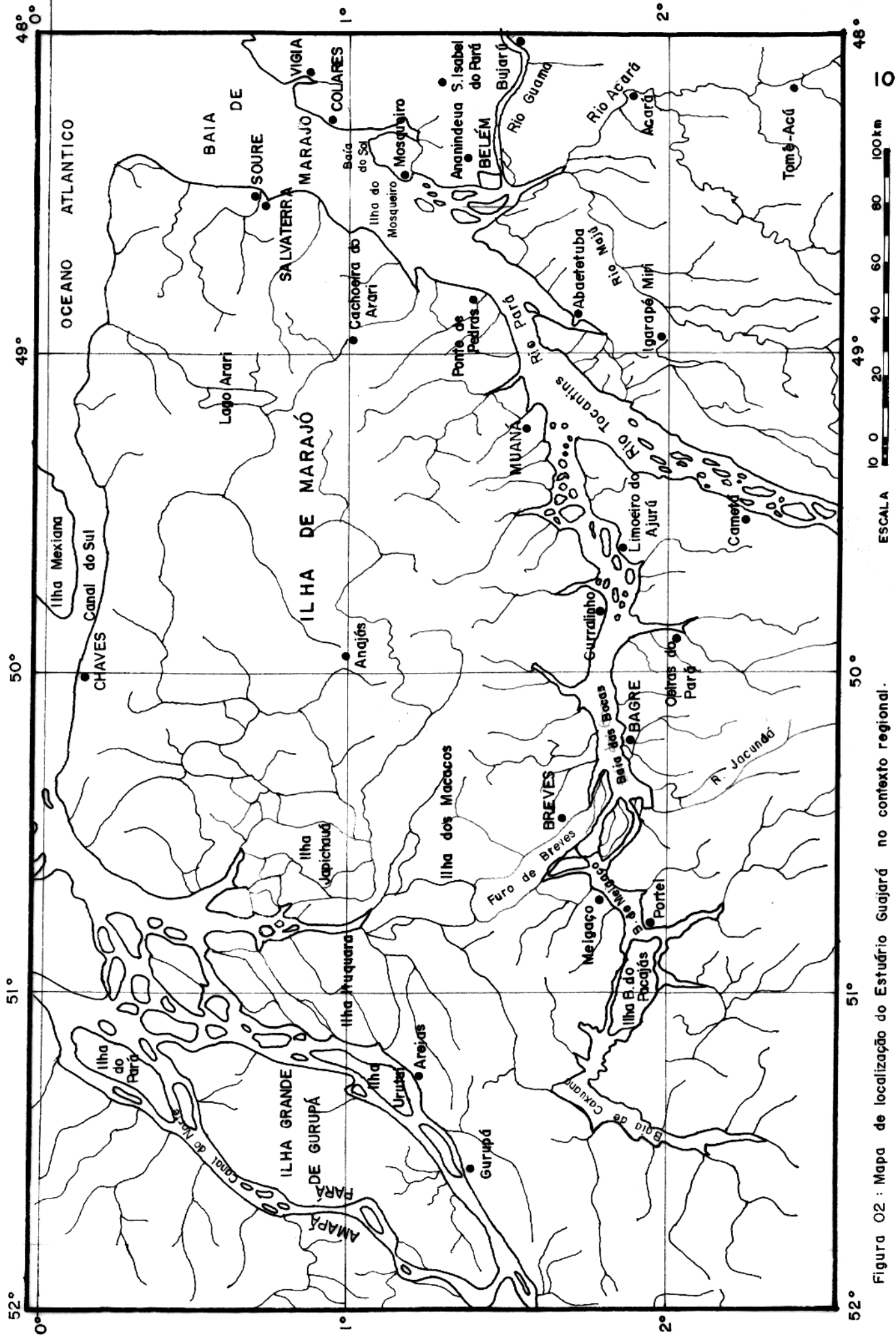


Figura 02 : Mapa de localização do Estuário Guajará no contexto regional.

Atlântico, sua baixa altitude, relevo plano e vegetação arbórea densa, conferem a mesma características bem distintas daquelas mais comuns à Região Amazônica (Penteado, 1968). Ainda segundo este autor, a isoterma, com amplitudes térmicas calculadas com base nas temperaturas médias dos meses mais quentes e mais frios, alcança valores menores que 2^o C.

Com relação as condições atmosféricas, segundo Brasil.Sudam, (1974) as precipitações mensais diminuem à partir de junho, atingindo índices mínimos nos meses de Outubro e Novembro, sem caracterizar, no entanto, estações secas.

Pinheiro (1987), observou à partir da comparação dos dados apresentados por Brasil.Sudam (1974) e aqueles medidos na estação meteorológica do Campus Universitário, na Universidade Federal do Pará, que os valores pluviométricos médios mensais dos últimos 20 anos se mantiveram aproximadamente constantes. A partir desta análise concluiu que Janeiro, Fevereiro e Março são os meses mais chuvosos, enquanto que Julho, Agosto e Setembro são os meses de menor precipitação pluviométrica.

A existência de um só mínimo pluvial por ano, segundo Penteado (op. cit.), define um microclima devido a ausência de amplitudes térmicas capazes de dividir o ano em estações definidas.

O clima da região estuarina pode ser classificado como quente e úmido, sem inverno, com baixas amplitudes térmicas e sem estação seca bem definida, podendo ser enquadrado no tipo Afi de Kopen, Carvalho (1917).

2 - METODOLOGIA

2.1 - BATIMETRIA

A análise batimétrica do Estuário Guajará considerou inicialmente os trabalhos de Santos (1982); Machado e Costa Jr. (1986); Pinheiro (1987) e Bernardi et al (1988).

A partir de uma avaliação desses trabalhos foram executados perfis ecobatimétricos de detalhe em três áreas distintas, (Fig.03)

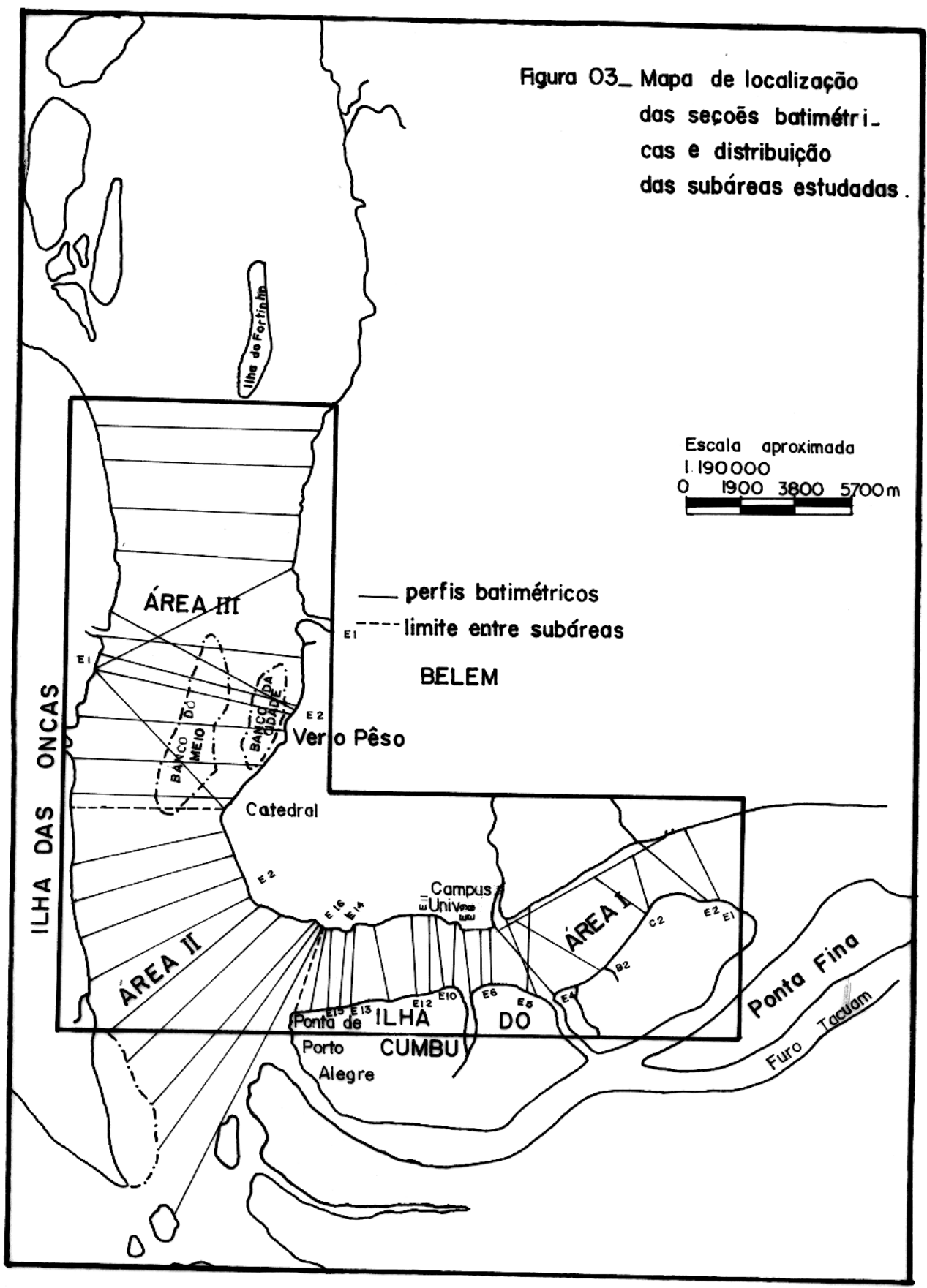
- a primeira, compreendida desde o limite leste da área estudada, no Rio Guamá até a Ponta oeste da Ilha do Cumbú abrangendo aproximadamente 20 km²;

- a segunda, com cerca de 30 Km², inclui a confluência dos rios Guamá e Guajará-Açú, estendendo-se na direção oeste, até a porção N da Ilha das Laranjeiras e, para norte, até a Catedral Metropolitana ;

- a terceira compreende a área situada desde a Catedral Metropolitana até a Usina de Miramar, ocupando aproximadamente 30 Km².

Referidos perfis batimétricos foram realizados na primeira área seguindo a orientação dos principais acidentes visíveis na orla do Rio Guamá. Nas outras duas foram posicionados através do sistema de posicionamento eletrônico Motorola - Mini-Range III e a batimetria obtida através de ecossonda Raytheon, tipo DE 719 - B, operando na frequência de 200 kHz, com escalas de profundidades de 0-16.5m / 15-31.5m / 30-46.5m / 45-61.5m

Figura 03_ Mapa de localização das seções batimétricas e distribuição das subáreas estudadas.



e com resolução de até 0.5 %.

A ecosonda foi calibrada no início e no final de cada operação. Como o zero da profundidade de medida da ecosonda é a superfície da água, as profundidades registradas oscilaram de acordo com a amplitude e o tempo da maré. Assim, todas as profundidades foram reduzidas à um datum constante onde o zero relativo aproxima-se do zero absoluto estabelecido para o nível de águas de baixa mar. Na área estudada, a referência de nível utilizada foi aquela correspondente a baixa mar média de sizígia local. O datum adotado foi o do marégrafo da DHN situado no Porto de Belém, a 0.4565m abaixo do zero hidrográfico apontado pelo marégrafo da Portobrás/CDP, conforme o 10. Distrito de Levantamento Geodésico do IBGE. Os dados de amplitude de maré foram tomados na régua do marégrafo da COSANPA localizado na margem direita do Rio Guamá. Após a correção dos dados de amplitude e tempo de maré, foram elaborados blocos diagrama de cada uma das tres áreas, através do programa SURF da Golden Soft, versão de 1984.

2.2 - CORRENTOMETRIA

A análise correntométrica foi feita com base no retrabalhamento dos dados coletados pela Portobrás (1980b) para a área portuária de Belém, e por Bernardi et al. (1988), na área do Igarapé Tucunduba, nas imediações do Campus Universitário da UFPa, no Rio Guamá.

Dentre os dados de velocidade e direção das correntes coletados pela Portobrás (op. cit), apenas aqueles provenientes de três (03) seções foram alvo de estudo neste trabalho (Fig. 04).

- seção S1, localizada no extremo norte do cais do porto e transversal a Baía de Guajará;

- seção S2, numa perpendicular desde a Catedral Metropolitana de Belém até a margem direita das Ilha das Onças;

- seção S5, localizada na porção leste da área, cortando o Rio Guamá.

Os dados da Portobrás (1980b) foram coletados em intervalos de 1/2 em 1/2 hora, tanto em marés de sizígia quanto de quadratura, ressaltando-se que os mesmos não foram tomados simultaneamente nas várias seções e tampouco sofreram correções quanto ao amortecimento da onda de maré induzida pela distância que separa as seções. A coleta dos dados pela Portobrás, (1980b) obedeceu aos seguintes critérios:

a) nos locais com profundidade menor de 5m foram tomadas medidas em intervalos de 1m a partir da superfície da água;

b) entre 5 e 12m de profundidade as medidas foram tomadas à 1m da superfície, à 1m do fundo e a cada 2m no restante do intervalo;

c) em locais com mais de 12m de profundidade repetiu-se o critério anterior, aumentando-se o intervalo para 3m a partir do primeiro metro da superfície.

Os dados de velocidade de correntes, levantados por Bernardi et al. (1988) (Fig. 05), obedeceram os ciclos associados

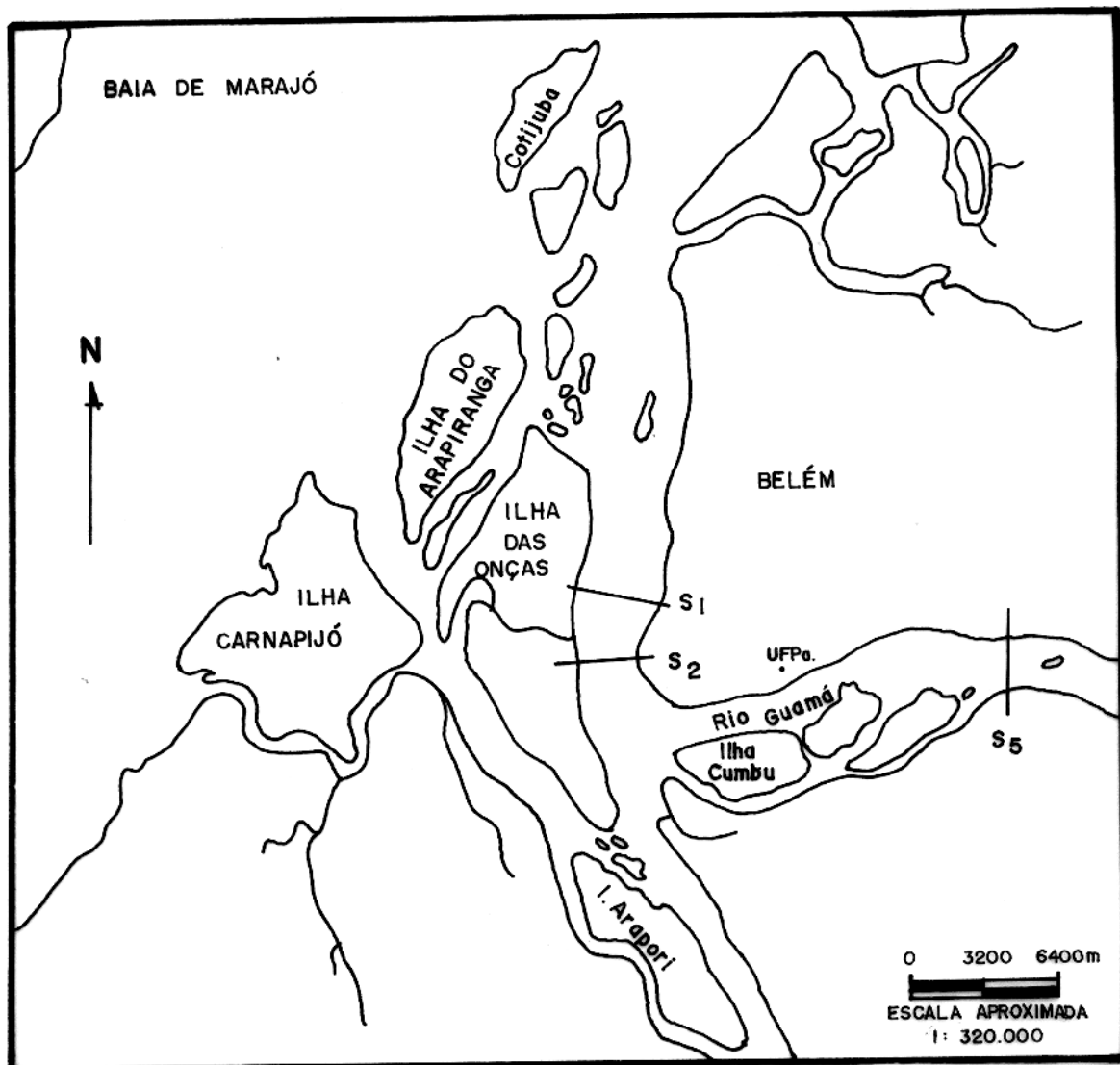


Figura 04 : Mapa de localização das seções correntométricas, PORTOBRÁS: 1980

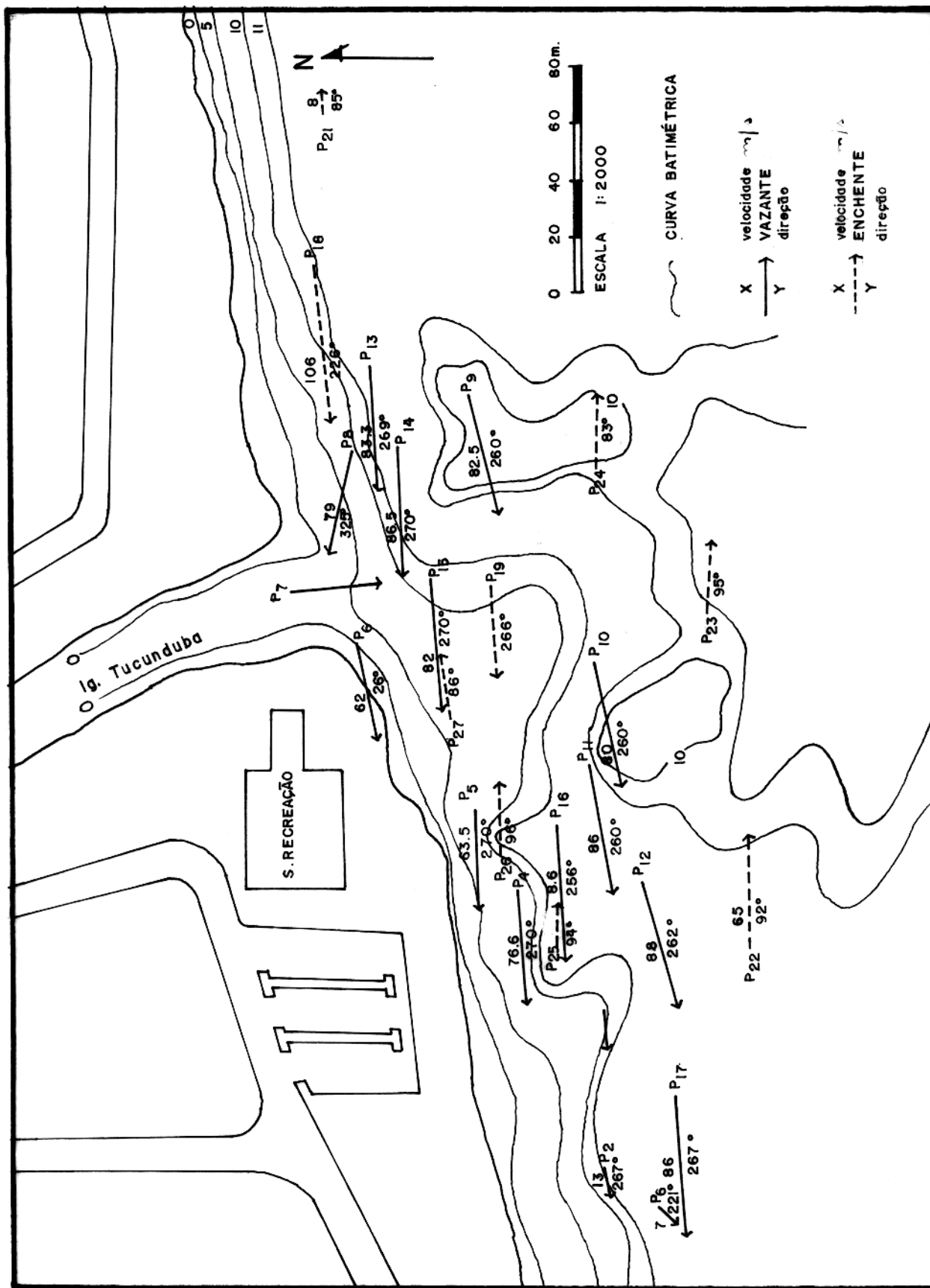


Figura 05: Mapa de distribuição das velocidades de correntes nas imediações do igarapé Tucunduba. Modificado de Bernardi e Pinheiro (1987)

à dinâmica estuarina, isto é, Ciclo Lunar e de Maré. As medições foram feitas em marés de sizígia e quadratura, segundo os seguintes critérios:

a) nos locais com profundidades menores do que 5m foram feitas medidas na superfície e a 1 e 2m abaixo desta;

b) nos pontos mais profundos foram coletados na superfície, a 3 e a 5m de profundidade.

Ressalte-se que para o objetivo deste trabalho foram considerados os dados de velocidade de correntes de superfície e aqueles de maior profundidade.

Os dados de amplitude de maré constantes na Fig. 06 foram corrigidos conforme os dados obtidos na régua de maré da COSANPA (Fig. 07) e correlacionados às cotas altimétricas entre o zero da régua de maré da COSANPA e o RN estabelecido para o local da pesquisa que é 0.4219m, segundo Bernardi et al (1988).

2.3 - SONOGRAFIA DE FUNDO

Os registros sonográficos foram obtidos através do Sonar de Varredura Lateral (Side Scan Sonar), seguindo-se a orientação dos canais estuarinos e, na medida do possível, objetivando mapear o fundo em suas porções mais rasas, próximo às margens e aos bancos existentes na área portuária. Os perfis foram posicionados através do Sistema de posicionamento eletrônico Mini Range III - Motorola.

Os alcances de varredura lateral foram escolhidos em função da profundidade e largura dos canais e da distância do

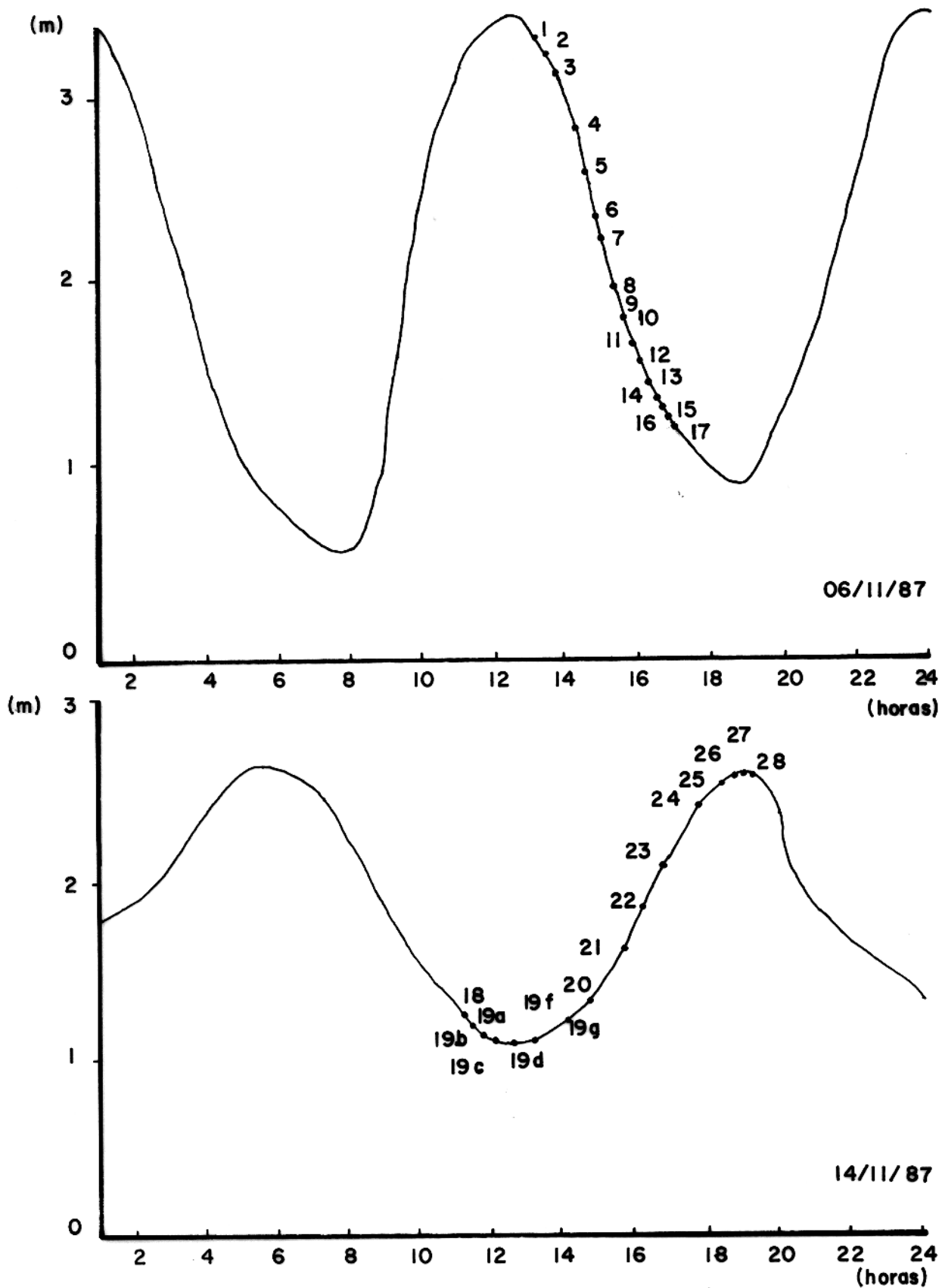


Figura 06: Marégrafos da COSANPA com pontos alocados na curva.

Fonte: Bernardi (1987). (Ver fig 0.5)

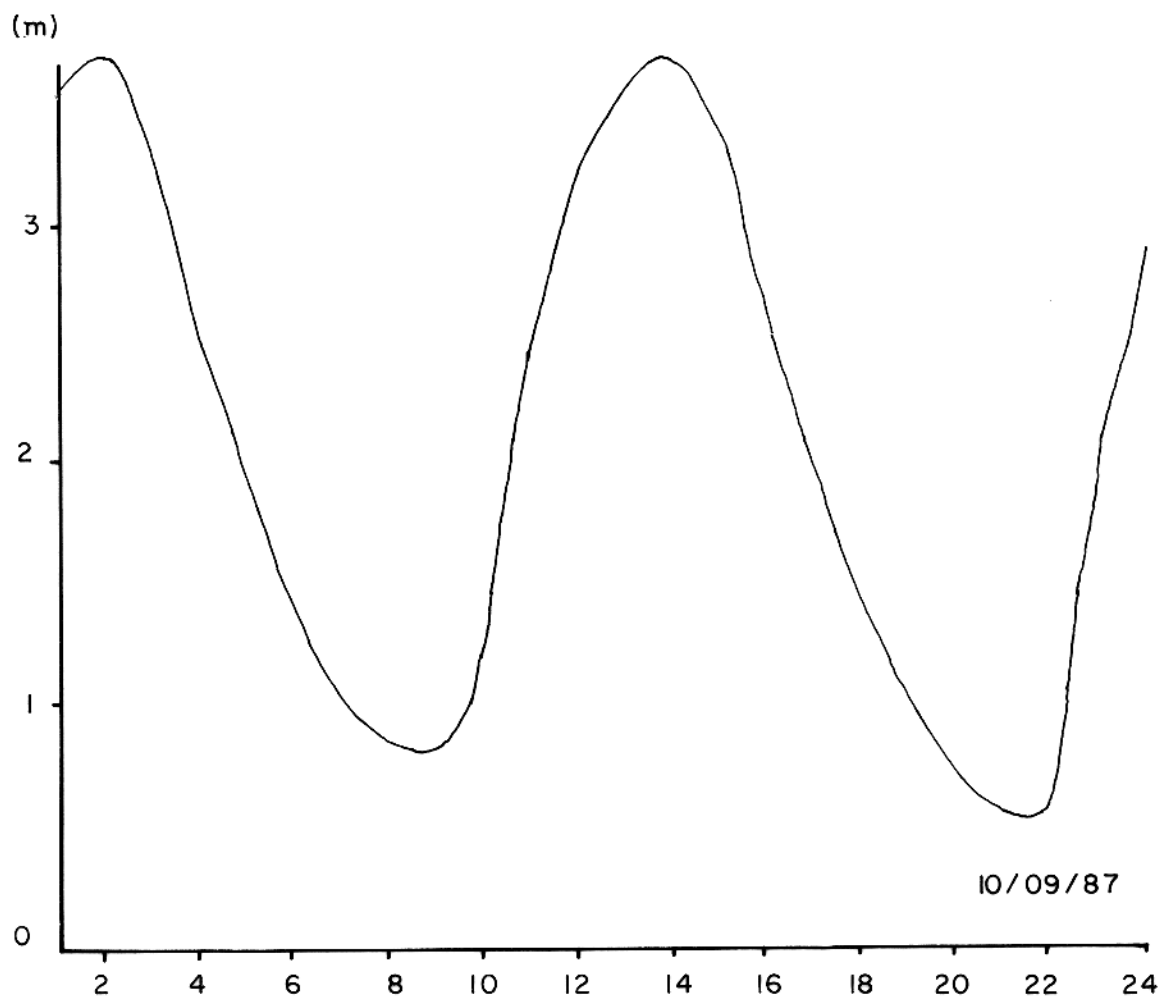


Figura 07: Curva de Maré obtidas pelo marégrafo da COSANPA em 10/09/87. Extraído de Bernardi et al (1988) .

recobrimento em relação às margens. Todos os perfis sofreram as correções relativas às distorções inerentes ao funcionamento do equipamento.

2.3.1 - PRINCÍPIOS FÍSICOS DE FUNCIONAMENTO DO SONAR DE VARREDURA LATERAL

Os registros sonográficos foram obtidos pelo Side Scan Sonar, marca Klein, modelo 521T, o qual que compreende 3 partes: o sensor, denominado "peixe"; um registrador munido de 2 canais de recepção e um cabo eletromecânico, responsável pela conexão entre o registrador e o sensor.

Conforme ressalta Flemming 1976: (In Russel Cargill, 1980), a maior parte dos sistemas de sonografia lateral produzem imagens distorcidas das estruturas morfológicas de fundo, o que dificulta a interpretação dos resultados apresentados nos sonogramas. De acordo com este autor, as principais fontes de distorção nos referidos registros são a variação na velocidade da embarcação, a inclinação do "range" de calibração, o espalhamento horizontal do feixe acústico; as variações na altura do sensor; inclinações nas camadas de fundo e instabilidade no cabo de reboque do sensor, entre outras. Assim, é de grande importância eliminar-se ao máximo essas distorções antes do início da avaliação sistemática dos sonogramas, evitando-se interpretações errôneas.

2.3.2 - CONSTRUÇÃO DA IMAGEM SONOGRÁFICA

A imagem sonográfica é construída por sinais sonoros recebidos através dos lobos principal e secundários (Fig. 08 a, b e c). Segundo Flemming (1976), os lobos laterais, tornando-se menos intensos, terão qualidade inferior de resolução. Assim, embora os objetos ou feições maiores sejam registrados sem dificuldades, os menores poderão ser vagamente definidos ou não serão registrados. Para uma correta interpretação dos sonogramas é importante conhecer o tamanho da área de redução da resolução. Caso seja recebido para tratamento o sinal de um lobo sonoro que produza uma geometria de propagação cônica, a largura da área desse cone será função da altura do Sensor em relação ao fundo. Quando o lobo lateral se sobrepõe ao lobo principal, ocorre uma drástica redução da resolução, o que gera, às vezes, a falta de registro na margem interna do registro referente a cada canal (Flemming, 1976).

O registrador do tipo de 2 canais contém dispositivos mecânicos e eletrônicos. Assim, o sensor envia pulsos sonoros curtos, com 0.1 milisegundos de duração. Os sinais de retorno são amplificados no registrador e vão alimentar, sob a forma de correntes variáveis, os eletrodos do hélix (lâmina), o qual varre o registro de dentro para fora a partir do centro do tambor.

A corrente passa através do registro pela lâmina-eletrôdo, produzindo no papel úmido marcas de intensidade variável que são proporcionais à intensidade do sinal de chegada, refletindo

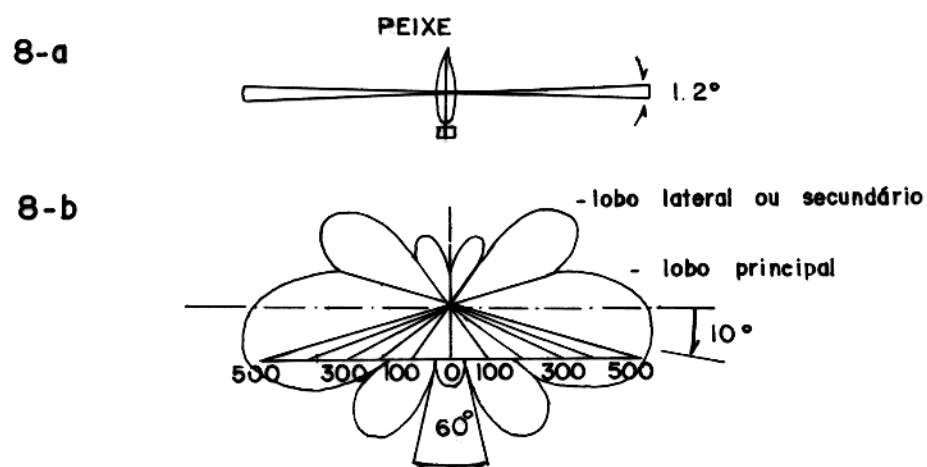


Figura 8 : Lobos e construção da Imagem. 8-a: vista plana, 8-b: seção vertical. Adaptado de Flemming (1976).

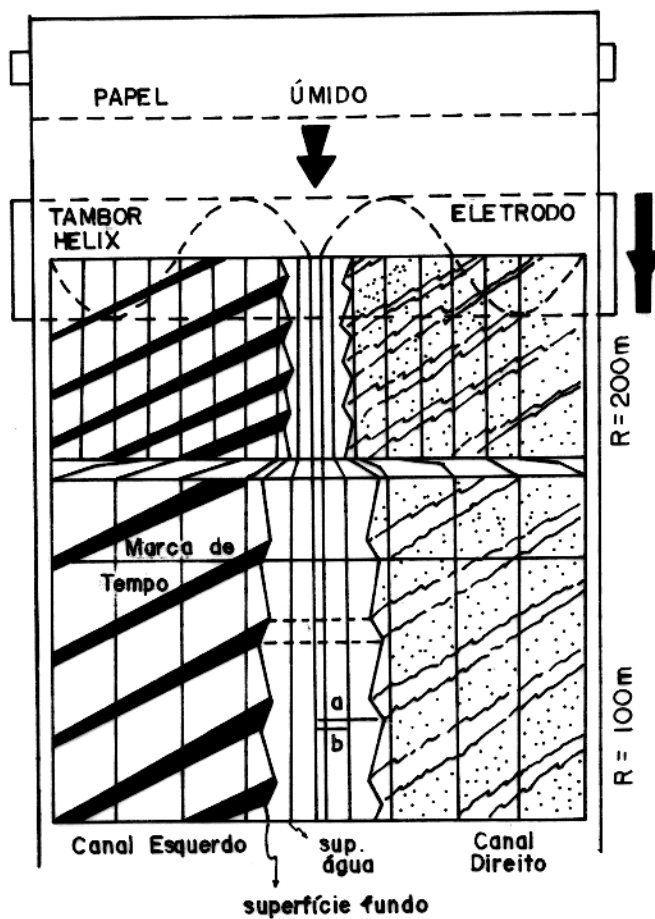


Figura 8c : Construção da Imagem Sonográfica. Adaptado de Flemming(1976)

a natureza do fundo (Fig. 09).

O conjunto de imagens registradas é denominado de "sonografia" e tem uma aparência semelhante à fotografias aéreas contínuas. Cada sinal de retorno é plotado no papel na posição correspondente ao tempo em que ele foi recebido, após o sinal de saída. Essa posição será plotada no papel proporcionalmente ao alcance lateral (range) escolhido. Cada "range" é dividido, segundo Flemming (1976), em iguais intervalos de tempo que são automaticamente plotados como linhas de escala no registro. Esse intervalo de tempo representa 15 ou 25 m de distância do sinal de saída, conforme o equipamento a ser utilizado.

O sinal de retorno, quando mais forte, tenderá a escurecer o papel em função das propriedades do material do fundo assim como a topografia da superfície mapeada. Alvos maiores como "boulders", "ridges" e "sand waves", além de serem bons refletores produzem uma zona de sombra acústica correspondentes a áreas adjacentes a eles, onde o registro é interrompido, deixando um sinal branco no papel. A largura dessa sombra e a posição do objeto em relação ao peixe são elementos utilizados para o cálculo da altura de tais objetos.

2.3.3 - VARIACÕES NA VELOCIDADE DA EMBARCAÇÃO

As feições registradas pelo Side Scan Sonar, em geral, não se apresentaram em sua proporção original. A velocidade da embarcação afeta o comprimento ao longo da rota. A Fig. 10

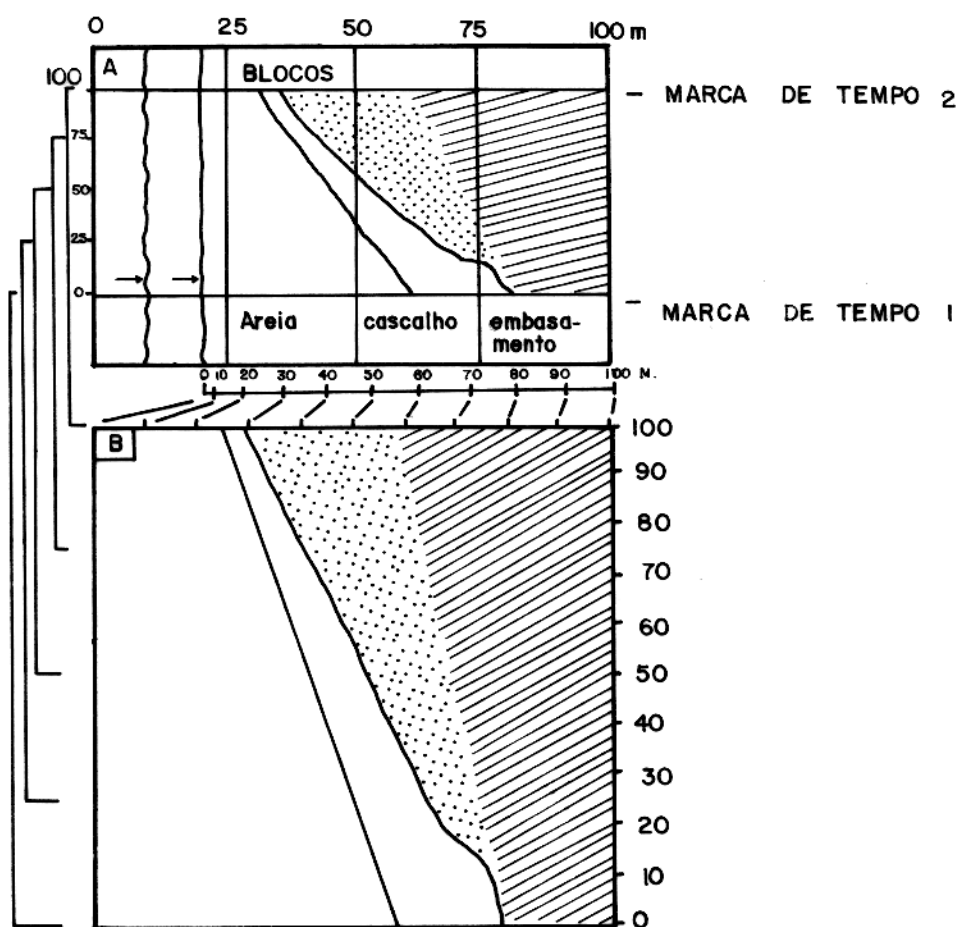


Figura 09 - Conversão de um sonograma de campo (a) em real (b) Veloc=6 nós, range=100m, Altura do peixe = 20m.

mostra que quanto maior for a velocidade de reboque menor a feição irá aparecer no registro sonográfico. É importante que a velocidade da embarcação mantenha-se o mais constante possível durante o levantamento.

2.3.4 - DISTORÇÕES DE ESCALA

Segundo Fleming (1976), as distorções de escala podem ocorrer perpendicular e paralelamente à linha de recobrimento, conforme os eixos x e y respectivamente. Em cada caso, as distorções são causadas por diferentes fatores. Uma distorção de escala na direção do eixo x não produz imediatamente uma mudança de escala na direção do eixo y e vice-versa. Para se avaliar as distorções de escala é necessário escolher uma velocidade de suprimento de papel no registrador proporcional à velocidade do barco, de tal forma que não ocorram variações de escala no registro. Isso é possível, teoricamente, na prática, entretanto, a velocidade do barco nunca permanece constante durante o recobrimento. Desta forma, a distância sobre um objeto varia uniformemente, introduzindo uma distorção de escala paralela à linha de recobrimento correspondente ao eixo y (Fleming, 1976). O efeito imediato deste procedimento é que qualquer feição registrada no papel será comprimida na direção do eixo y, segundo um coeficiente correspondendo à razão entre a velocidade do barco, na qual não existe distorção, e aquela quando o registro foi tomado.

As distorções ao longo do eixo x são independentes das do eixo y. Estão associadas com a variação nas calibrações e são chamadas "distorções de variações". Segundo Flemming (1976), esta variação é calibrada com base no tempo de ida e volta do sinal acústico, de tal forma que o espaçamento de duas linhas de escalas sucessivas no registro corresponda a uma distância constante, expressa em metros, à uma velocidade do som de 1500 m/seg..

No presente trabalho os espaçamentos entre as linhas de escala representam uma variação de 15 ou 25 m. As variações de inclinação nunca correspondem a distâncias verdadeiras acima do solo devido a incidência oblíqua do feixe sonoro. Essas distâncias são progressivamente comprimidas em direção à menor variação ao longo do eixo x. Pela mesma razão uma certa faixa de registro é perdida, correspondendo a coluna d'água abaixo do sensor. Assim, a relação entre a altura do sensor, variação da inclinação e a distância verdadeira acima do solo, não é linear. O aumento da altura do sensor em relação ao fundo acentua drasticamente a distorção refletida pelo efeito compressional (Fig.09), introduzindo uma escala considerável de distorção ao longo do eixo x do registro.

No caso de fundos lisos, as distorções permanecem inalteradas ao longo do registro. No entanto, quando a altura do peixe em relação ao fundo varia rapidamente devido as irregularidades topográficas, a distância igual entre as linhas de escala não é mais paralela ao eixo y, mas sim, ondulada, em harmonia com a topografia do fundo.

2.3.5 - CORREÇÕES DAS DISTORÇÕES

Newton et al 1973, (In:Flemming, 1976) foi o primeiro a elaborar um método de correção de linhas de escala, desenvolvendo o conceito gráfico de elipses de distorção, as quais podem ser associadas aos registros dando uma impressão visual imediata do efeito compressional causado pela variação da velocidade da embarcação.

Flemming (1976) expandiu essa aproximação apresentando um conjunto de sete elipses para a correção gráfica das distorções de "range" considerando diferentes alturas do sensor, sendo o nível zero de distorção representado por um círculo (Fig.11). As elipses mostram, ainda, a compressão progressiva causada pelo ângulo entre uma feição linear e a linha de base do registro quando visto ao longo do seu vetor radial.

2.3.5.1 - CÁLCULO DA RESOLUÇÃO TRANSVERSA

A resolução transversa (R_t) é definida como a distância mínima entre dois objetos paralelos à linha de recobrimento que serão registrados no papel como objetos separados. Essa distância mínima é, na verdade, igual a largura do feixe em qualquer ponto do fundo, resultando em um decréscimo uniforme da resolução transversa em direção aos "ranges" (alcances) mais externos (Tab.1). Esse é um efeito inerente ao sistema que, não podendo ser manipulado, é responsável pelo aparente desaparecimento dos sinais nas regiões do registro,

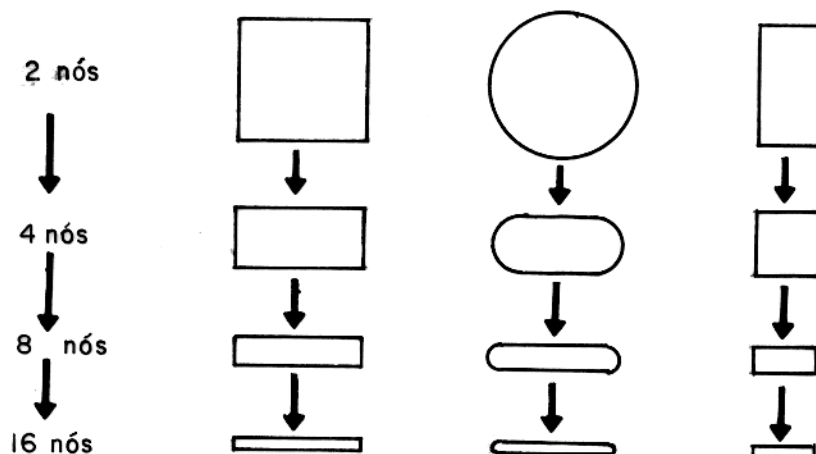


Figura 10: Distorções causadas pela variação de velocidade do navio.

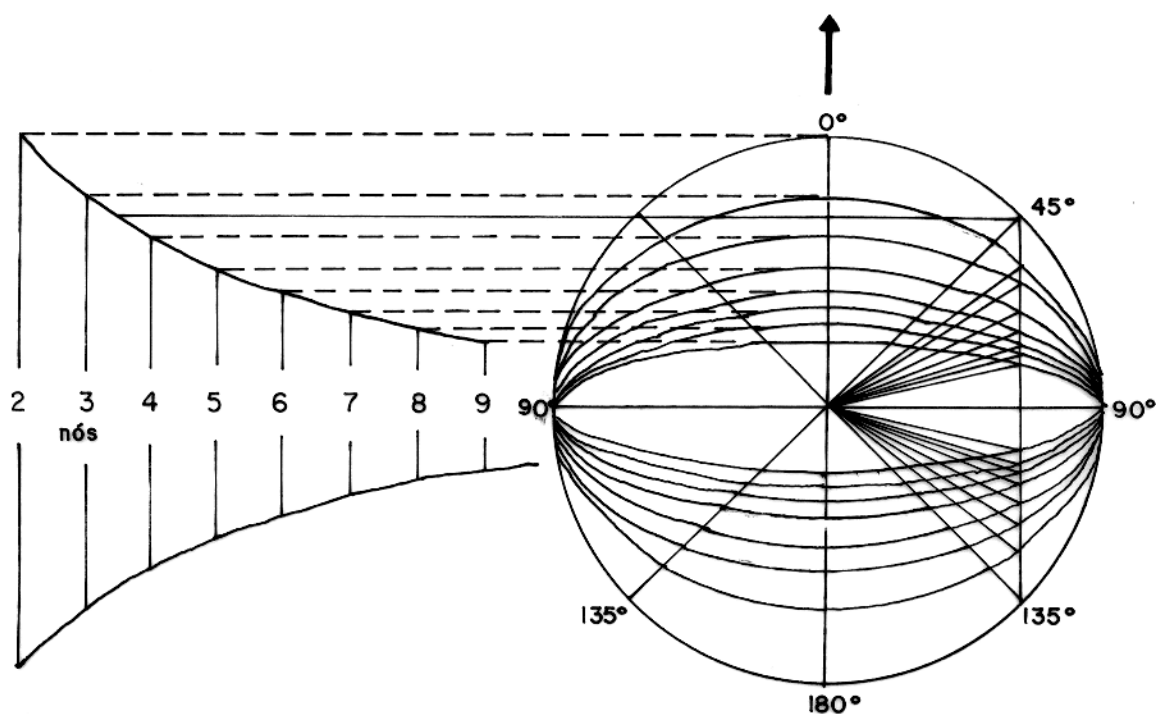


Figura 11: Construção das elipses de distorção, usadas no sentido de eliminar o efeito compressivo paralelo à linha de recobrimento. Extraído de Fleming (1976).

correspondentes aos "ranges" mais externos se as feições se tornarem menores do que a resolução transversa correspondente.

TABELA 1 - Interrelação de Vários Parâmetros

Altura do sensor acima do fundo (m)	Área do cone por canal (m)	Ranges de varredura convenientes (m)					
		50	100	125	200	250	500
10 - 25	06 - 23	X	X	X	X	X	X
25 - 50	23 - 35	-	X	X	X	X	X
50 - 80	35 - 46	-	-	X	X	X	X
80 -120	46 - 70	-	-	-	X	X	X
120 -160	70 - 92	-	-	-	-	X	X
160 -300	92 -230	-	-	-	-	-	X
300 -500	> 230	-	-	-	-	-	-
Resolução Transversa(m)		1.05	2.09	2.60	4.19	5.20	10.40
Resolução Vertical (m)		0.40	0.80	1.00	1.60	2.00	4.00
Altura Ideal do Peixe(m)		5 -10	10	10-12	20	25	25-50

Neste trabalho, os registros foram tomados com "ranges" de 75 e 100 m. Desta forma, a resolução transversa foi assim calculada:

a) Para o "range" de 75 metros

$$R_t = \text{sen } 1,2 \times \text{range}$$

$$R_t = 1,57 \text{ m}$$

b) Para o range de 100 metros

$$R_t = \text{sen } 1,2 \times \text{range}$$

$$R_t = 2,09 \text{ m}$$

Isto significa que apenas alvos com tamanhos maiores que os valores acima calculados foram registrados pelo equipamento.

2.3.5.2 CÁLCULO DA RESOLUÇÃO VERTICAL OU "RANGE RESOLUTION" (Rr)

A resolução vertical é definida como a distância mínima entre dois objetos perpendiculares à linha de recobrimento, os quais serão registrado no papel como objetos separados. Segundo Flemming (1976), assumindo-se que 1 mm é o espaçamento mínimo necessário para se registrar no papel dois objetos separadamente e considerando que 125 mm é a largura do papel, a resolução vertical será de 1/125 mm (tab. 01).

Para os "ranges" utilizados neste trabalho (75 e 100 m), a resolução vertical será:

a) Para um "range de 75 m

$$\begin{aligned} Rr &= \text{"range"} / \text{largura do papel} \\ Rr &= 75 \text{ m} / 125 \text{ mm} \\ Rr &= 0,6 \text{ m} \end{aligned}$$

b) Para um "range" de 100 m

$$\begin{aligned} Rr &= \text{"range"} / \text{largura do papel} \\ Rr &= 100 \text{ m} / 125 \text{ mm} \\ Rr &= 0,8 \text{ m} \end{aligned}$$

2.3.5.3 - CÁLCULO DA ALTURA DE UM ALVO (Ht)

A altura de um objeto ou alvo (Ht) (Fig. 12) é igual ao produto entre o comprimento da sombra acústica (D) e a altura do sensor ("peixe") acima do fundo (B), dividido pela soma do comprimento da sombra acústica com a distância do "range" (

Rs) no qual ele é registrado (Flemming ; 1976).

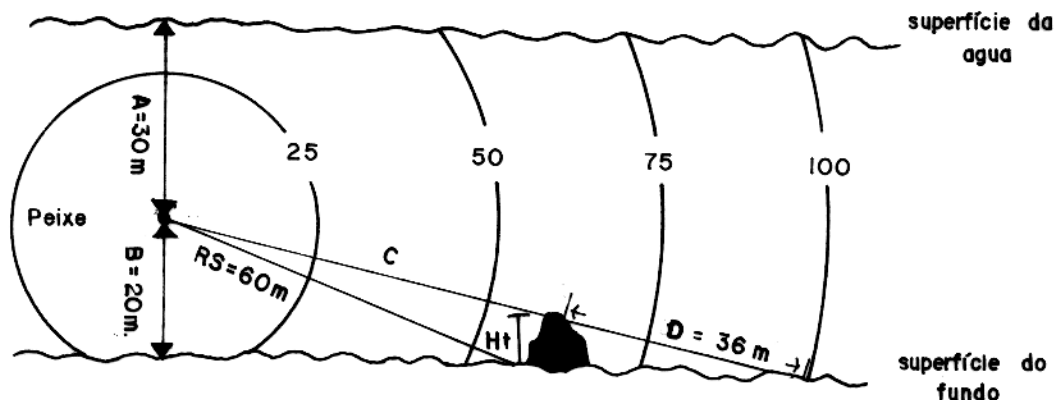
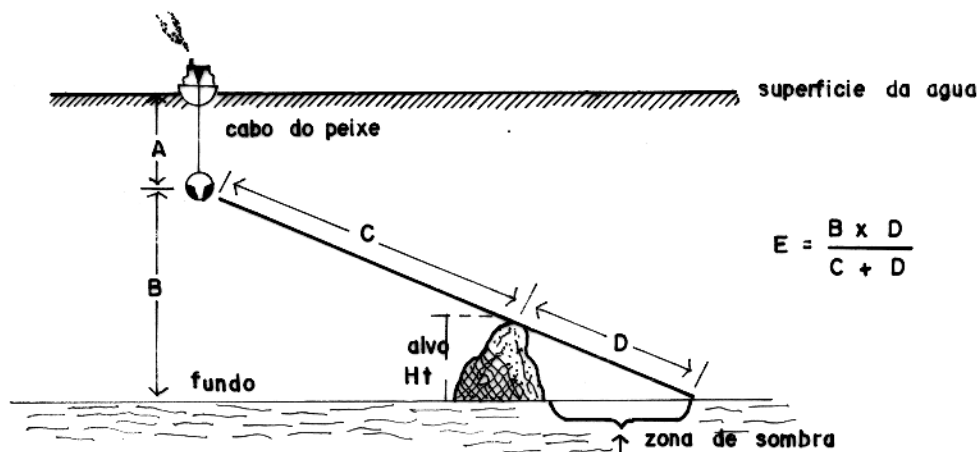


Figura 12 : Parâmetros para cálculo da altura dos objetos .
Adaptado de Fleming (1976)

2.3.5.4 - CÁLCULO DO COMPRIMENTO DA SOMBRA ACÚSTICA

A sombra acústica pode ser calculada graficamente conforme valores de equivalência das linhas de escala e os valores do comprimento da sombra acústica no registro de campo (Fig. 13).



- A - profundidade do cabo do peixe abaixo da superfície
- B - altitude do cabo do peixe acima do fundo.
- C - slant range ao alvo
- D - comprimento da sombra acústica
- E - altura do alvo

Figura 13 : Parâmetros para o cálculo da altura da sombra acústica.

2.3.5.5 - A INCLINAÇÃO DO "RANGE" (SLANT RANGE-R_s) OU RESOLUÇÃO VERTICAL

As distâncias das feições, nos registros, não são distâncias horizontais verdadeiras para cada lado do sensor. Isto significa que não se pode olhar para um registro e medir imediatamente o ângulo horizontal que uma feição faz com a rota de navegação. As feições são assim comprimidas na direção ao longo da rota, de tal forma que quanto mais próximas do sonar estiverem, mais severa será a compressão (Fig. 14), Mazel (1985). A inclinação do "range" também pode ser calculada graficamente através da equivalência entre medidas tomadas no registro e a resolução do equipamento.

2.3.5.6. - CÁLCULO DA DISTÂNCIA HORIZONTAL VERDADEIRA

A distância horizontal verdadeira ou "horizontal range" ao longo do fundo é obtida determinando-se a posição exata de um objeto ou feição em relação a linha de recobrimento. Considera-se a distância verdadeira sobre o fundo igual a raiz quadrada da diferença entre o quadrado da resolução vertical (R_s) e o quadrado da altura do sensor acima do fundo (B), numa aplicação direta do Teorema de Pitágoras (fig. 12), Flemming, (1976).

$$R_h = R_s - H_f$$

INCLINAÇÃO DO "RANGE" (SLANT RANGE)

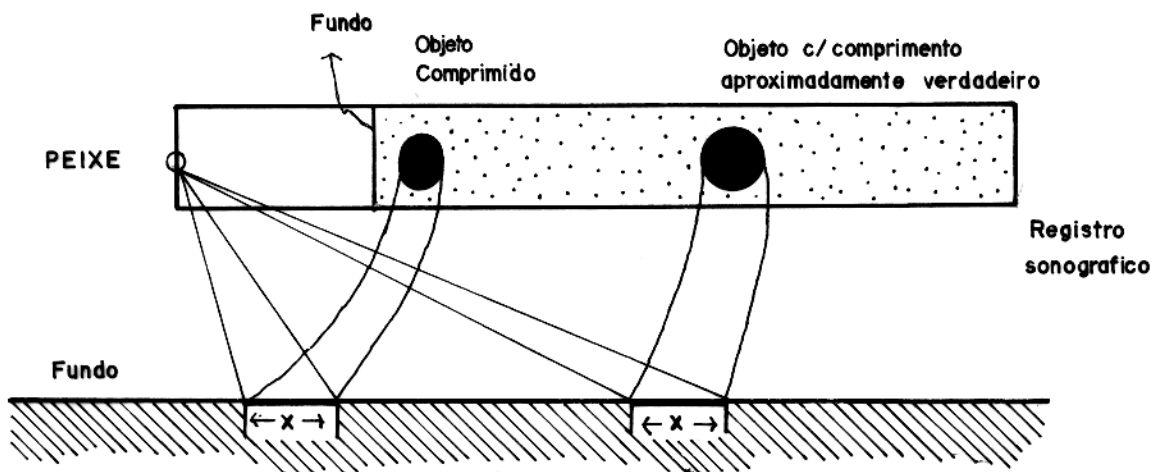


Figura 14: Efeito compressivo da inclinação do range (slant range)
Adaptado de Mazel, C (1985).

3 - ANÁLISE BATIMÉTRICA

A construção e a destruição do arcabouço morfológico do Estuário Guajará vem sendo registrada desde 1843. Com o crescimento da Cidade de Belém foi necessária a construção, em 1906, de um Porto para essa cidade, tendo em vista o abastecimento da região e o escoamento de sua produção.

Um dos documentos mais antigos e importantes sobre a distribuição das profundidades no Estuário Guajará data de 1843, sendo, portanto, anterior à construção do Porto de Belém, (Santos, 1982).

A avaliação da morfologia estuarina, feita pela Portobrás (1980b) e Pinheiro (1987), mostra claramente que canais profundos e extensos foram destruídos e que novas zonas de acumulação de sedimentos formaram-se em pouco mais de um século, especialmente em função das modificações nas condições hidrodinâmicas.

A análise dos perfis batimétricos, feita neste trabalho, integrada aos dados obtidos por Pinheiro (1987), permitiu estabelecer com maior segurança a distribuição das quatro províncias morfológicas principais do Estuário Guajará: O Alto Fundo da Baía, o Canal da Ilha das Onças, a Barra do Guajará Acú e, por último, o Vale da Foz do Rio Guamá, (Fig.15).

3.1 - O ALTO FUNDO DA BAÍA

O Alto Fundo da Baía compreende as porções mais rasas (isóbatas menores de 10 m.) que contornam a borda leste da Baía de Guajará e adentram no Rio Guamá (Pinheiro, 1987).

Os bancos e canais pouco profundos são suas principais características, sendo que tres bancos destacam-se: o Banco Sul da Cidade, o Banco do Meio e o Banco da Cidade.

O banco Sul da Cidade contorna o litoral sul de Belém, a partir da foz do Rio Guamá até o início da Baía de Guajará. (Fig.16). A principal modificação ocorrida, considerando levantamentos anteriores, é o crescimento do Banco Sul da Cidade no sentido oeste, acompanhado pela migração do Canal da Ilha das Onças no mesmo sentido. Junto com seu crescimento ocorre o aparecimento de um canal pouco profundo, o Canal Intermediário, de direção aproximada E - W, que inicia a individualização da porção sul do Banco Sul da Cidade e se dirige para a margem direita do Rio Guamá (Fig.17).

A hipótese de Pinheiro (1987) de ser o Banco Sul da Cidade uma consequência da quebra da energia das correntes de enchente que passam inicialmente pela margem direita da Baía de Guajará, encontrando as correntes de final de vazante do Rio Guamá, é bastante razoável, na medida em que permite explicar a instalação do Canal Intermediário à partir desse encontro de correntes.

A velocidade dos fluxos médios de enchente tanto nas marés de sizígia quanto de quadratura, seja na superfície ou à 1

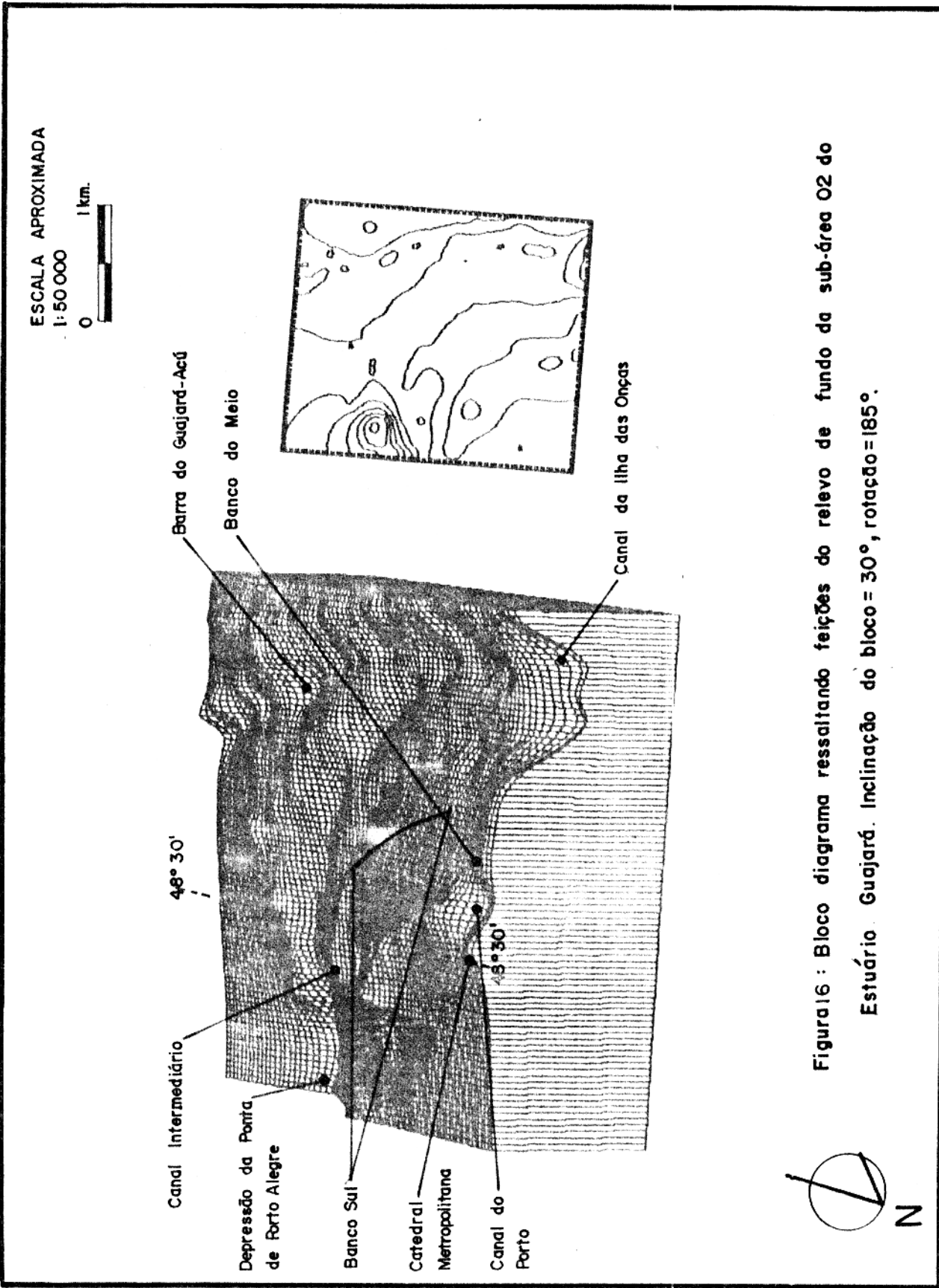
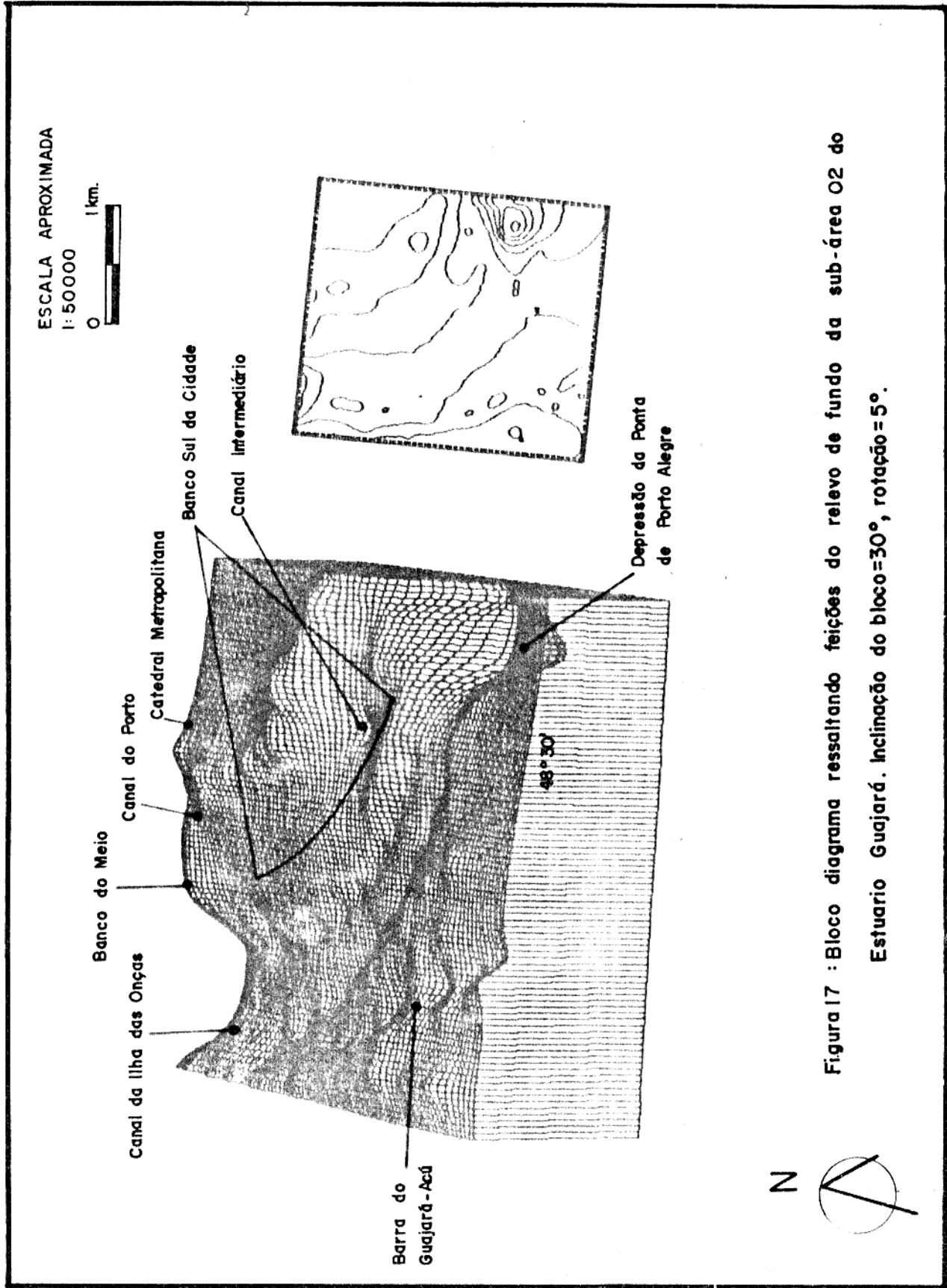


Figura 16 : Bloco diagrama ressaltando feições do relevo de fundo da sub-área O2 do Estuário Guajará. Inclinação do bloco = 30°, rotação = 185°.



metro do leito, são maiores do que os fluxos médios, nas mesmas condições, dos fluxos de vazante (Tabelas 02, 03, 04, 05). Por outro lado, as correntes de vazante têm, em qualquer condição, duração maior do que as de enchente, em qualquer relação de profundidade. Sendo assim, no momento de encontro das correntes de enchente com as de vazante do Rio Guamá, é possível que haja uma resultante defletida na direção N-NE, por sobre a margem direita do Rio Guamá. Essa mesma direção se mantém com intensidade suficiente para erodir os sedimentos arenosos do fundo estuarino, desenvolvendo-se neste ponto, o Canal Intermediário, o qual divide o Banco Sul da Cidade, (Figs. 16 e 17).

Os Bancos do Meio e da Cidade são pouco individualizados (Fig. 18), tendo em vista que o seu relevo não ultrapassa 1,5 metros. A separação entre estas duas feições é determinada pelo Canal do Meio, o qual, segundo Santos (1982), após incidir sobre o litoral da Ilha das Onças seria defletido em direção ao centro da Baía, separando o Banco da Cidade do Banco do Meio. Atualmente, entretanto, é possível perceber que o Canal do Meio já não tem uma influência definitiva na separação dos dois Bancos. Este Canal, ao chegar próximo à curva de saída do Rio Guamá, incide sobre o litoral da Ilha das Onças e a velocidade das correntes após a sua deflexão para o centro da Baía já não consegue seguir seu curso entre os dois Bancos, provocando o assoreamento progressivo do mesmo (Fig. 19).

ESCALA APROXIMADA
1: 50000
0 1km.

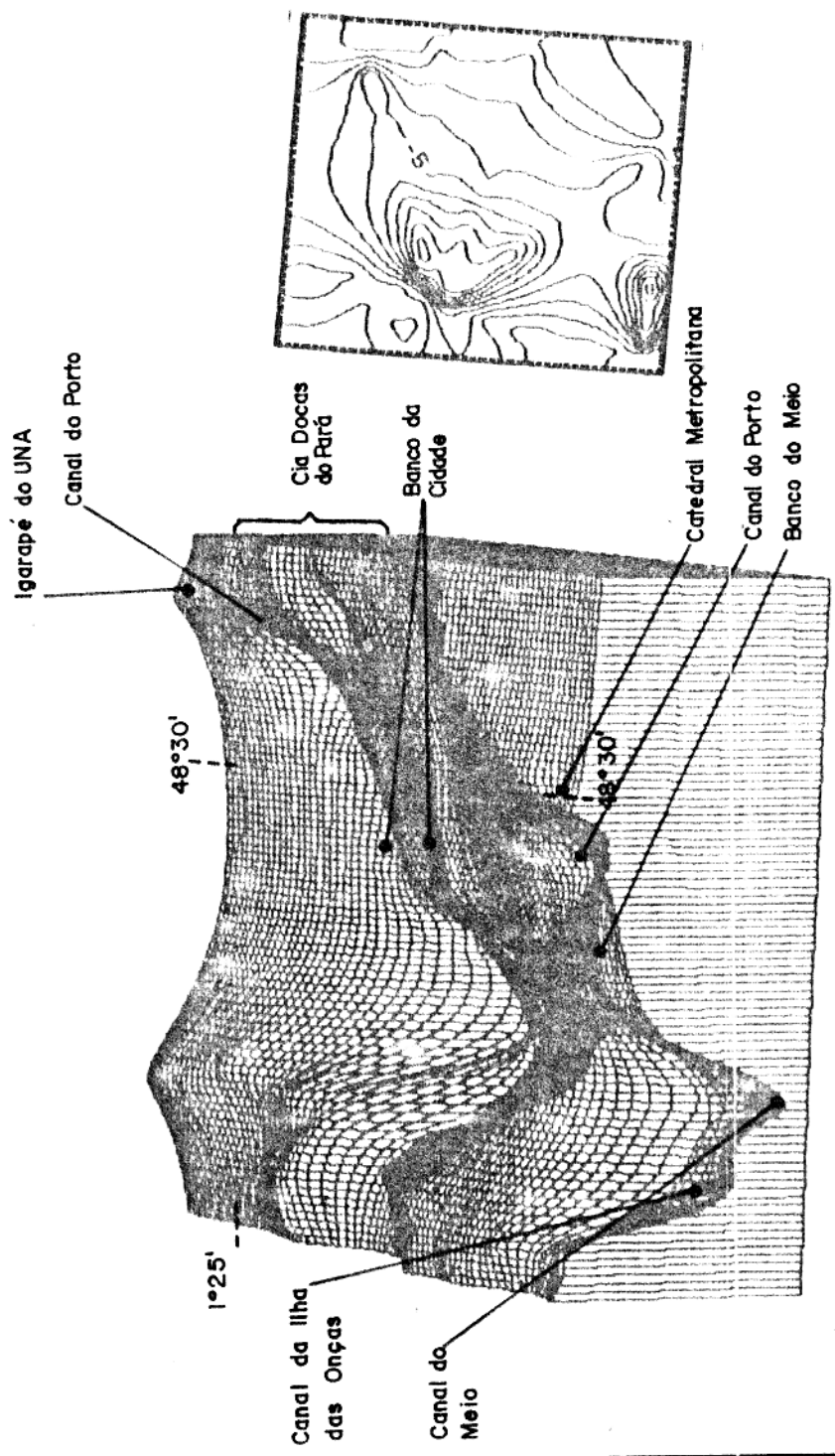


Figura 18: Bloco diagrama ressaltando feições morfológicas do fundo do Estuário Guajará.
Sub-área 03. Inclinação do bloco = 30°, rotação do bloco = 5°.

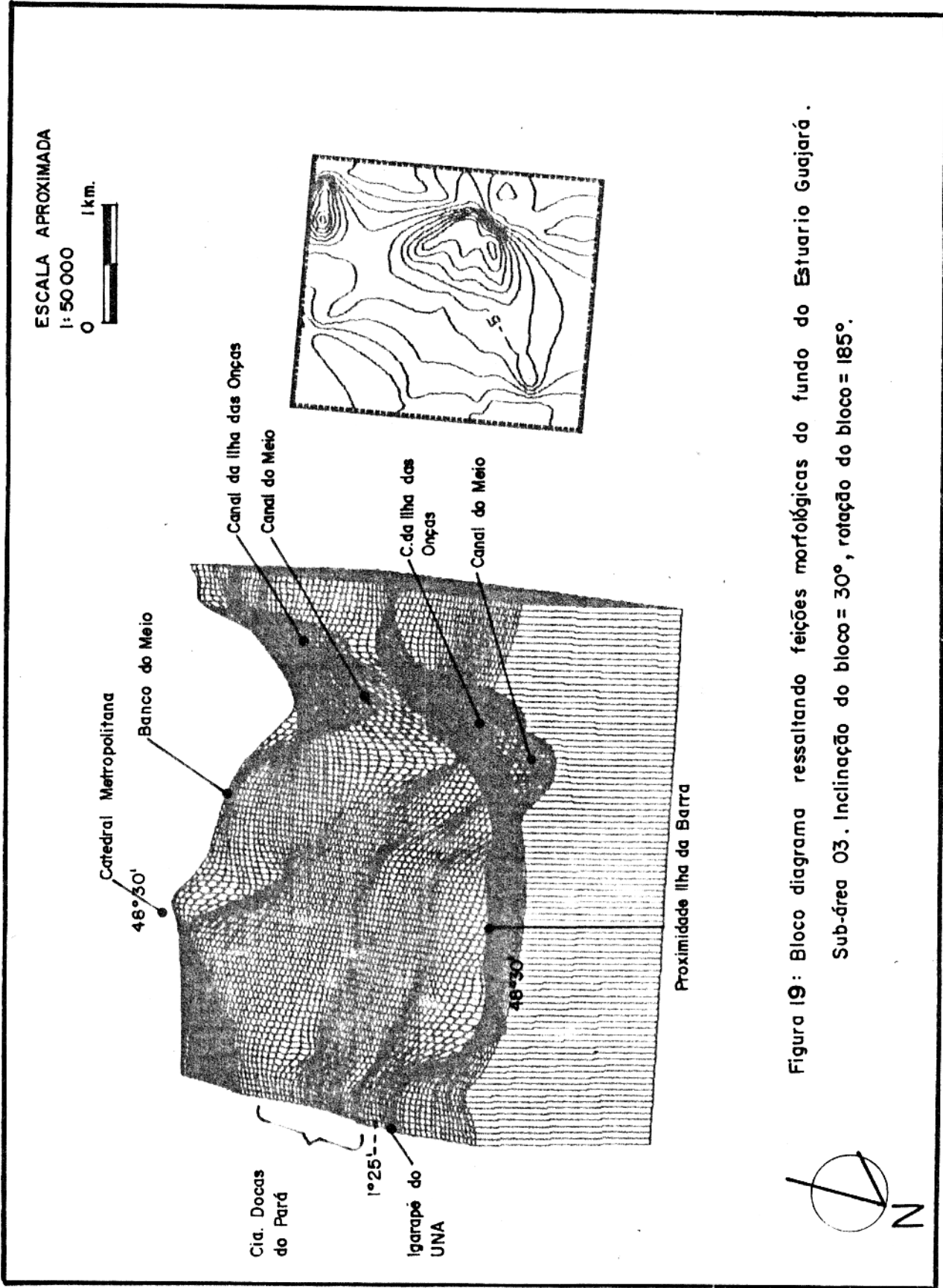


Figura 19: Bloco diagrama ressaltando feições morfológicas do fundo do Estuário Guajarará.
Sub-área 03. Inclinação do bloco = 30°, rotação do bloco = 185°.



3.2 - O CANAL DA ILHA DAS ONÇAS

Considerada por Pinheiro (1987) como a principal feição da Baía de Guajará este canal contém aproximadamente 1 Km de largura e profundidades variando de 10 a 17 metros, constitui-se num prolongamento do talvegue do Rio Guamá que acompanha sua margem esquerda, dirigindo-se à partir de sua foz para a direita e estendendo-se até o norte da Ilha das Onças.

A análise batimétrica permitiu observar, ainda, que o Canal da Ilha das Onças encontra-se em processo de migração, indo incidir quase que diretamente sobre o litoral da ilha homônima. As Figuras 18 e 19 mostram que há uma dupla calha a partir da foz do Rio Guamá. A calha principal correspondente ao Canal da Ilha das Onças propriamente dito, cujo deslocamento está representado pela erosão do litoral leste da Ilha das Onças. Por outro lado o denominado Canal do Meio (calha secundária), tem sua ação erosiva reduzida, o que provoca seu assoreamento entre o Banco da Cidade e o Banco do Meio, conforme citado anteriormente (Fig. 19).

A Depressão da Ponta de Porto Alegre (Fig. 22), com cerca de 23 metros de profundidade (a maior dentro da Baía), parece ser o elemento determinante da configuração do Canal da Ilha das Onças como tal. À partir da Depressão da Ponta de Porto Alegre este canal se estende para oeste, diminuindo gradativamente essa profundidade até retomar depressões maiores de 7.5 metros em direção ao norte.

3.3 - A BARRA DO GUAJARÁ - AÇÚ

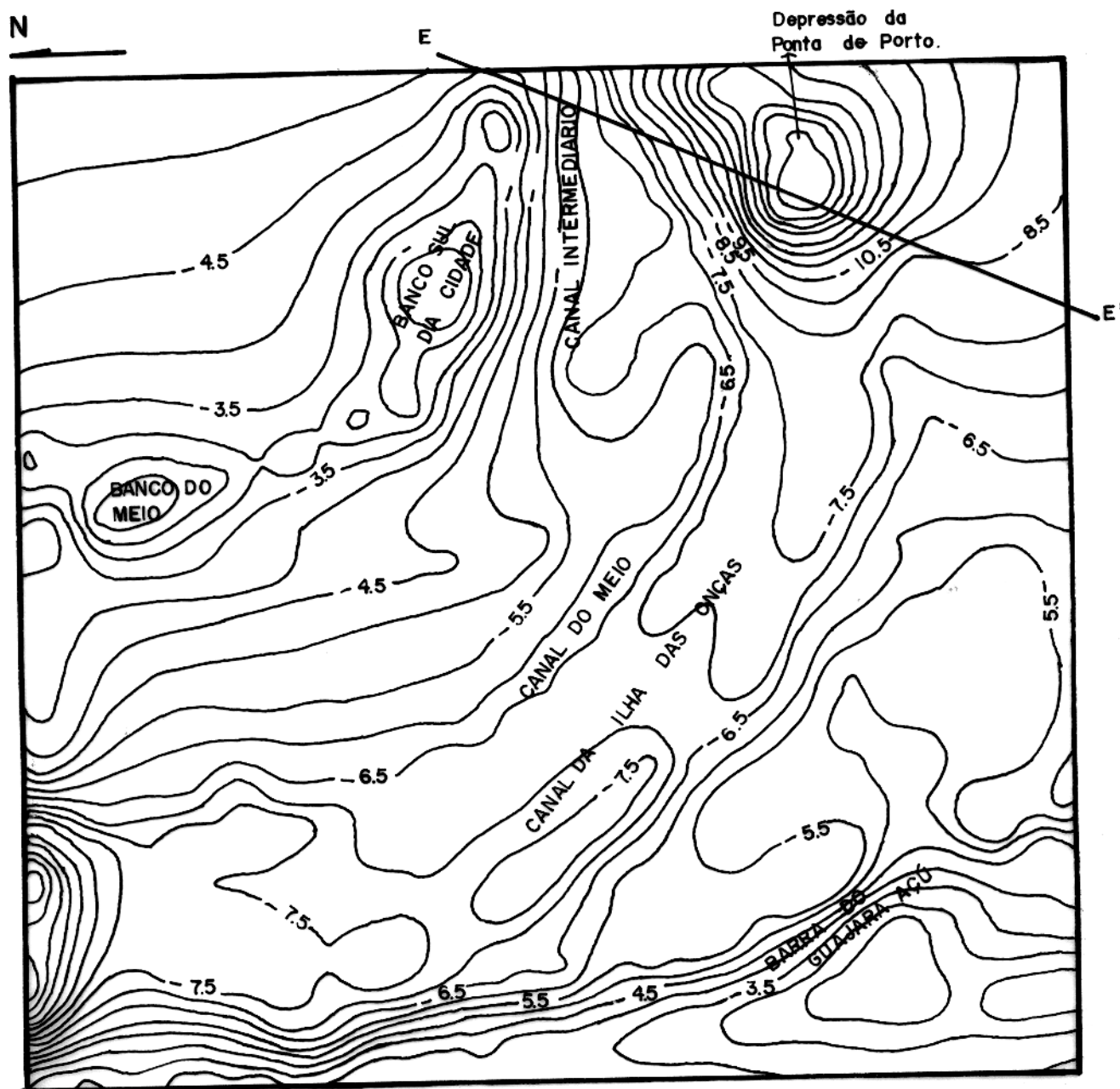
Na confluência dos rios Guamá e Guajará - Açú está presente um extenso baixio com profundidades inferiores a 5 metros, conhecida como Barra do Guajará-Açú, (Pinheiro, 1987). Nesta zona é possível reconhecer que as correntes atuantes na manutenção do Canal da Ilha das Onças estão erodindo referida barra arenosa, podendo representar um indício da migração daquele Canal (Figs 16, 18 e 21).

3.4 - O VALE DA FÓZ RIO GUAMÁ

O Rio Guamá constitui - se no principal afluente do Rio Pará (extensão do rio Tocantins), banhando a porção sul da cidade de Belém. No presente trabalho foi dado ênfase ao estudo morfológico do vale correspondente a sua foz (sub- área 01).

O Rio Guamá nesta zona mostra aspectos diferenciados das outras sub - áreas, principalmente porque não têm afluentes importantes, e pelo confinamento de seus dois canais principais, os quais praticamente determinam sua condição fluvial/estuarina como predominantemente de vazante, (Portobrás, 1980b), figs. 23, 24 e 25. As correntes atuantes no Rio Guamá mostram uma diferença de mais de duas horas de duração entre as correntes de vazante e as correntes de enchente. Assim, a ação dessas correntes, aliada ao regime de ventos ali atuantes propiciam a formação de um fluxo bastante turbulento.

Figura 21 : Mapa Batimétrico do fundo da Baía na área O2.
Intervalo entre as curvas de nível = 0.5 metros.



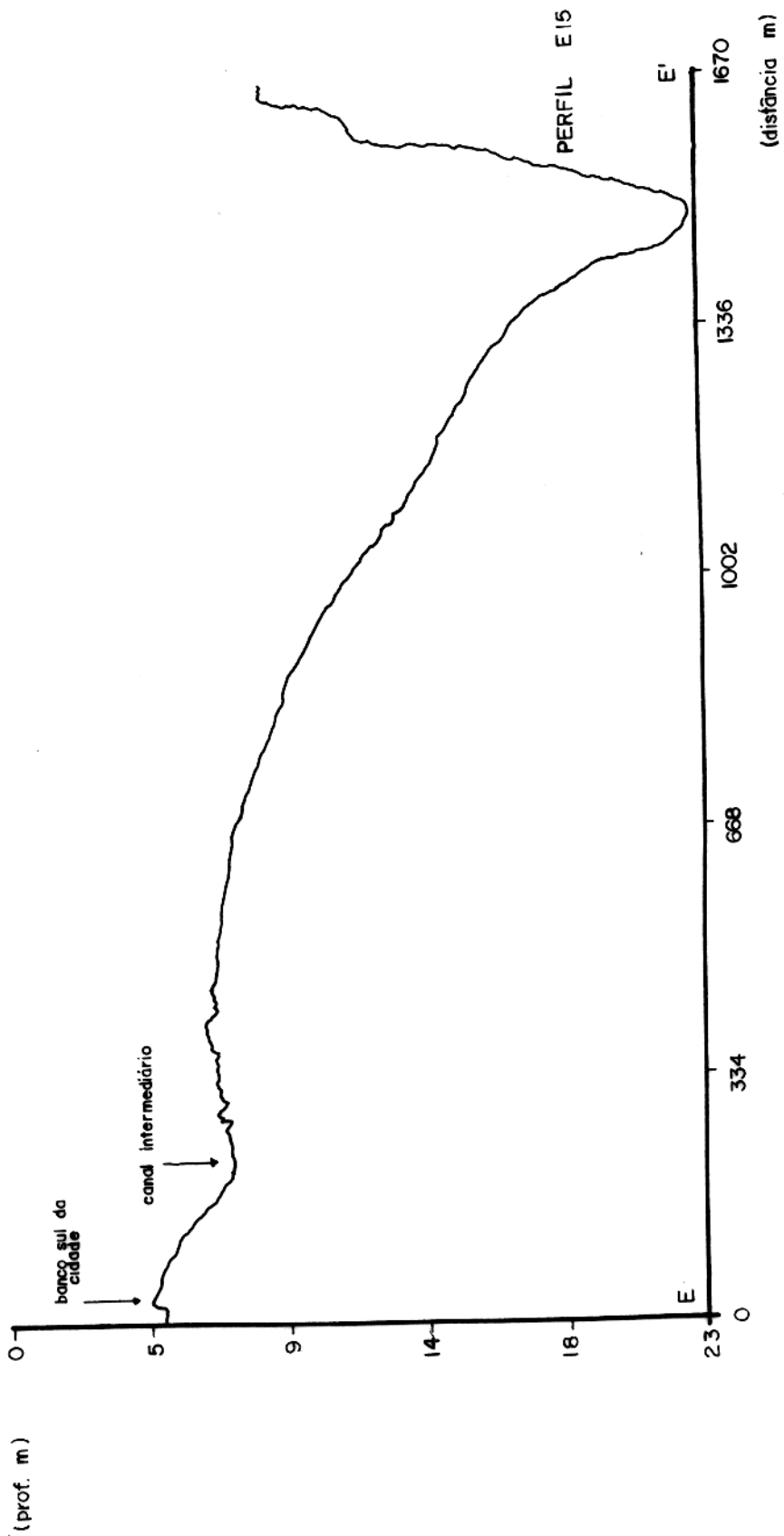


FIG. 22: PERFIL E-E', REPRESENTANDO A CONFIGURAÇÃO BATIMÉTRICA DA DEPRESSÃO DA PONTA DE PORTO ALEGRE.

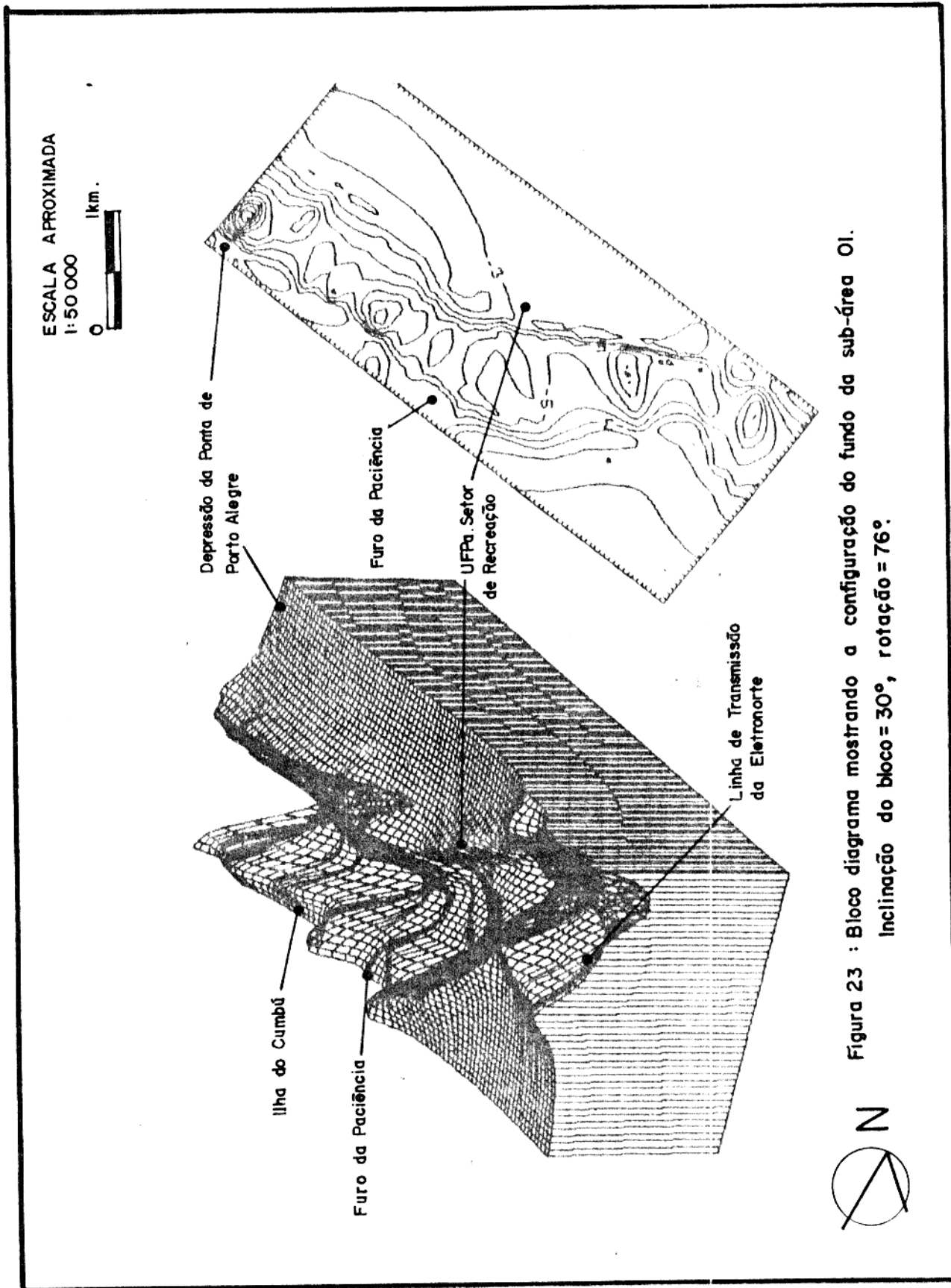


Figura 23 : Bloco diagrama mostrando a configuração do fundo da sub-área OI.
Inclinação do bloco = 30°, rotação = 76°.

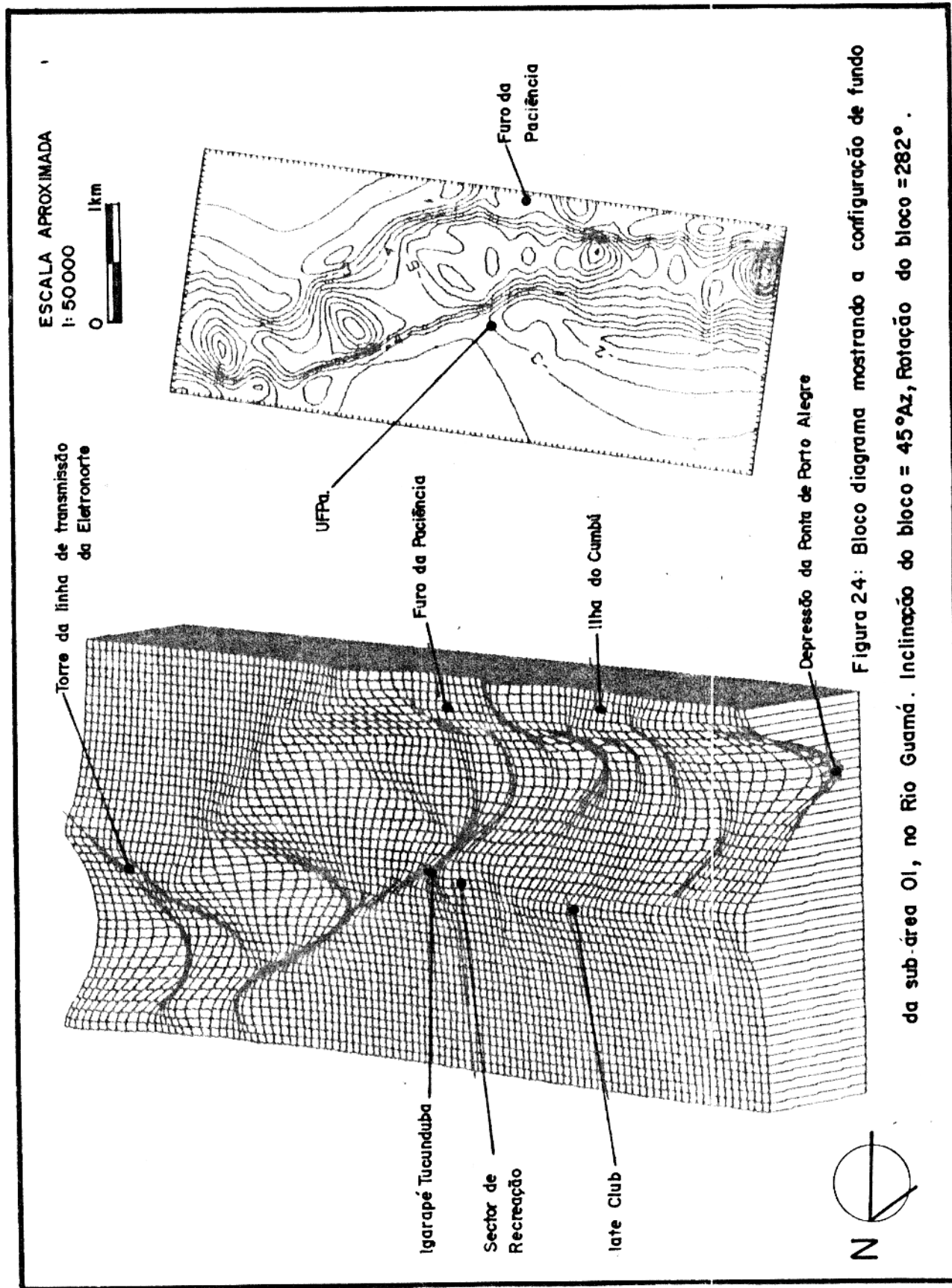


Figura 24: Bloco diagrama mostrando a configuração de fundo da sub-área OI, no Rio Guamá. Inclinação do bloco = 45° Az, Rotação do bloco = 282° .

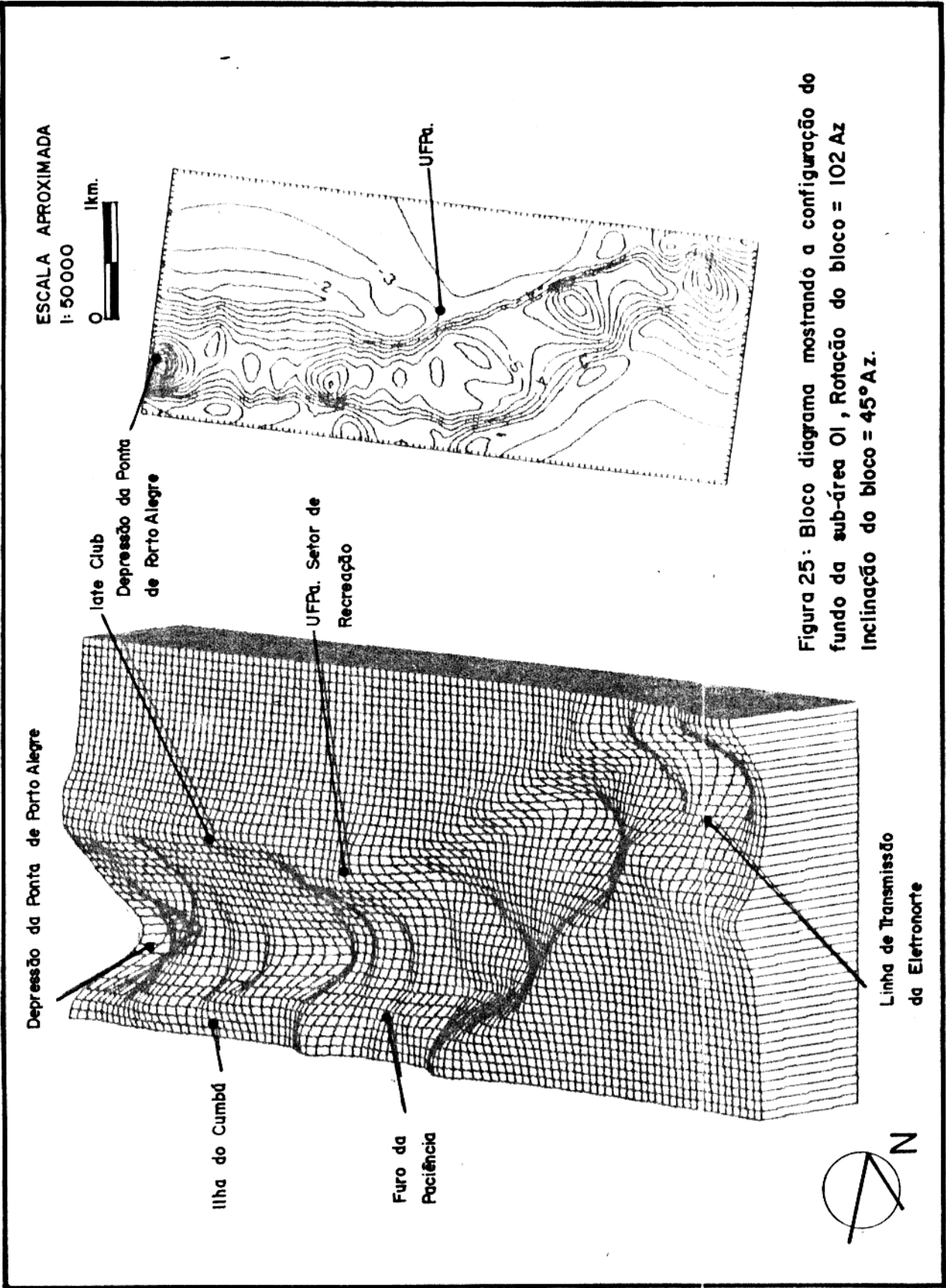


Figura 25: Bloco diagrama mostrando a configuração do fundo da sub-área O1, Rotação do bloco = 102 Az Inclinação do bloco = 45° Az.

A distribuição da velocidade de fluxo e da turbulência em canais fluviais é importante na definição dos processos deposicionais e erosivos das correntes e, conseqüentemente, no tipo dos fácies sedimentares resultantes.

Ondulações do leito estão associadas à turbulências cujo eixo situa-se quase horizontalmente enquanto que, as curvaturas dos canais e a mudança de direção do fluxo dão origem à turbulências com eixo quase verticais (Allen, 1966).

A carta batimétrica da sub área 01 demonstra que, nesta região, o rio Guamá possui dois canais entre os quais está presente uma seqüência de depressões cuja maior expressão encontra-se na foz com a Depressão da Ponta de Porto Alegre (fig. 22). Estes canais localizam-se próximo às margens, executando uma atividade erosiva intensa. Um dos pontos marcantes desse processo ocorre na sua margem direita, em especial nas imediações do Campus Universitário da UFPa (Figs. 23, 24 e 25). Ali, a hidrodinâmica do rio é responsável, juntamente com as correntes do Igarapé Tucunduba, pelo violento processo destrutivo das margens do Campus Universitário da UFPa. As correntes de vazante, com direção aproximada de 270 Az, incidem atualmente sobre esta margem projetada erodindo-o e comprometendo o Setor de Recreação da UFPa. (Figura 26), Bernardi et al (1988).

Machado e Costa Junior (1986) identificaram naquele local regimes turbilhonares que interferem decisivamente na estabilidade das margens locais. Esse regime turbilhonar é resultado da interação das correntes de vazante do Igarapé

Tucunduba com as correntes de vazante do Rio Guamá da Universidade Federal do Pará.

No ano de 1984, após episódio de forte erosão ocorrido no Setor de Recreação, nova contenção foi construída, desta vez, com vigas de madeira e fortes tapumes (Fig. 27). No entanto, a Fig. 27a mostra que o processo erosivo ainda continua intenso. Os canais assumem uma direção aproximada de 270 Az, à partir do Furo da Paciência, coincidindo com a direção das correntes de vazante ali atuantes (Fig. 23).

Além dos processos erosivos identificados nesta porção do rio Guamá, convém ressaltar as consequências da Solifluxão Tropical presente na ampliação do vale deste rio. A taxa de absorção de água pelo solo e sua capacidade de infiltração contribuem para o desabamento das margens. Assim, a ação combinada das correntes de vazante, e do processo de solifluxão tropical constitui na verdade no fator principal que atua sobre as margens do rio Guamá, provocando sua erosão Machado e Costa Jr. (1986).

A utilização do "Side Scan Sonar" pôde auxiliar ainda na visualização e na compreensão dos processos que ocorrem na confluência do Rio Guamá e do Igarapé Tucunduba.

Machado e Costa Júnior (1986) reconheceram também, um delta subaquático na desembocadura do Igarapé Tucunduba, caracterizado pela presença de pequenas bacias e bancos suaves (Figs. 28 e 28a). Este delta parece ter uma manutenção sazonal, ora sendo lavado, ora ocorrendo deposição intensa.



FIG. 26 : Vista da porção leste da sub-área OI, na margem direita do Rio Guamá. Campus da UFPa. Em 1º plano o Igarapé Tucunduba e o atual cais de arrimo.



FIG. 27: Erosão progressiva da margem após a construção do novo cais de arrimo. Em ① o limite entre a construção antiga e a atual.



FIG. 27a: Vista frontal da figura anterior. Em ① limite entre a construção antiga e atual, ② enrocamento provisório utilizado na tentativa de conter a erosão.

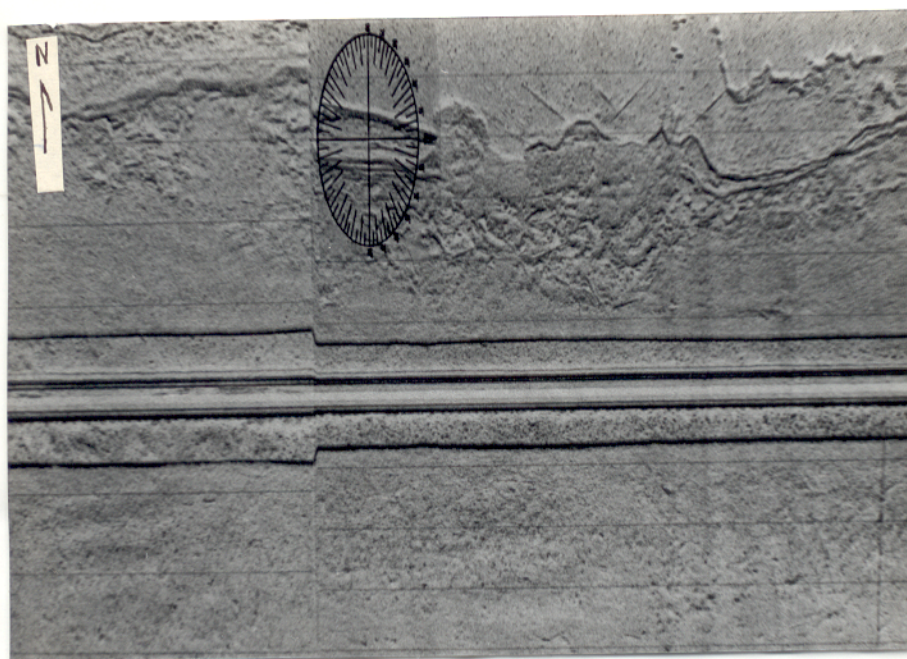


FIG 28 : "Micro delta" do Igarapé Tucunduba, na desembocadura do mesmo com o Rio Guamá. Range= 200m. Registro tomado em 2/12/88.

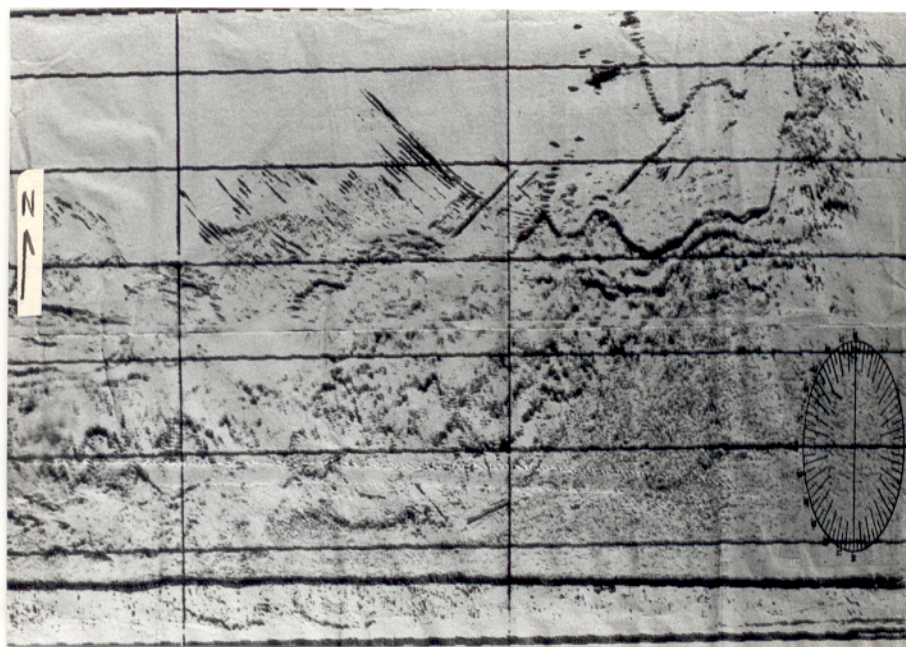


FIG.28a : "Micro delta" do Igarapé Tucunduba, em outra relação de escala lateral. Range= 100 m. Registro tomado em 03/03/87.

4 - A DISTRIBUIÇÃO DAS CORRENTES

4.1 - A distribuição das correntes no Rio Guamá

Pinheiro (1987), ao analisar dados da Portobrás (1980-b), mostrou que as correntes à um (um) metro da superfície do Rio Guamá alcançam valores máximos absolutos durante as enchentes, principalmente em marés de sizígia, atingindo até 1,89 m/seg., enquanto que durante as marés vazantes as velocidades máximas chegam à média de 1,50 m/seg.. É importante ressaltar que as marés vazantes em sizígia têm uma duração média de mais de 8 horas, enquanto que a enchente não ultrapassa o tempo médio de 5 horas. Bernardi et al (1988) confirmam esse dado como mostrado pela altura da curva correspondente à maré vazante na Figura 29.

Ainda segundo Pinheiro (1987), as médias das velocidades máximas situam-se entre 1,04 e 1,60 m/seg, sendo sempre maiores nas enchentes que nas vazantes. Verifica-se que as mudanças nas direções das correntes de marés no Rio Guamá não seguem um padrão definido, existindo, isto sim, uma tentativa para a instalação dos valores máximos na margem esquerda, ao longo do canal mais profundo. Nas marés de sizígia, velocidades maiores passam a se instalar na margem direita somente após 30 a 90 minutos de ocorrer na esquerda.

Com relação as marés de quadratura, as curvas de variação de velocidade de corrente são bastante irregulares, tanto para enchente quanto para vazante, destacando-se fortes oscilações

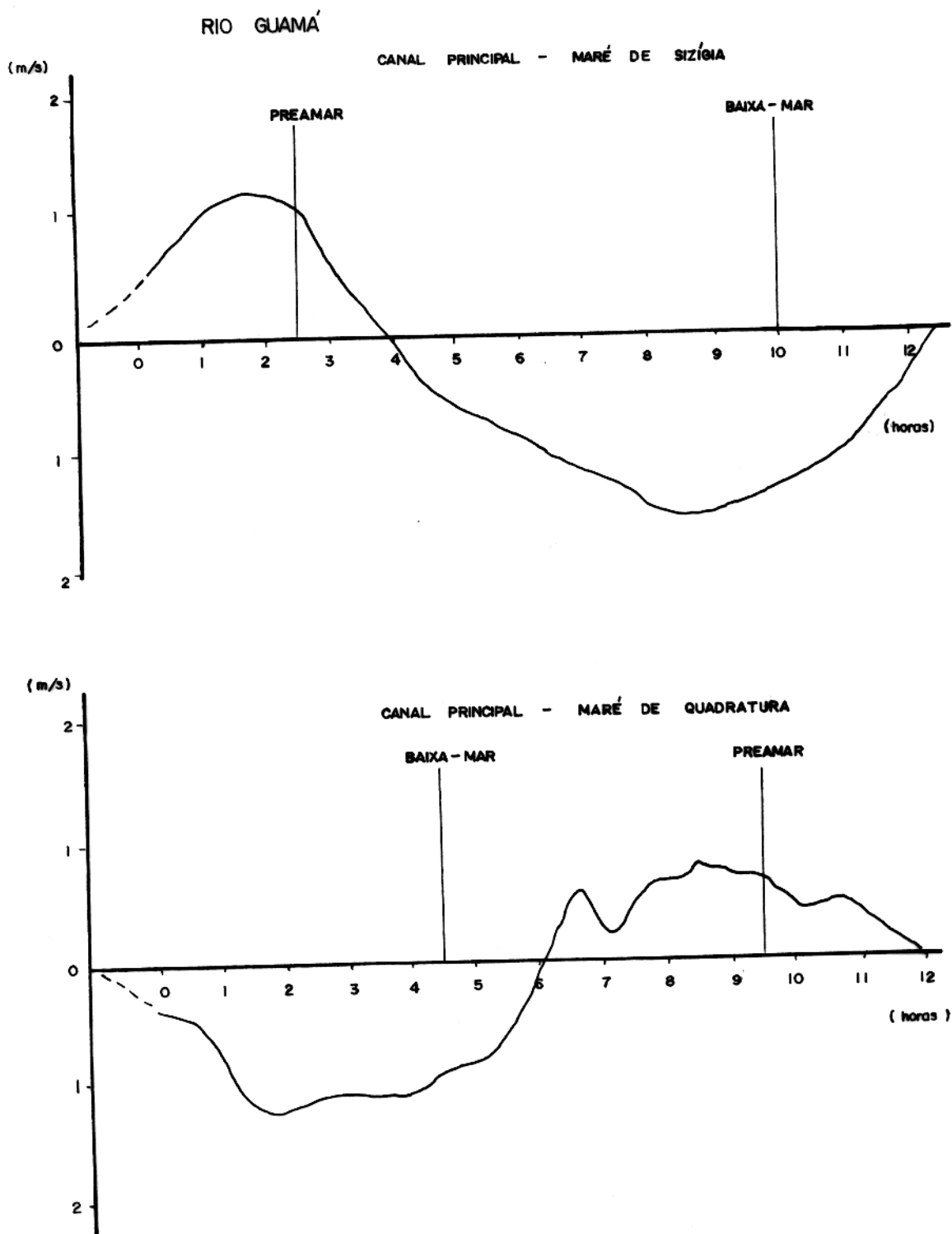


FIG. 29: CURVAS DE VELOCIDADES DE CORRENTES DE MARÉ PARA O RIO GUAMÁ - CANAL PRINCIPAL.

FONTE: BERNADI et al. (1988)

no início da enchente (Bernardi et al, 1988).

Pinheiro (op. cit) considera que as correntes vazantes atuam nas marés de quadratura cerca de uma hora a mais que a enchente.

Ao analisarem a variação da velocidade da corrente em função da profundidade (Fig. 30), Bernardi et al. (1988) mostram que os valores máximos absolutos ocorrem na superfície (0,4 m/seg) durante as enchentes, sendo que esses valores diminuem à 1 metro de profundidade. Por outro lado, as medidas tomadas durante a vazante, à 2 metros de profundidade, voltam a apresentar valores máximos de 0,4 m/seg.

Pinheiro (1987) cita ainda o fato de que no Canal Principal do Rio Guamá, próximo a sua foz, a defazagem de inversão das correntes, após a estôfa de maré, está em torno de 10 a 15 minutos, principalmente nas marés de sizígia.

Segundo Bernardi et al (op. cit), a análise da relação entre estofas de maré e as inversões de correntes na margem do Rio Guamá mostra uma defazagem de cerca de 40 minutos para a enchente e cerca de 2 horas para a maré vazante. Concluíram, dessa forma, que nessa região não se aplica o princípio de que o provável atrito das massas de água com as margens e com o fundo mais raso, em locais próximos as margens, acentua-se consideravelmente em comparação com o que ocorre no Canal Principal do Rio Guamá. A seção S5 localizada no Rio Guamá revela que durante as marés de sizígia, existe uma clara predominância, em superfície, das correntes de vazante (Fig.31), enquanto que nas marés de quadratura é nítida a alternância

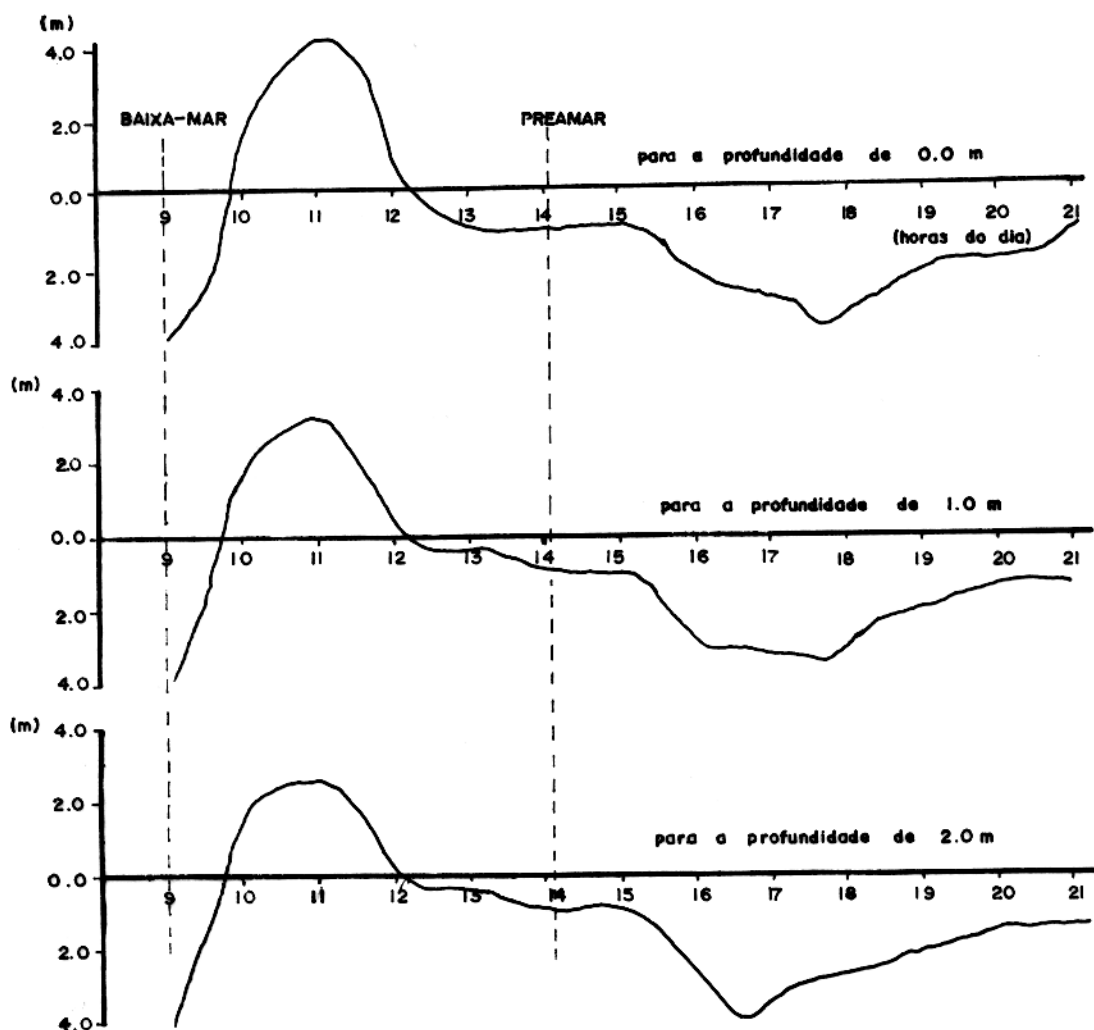


FIG. 30: CURVA DE VARIAÇÃO DE VELOCIDADES DE CORRENTES NO RIO GUAMÁ PRÓXIMO AO CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO GUAMÁ. SETOR DE RECREAÇÃO. EXTRAÍDO DE BERNARDI et al. (1988).

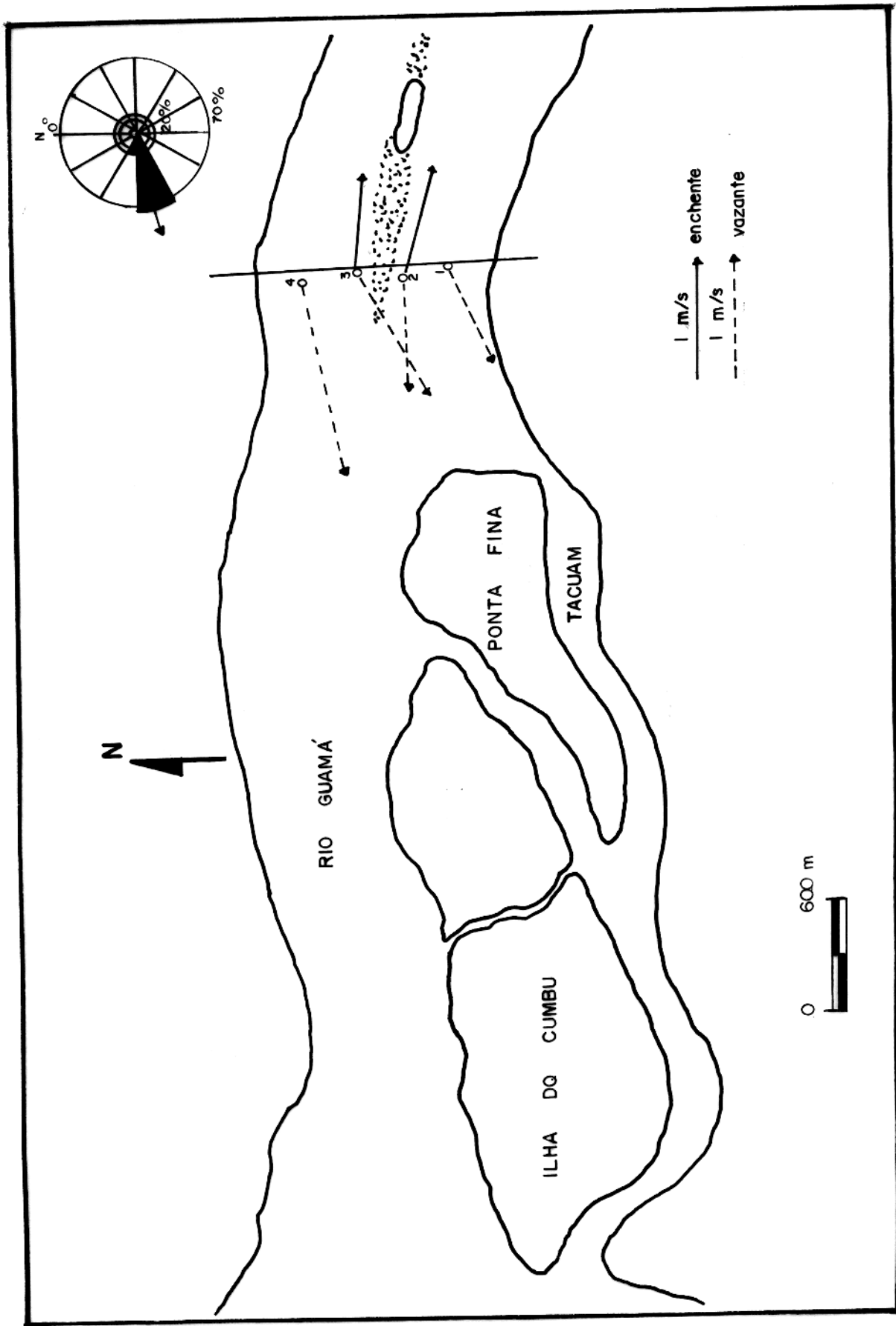


FIG. 31: DISTRIBUIÇÃO DAS CORRENTES DE SUPERFÍCIE EM SIZÍGIA, SEGUNDO DADOS OBTIDOS PELA PORTOBRA'S (1980 - b) NO RIO GUAMÁ.

entre correntes de enchente e vazante (Fig. 32).

4.2 - A DISTRIBUIÇÃO DAS CORRENTES NA ÁREA PORTUÁRIA

O Porto de Belém situa-se ao longo da margem direita da Baía de Guajará, a jusante da confluência dos rios Guajará - Açú e Guamá. Sua localização protege - o das fortes correntes de enchente e vazante, acarretando, no entanto, a deposição constante de grandes quantidades dos materiais transportados Portobrás (1980b).

As variações da maré e a descarga de água doce forçam a circulação das águas de montante por sobre a margem esquerda da Baía de Guajará, estabelecendo profundidades maiores e erodindo o litoral da Ilha das Onças, Santos (1982)

Segundo Pinheiro (1987), as velocidades máximas, médias, implantam-se durante as marés de sizígia, na enchente, à 1 metro de profundidade, enquanto que as marés mais baixas ocorrem nas marés de quadratura, nas vazantes, à mesma profundidade. As velocidades máximas absolutas (1,74 m/seg) ocorrem durante as vazantes, nas marés de sizígia, na seção S1, e, durante as enchentes, na seção S2 (2,10 m/seg) (Fig. 33). Nas marés de sizígia as correntes atingem velocidades máximas cerca de 3 horas após a estofa de baixa - mar e 3 horas e 30 minutos após a estofa de preamar, enquanto que nas marés de quadratura as correntes têm velocidades máximas aproximadamente 4 horas após a estofa de preamar e 5 horas após a estofa de baixa - mar (Fig.34).

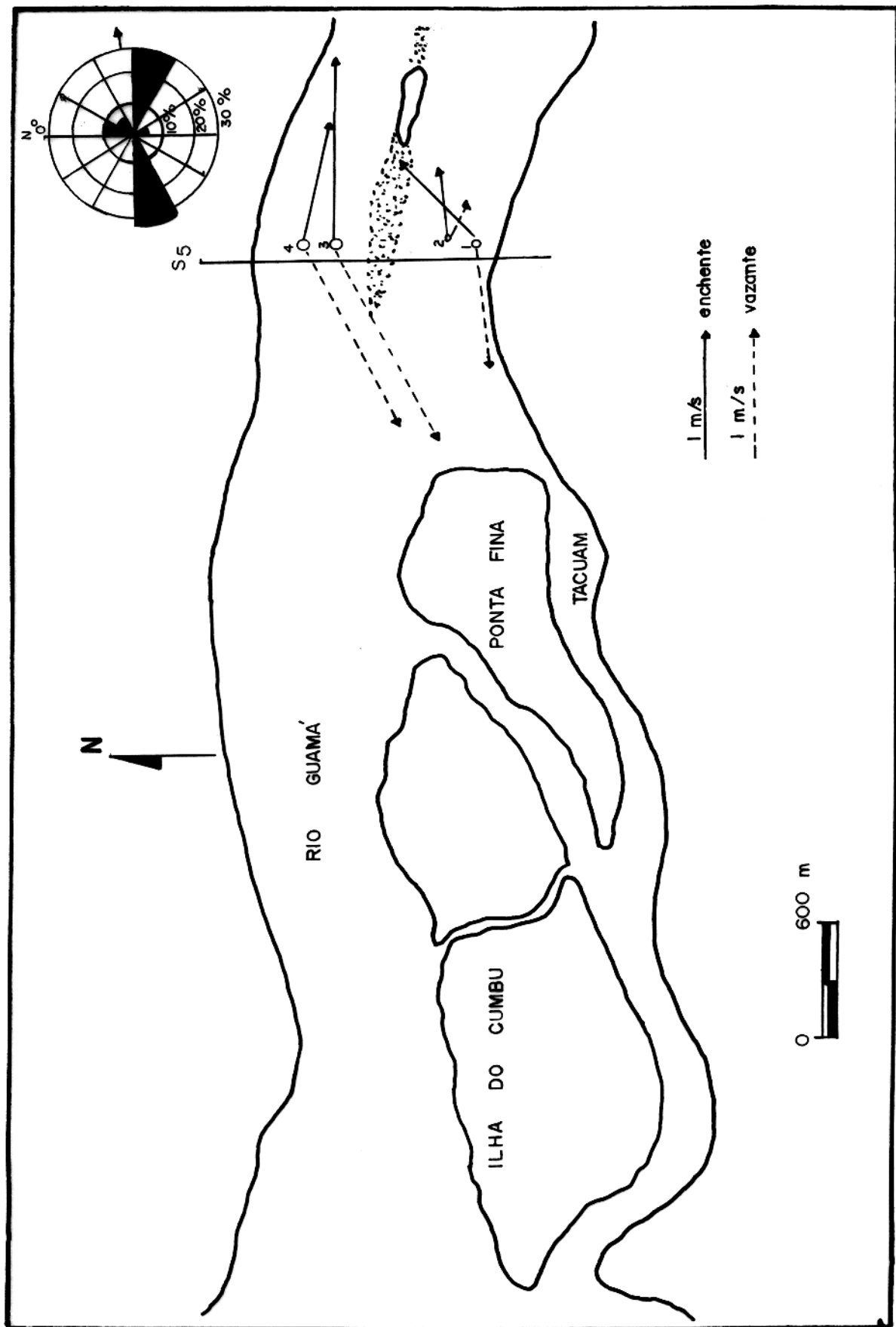


FIG. 32 : DISTRIBUIÇÃO DAS CORRENTES DE SUPERFÍCIE NO RIO GUAMÁ, SEGUNDO DADOS OBTIDOS PELA PORTOBRÁS (1980 - b), PARA MARÉS DE QUADRATURA.

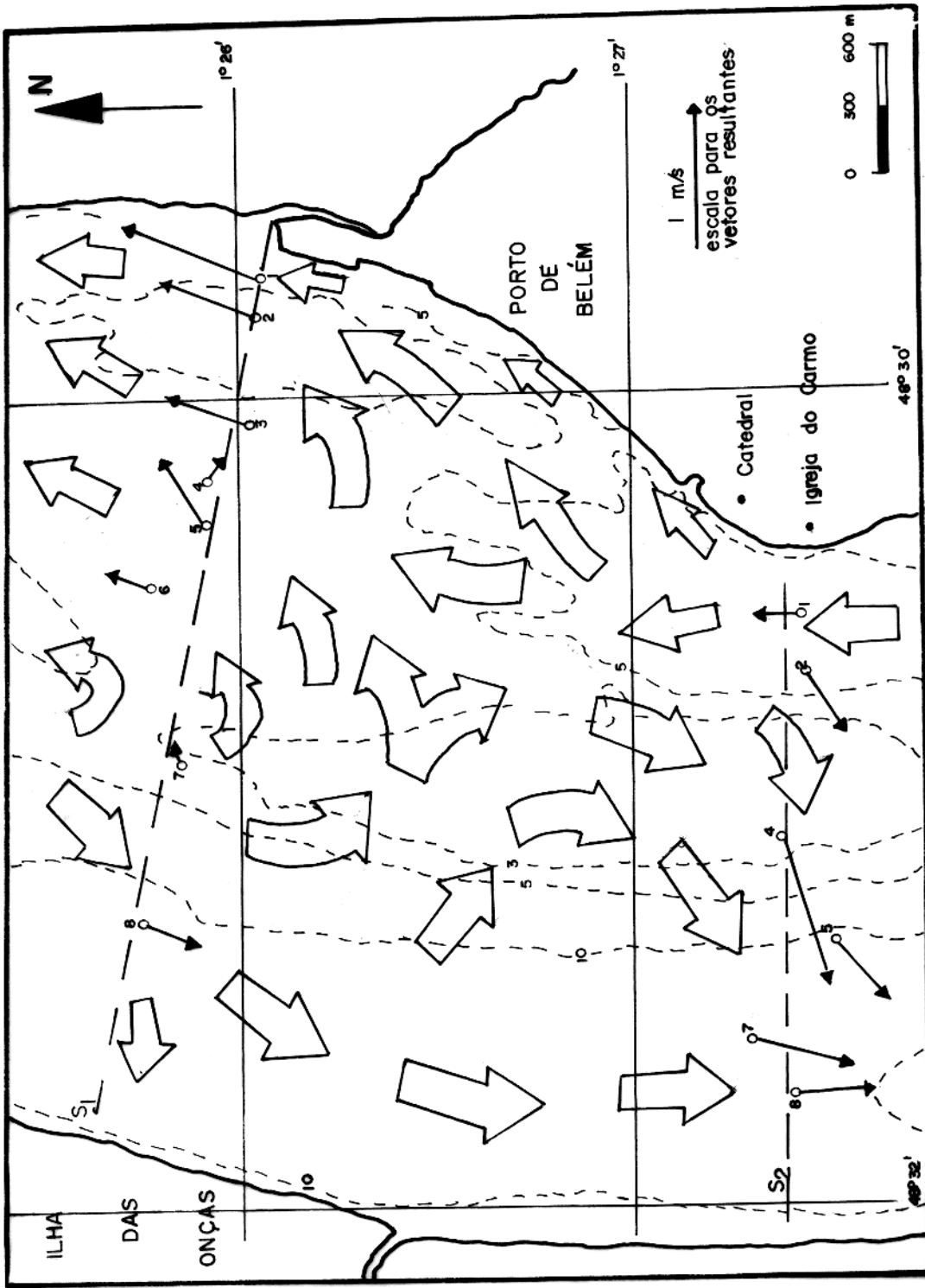


FIG. 33 : QUADRO DA DINÂMICA DAS CORRENTES DE MARÉ DE SIZÍGIA, EM SUPERFÍCIE, NA BAIÁ DE GUAJARÁ, APROX. 2 HS APÓS A ESTOFA DE PREAMAR.

FONTE: PINHEIRO (1987)

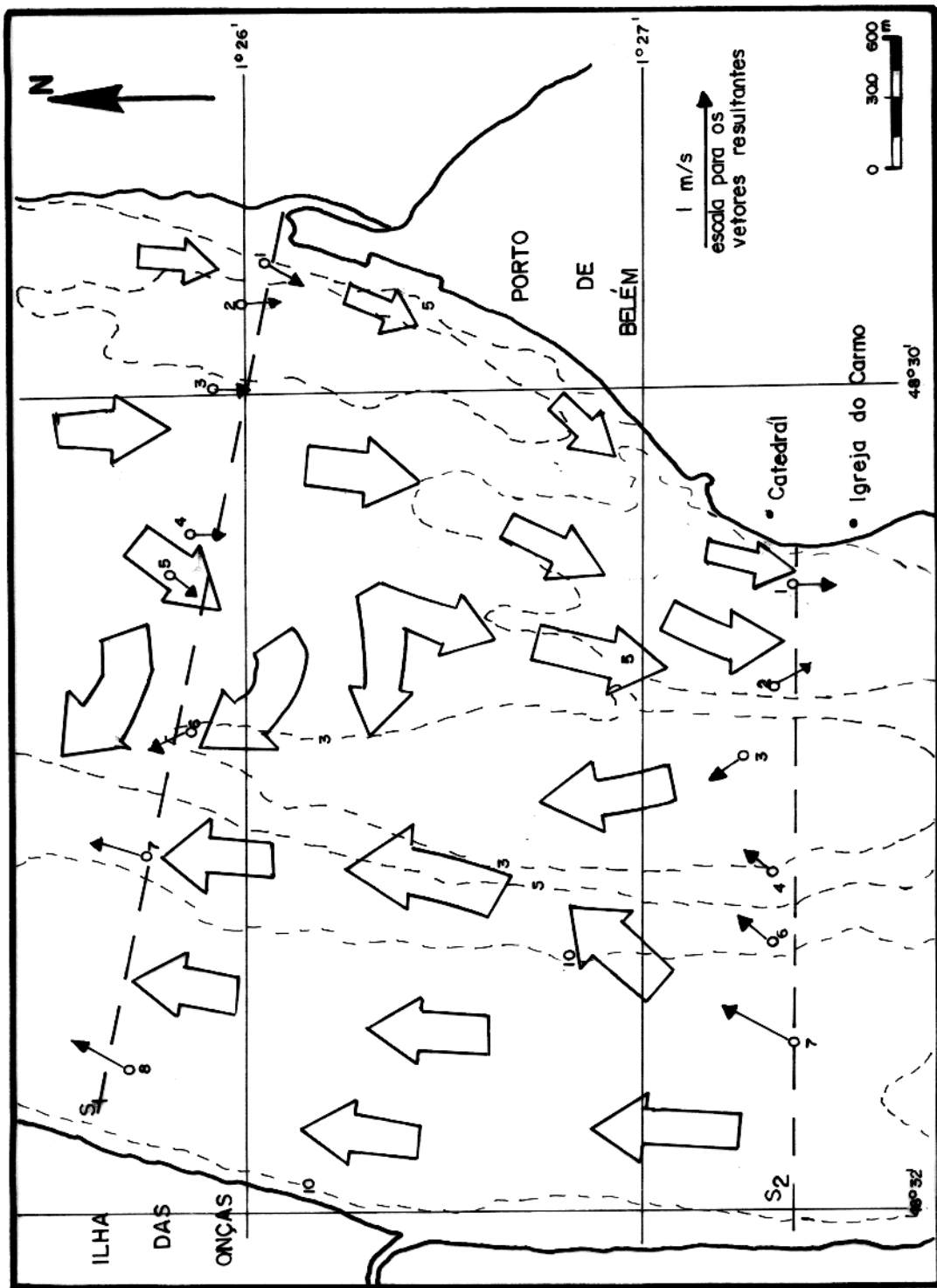


FIG. 34: QUADRO DA DINÂMICA DAS CORRENTES DE MARÉ DE QUADRATURA, EM SUPERFÍCIE, NA BAIÁ DO GUAJARÁ, APROXIMADAMENTE 1 h A 1 h E 30 min APÓS A ESTOFA DE BAIXA-MAR. FONTE: PINHEIRO (1987).

Considerando a morfologia da Baía de Guajará, verifica - se que durante as marés de sizígia as velocidades máximas de enchente ocorrem primeiro nos canais do Meio e do Porto, cerca de 2 horas após a baixa - mar, e, posteriormente, cerca de 3 a 4 horas após a baixa - mar no Canal da Ilha das Onças, (Pinheiro 1987). Ainda segundo Pinheiro (op. cit), temos que:

No Canal do Porto os fluxos de vazante ocorrem antes que nos demais, mas, somente depois de 30 a 90 minutos atingem velocidades máximas na seção S1.

Na altura da seção S2 as correntes de vazante ocorrem nos canais do Porto e Ilha das Onças quase concomitantemente, sendo que alcançam velocidades máximas primeiramente no Canal do Porto.

Durante as vazantes, as velocidades maiores em S1 ocorrem mais rapidamente no Canal da Ilha das Onças, 3 horas após a preamar, enquanto que nos canais do Meio e do Porto as máximas ocorrem 3 horas e 30 minutos a 4 horas e 30 minutos após a baixa - mar.

4.3 - AS CORRENTES DE FUNDO NO ESTUÁRIO GUAJARÁ

A análise batimétrica e sonográfica demonstra a importância das correntes de fundo atuando no desenvolvimento das feições morfológicas do leito estuarino.

Neste trabalho foi feita uma reinterpretação dos dados coletados por Bernardi et al. (1988) e pela Portobrás (1980b), tanto em marés de sizígia quanto de quadratura, nas seções S1,

S2 e S5.

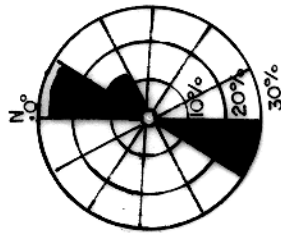
Nas seções S1 e S2, na Baía do Guajará, as velocidades máximas de correntes à 1m do leito implantam-se durante as enchentes de sizígia (Fig. 35), enquanto menores velocidades ocorrem nas vazantes de quadratura (Fig. 36). Durante as enchentes de sizígia, as velocidades máximas das correntes de fundo alcançam 1.72 m/seg. no ponto 05 da seção S2 e 1.62 m/seg. no ponto 07 da Seção S1 (Fig. 35). revelando um comportamento semelhante ao das correntes de superfície (tabelas 3 e 5) com uma defazagem de apenas 2 hs. e 30 min. para a implantação das correntes de fundo (tabelas 2 e 4).

Na seção S5, localizada no Rio Guamá, as correntes à 1m de seu leito mostram que a melhor definição da alternância entre enchente e vazante ocorre nas marés de sizígia (Figs. 37 e 38), ao contrário do comportamento apresentado pelas correntes de superfície, onde, nas marés de sizígia, as correntes predominantes são nitidamente de vazante.

Ponto	SIZÍGIA		QUADRATURA	
	Enchente/Vazante		Enchente/vazante	
01	0.88	0.62	0.64	0.54
02	0.66	0.65	0.63	0.76
03	1.25	1.00	0.74	0.58
04	1.00	0.52	0.99	0.60
05	1.38	0.94	0.75	0.58
06	1.25	0.46	0.56	0.49
07	1.62	0.68	1.10	0.90
08	1.08	1.04	0.80	0.80
Média	1.14	0.74	0.71	0.66

Tabela 02 - Valores médios para velocidades de correntes de fundo, na Seção S1.

SEÇÃO 1



SEÇÃO 2

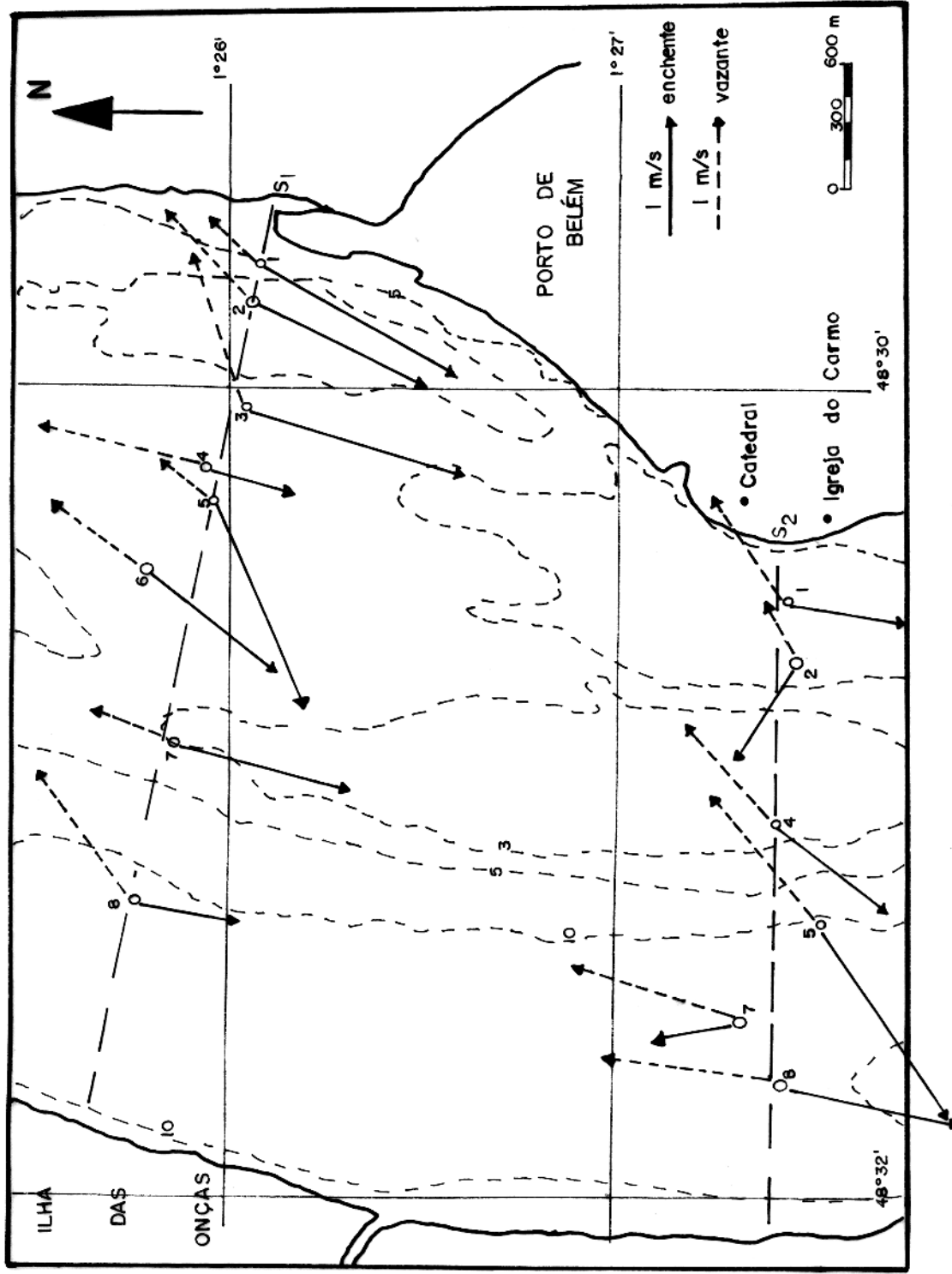
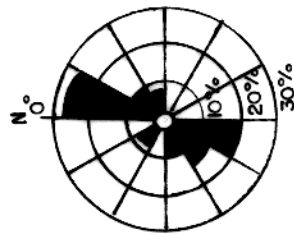


FIG. 35 : QUADRO DA IMPLATAÇÃO DAS CORRENTES DE MARÉ DE SIZÍGIA, À 1 m DO LEITO, NAS SEÇÕES S₁ E S₂.

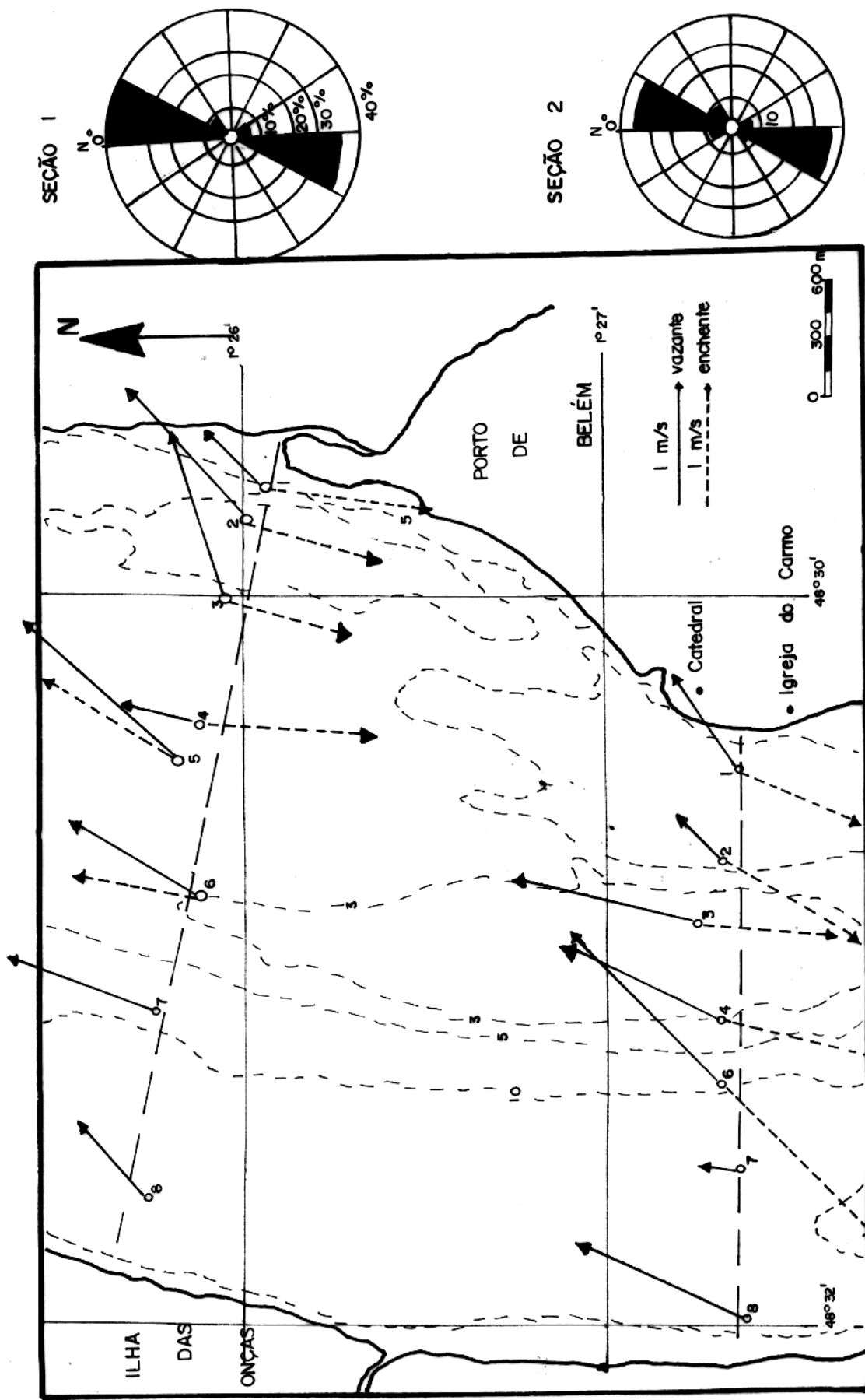


FIG. 36: QUADRO DA DINÂMICA DAS CORRENTES DE MARÉ DE QUADRATURA, À 1 m DO LEITO, NAS SEÇÕES S₁ E S₂.

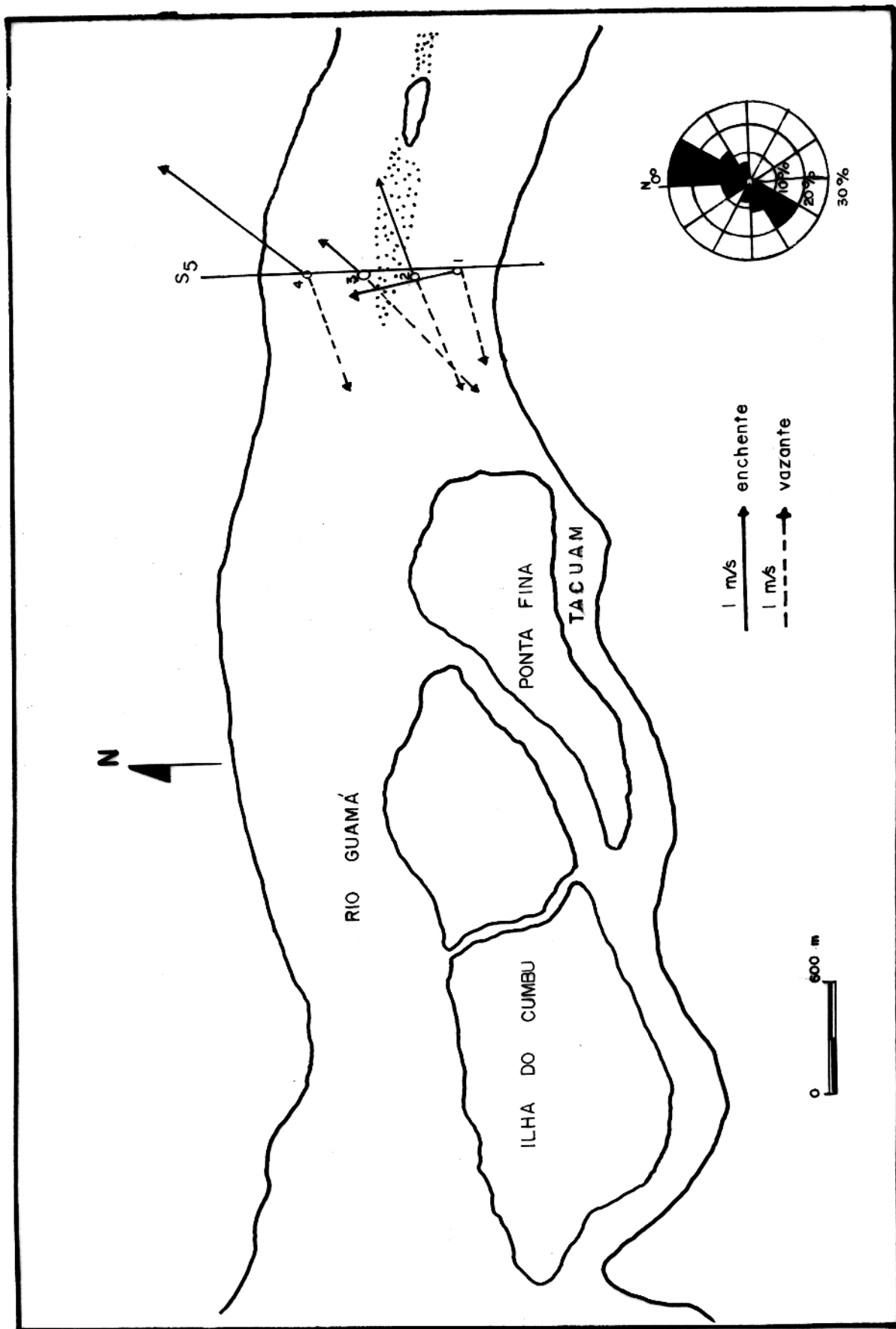


FIG. 37 : QUADRO DA DINÂMICA DAS CORRENTES DE MARÉS DE SIZÍGIA, PARA A SEÇÃO S5 NO RIO GUAMÁ, A 1 m DO LEITO. 68

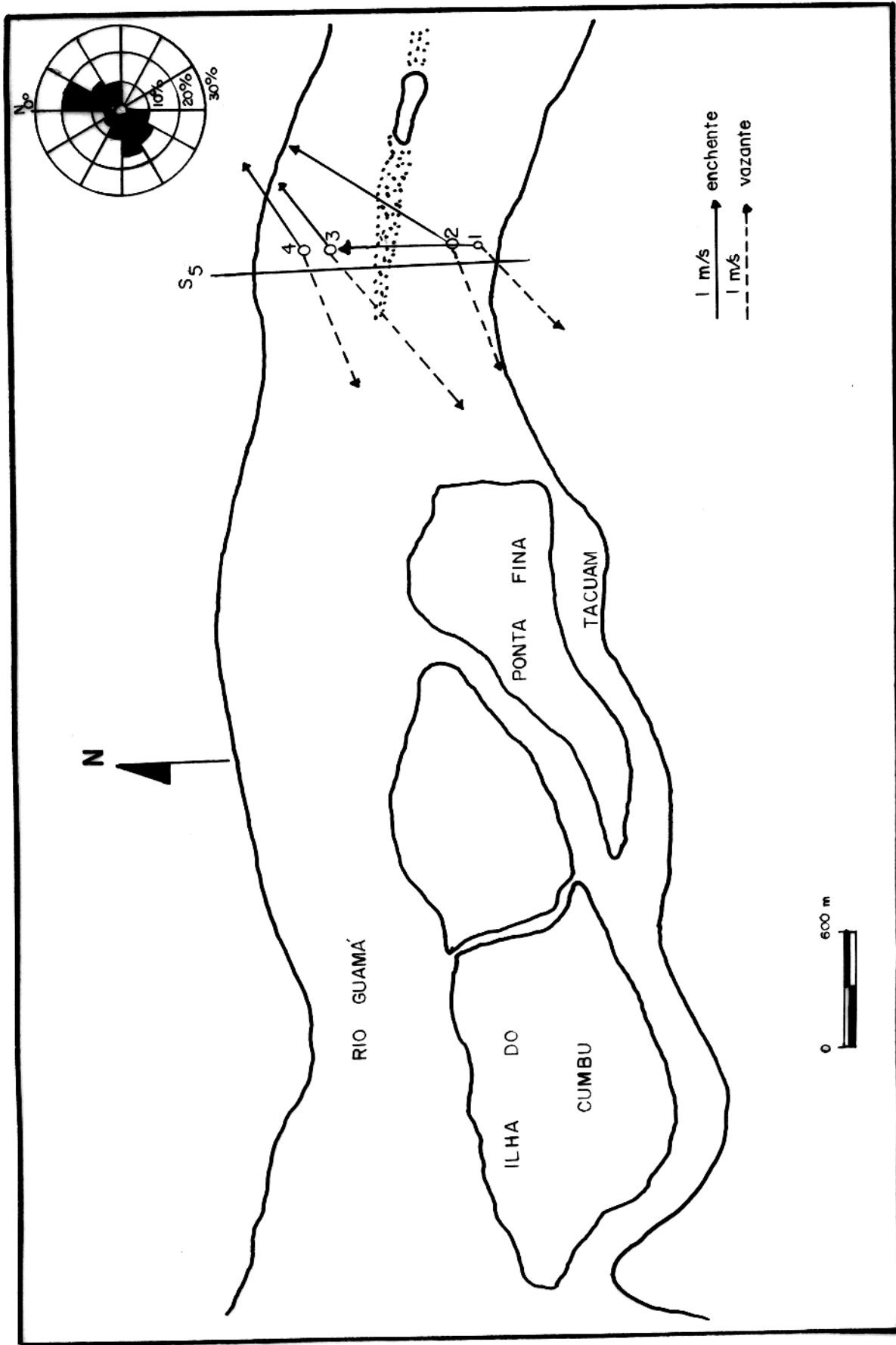


FIG. 38 : QUADRO DA DINÂMICA DAS CORRENTES DE MARÉ DE QUADRATURA, À 1m DO LEITO, PARA A SEÇÃO S5, NO RIO GUAMÁ. 69

Ponto	SIZÍGIA		QUADRATURA	
	Enchente/Vazante		Enchente/Vazante	
01	1.05	0.75	0.70	0.64
02	0.79	0.77	0.67	0.82
03	1.49	1.25	0.87	0.78
04	1.10	0.70	1.41	0.84
05	1.68	1.74	0.97	0.74
06	1.57	1.10	0.73	0.63
07	1.67	1.00	1.18	1.15
08	1.50	1.62	1.07	1.10
Média	1.35	1.12	0.95	0.83

Tabela 03 - Valores médios para velocidades de correntes de superfície na Seção S1.

Ponto	SIZÍGIA		QUADRATURA	
	Enchente/Vazante		Enchente/Vazante	
01	1.08	0.72	1.15	0.79
02	1.68	0.98	1.35	0.98
03	1.72	1.37	0.70	0.80
04	1.59	1.42	0.64	0.55
05	1.32	1.07	-	0.65
06	0.95	1.00	0.89	1.22
07	-	-	1.09	0.86
Média	1.39	1.09	0.97	0.80

Tabela 04 - Valores médios para velocidades de correntes de fundo na Seção S2.

Ponto	SIZÍGIA		QUADRATURA	
	Enchente/Vazante		Enchente/Vazante	
01	1.78	1.19	1.45	1.20
02	1.96	1.40	1.45	1.15
03	-	-	0.83	0.88
04	2.10	1.80	0.84	0.75
05	1.86	1.78	-	-
06	-	-	0.98	0.92
07	1.73	1.25	1.30	1.60
08	1.25	1.18	1.46	1.18
Média	1.78	1.43	1.19	1.10

Tabela 05 - Valores médios para velocidades de correntes de superfície na Seção S2.

5 - AS FORMAS DE FUNDO NO ESTUÁRIO GUAJARÁ

No decorrer da última década, o estudo intensivo das feições sedimentares de fundo nos diferentes ambientes aquosos, marinhos e continentais, promoveram um aumento considerável do conhecimento e compreensão dos tipos e escalas da morfologia sedimentar. Segundo Flood (1983), isto é especialmente verdadeiro em áreas onde as correntes de fundo são fortes e persistentes.

A região costeira do Pará, segundo Ponçano (1985), possui cotas máximas na sua parte emersa em torno de 50m, sendo por isso considerada baixa, tendo na região a nordeste do Rio Pará características progradantes, mostradas por depósitos de lama terrígena oriundas do regime tidal. Segundo esse autor, grandes porções da costa apresentam-se extremamente recortadas com pontas e reentrâncias nas desembocaduras dos rios, as quais são relativamente largas quando comparadas às extensões dos mesmos, evidenciando assim, entalhes prévios e caráter atual de afogamento. Com relação às feições morfológicas submersas, destacam-se os bancos e cordões de areia, além dos canais que os separam. As "megaripples" localmente encontradas parecem caracterizar, segundo esse autor, grandes estuários onde as velocidades das correntes de marés são elevadas.

No Estuário Guajará puderam ser observadas algumas formas de fundo, tais como sulcos sedimentares ("furrows"), "sand waves", dunas resultantes do retrabalhamento de material alóctone depositado no Canal da Ilha das Onças, lineações de

correntes e megaripples.

Os sulcos sedimentares ("furrows") são feições longitudinais construídas ao longo dos canais cujo fundo é constituído preferencialmente por argilas silticas pertencentes à fácies Lamosa.

As "sand waves", observadas na porção norte do Canal da Ilha das Onças, têm o sotavento voltado para norte, na direção da foz do rio. Apresentam cristas diferenciadas e possuem megaripples distribuídos à barlavento. As lineações de correntes são representadas por estreitas ondulações e depressões paralelas, principalmente nos sedimentos arenosos.

Além destas feições, foram observadas, ainda no Canal da Ilha das Onças, "dunas" com forma aproximada de estrela, resultantes da ação das correntes de fundo sobre o material dragado na área portuária de Belém e ali depositado.

3.1 - A SONOGRAFIA E A DISTRIBUIÇÃO DAS FÁCIES TEXTURAS

O emprego do "Side Scan Sonar" revelou feições morfológicas de fundo no Estuário Guajará diferenciadas e características para os sedimentos incluídos nas fácies Lamosa e Arenosa definidas por Pinheiro (1987) nesta mesma área (Fig. 39). O estabelecimento das diferenças foi possível através da análise sonográfica que por meio da resposta do fundo ao sinal emitido.

Quando um pulso de saída emitido pelo sonar encontra um obstáculo, seja a superfície da água, fundo ou uma rocha, parte do som é refletido pela interfície. Alguns fatores tais como a

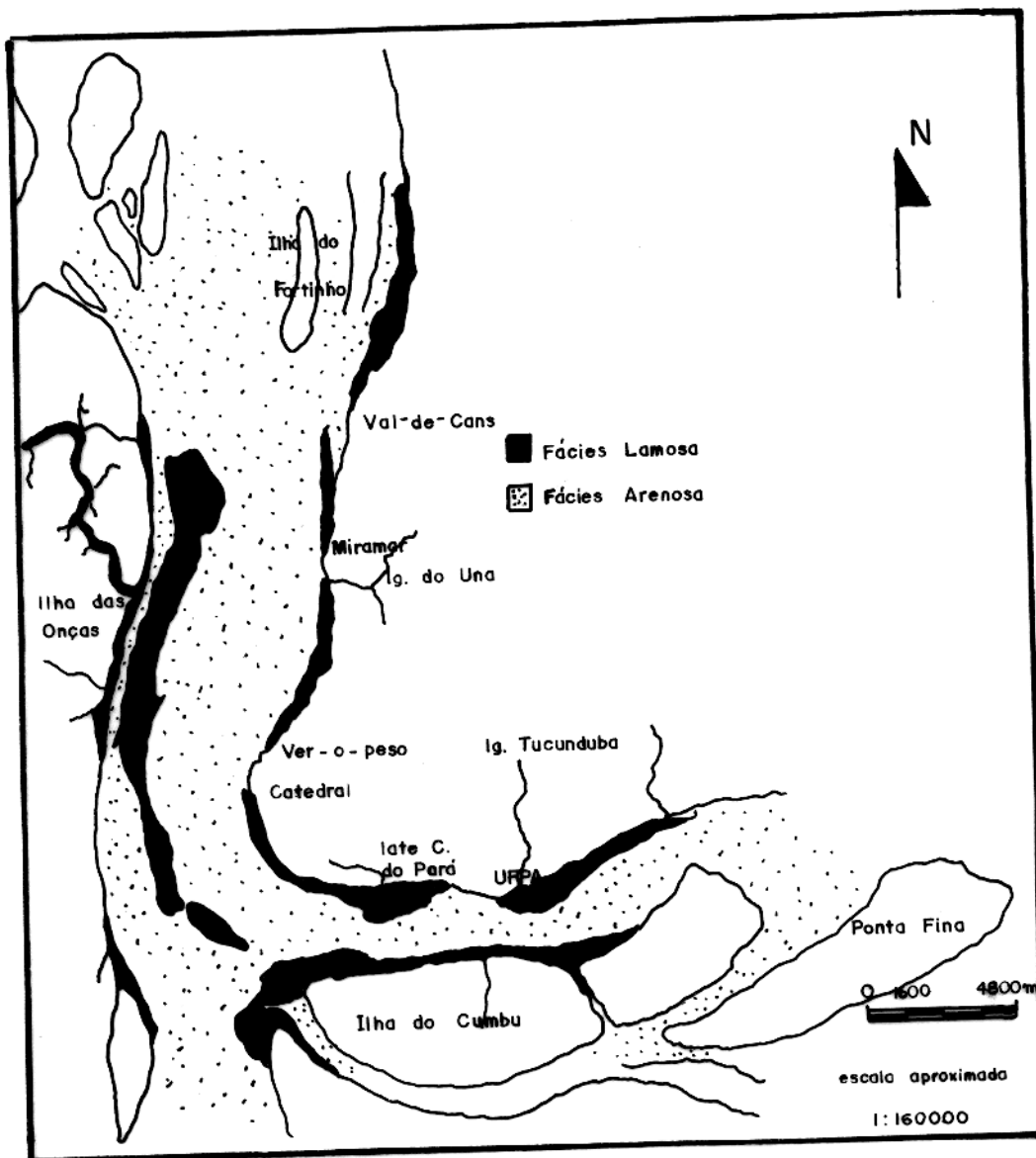


FIG. 39: MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DAS FÁCIES LAMOSA E ARENOSA. MODIFICADA DE PINHEIRO (1987).

orientação do obstáculo no fundo e o tipo de material encontrado pelo sinal irão determinar a quantidade de som incidente que retornará ao sonar, após a absorção e o espalhamento do mesmo (Souza, 1988). A quantidade de energia refletida depende do tipo de material sobre o qual o som incidirá, sendo que parte do som incidente será refletido e outra porção será transmitida ao novo meio. A quantidade relativa será determinada pelas características acústicas do material.

Segundo Souza (1988), superfícies refletoras rugosas ou ásperas produzirão ecos bastante fortes no registro sonográfico, ao contrário de superfícies lisas que atuam como espelhos e que facilmente podem fazer com que o som não retorne ao sonar, tornando-o uma ferramenta pouco útil. Felizmente existe sempre alguma rugosidade das partículas que compõem o fundo, sejam elas seixos, areias, siltes ou argilas. As rugosidades atuam no sentido de dispersar ou espalhar em todas as direções o som que chega até ela. Apenas uma parte do som emitido pelo sonar retornará até ele por reverberação, onde será detectado e registrado (Fig. 40).

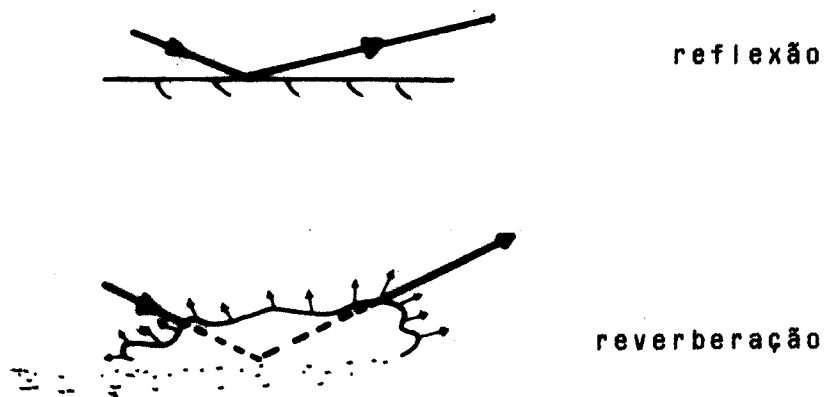


Figura . 40 - As rugosidades do fundo atuam no espalhamento, em todas as direções, do som emitido pelo sonar.

Quanto mais áspero o fundo mais forte será a reverberação, enquanto que, quanto mais baixo o ângulo de incidência mais fraco será o sinal. Para relêvos de pouca magnitude, quase lisos, a aspereza do fundo depende do tamanho do grão do material. Assim, as areias serão mais ásperas que os siltes, os quais por sua vez, serão mais ásperos que as argilas. O "Side Scan Sonar" detectará essas diferenças pelo relativo escurecimento com o qual a imagem será registrada.

5.2 - AS FORMAS DE FUNDO DA FÁCIES LAMOSA

Segundo Pinheiro (1987), a Fácies Lamosa compõe-se essencialmente de sedimentos sílticos (mais de 75 % de silte) é predominante no Rio Guamá, especialmente próximo à desembocadura do Igarapé Tucunduba, nas cercanias do Furo da Paciência e também na margem direita da Baía de Guajará. Os sedimentos mistos ocorrem somente em frente ao Iate Clube do Pará e no extremo oeste da Ilha do Cumbu, ambos os locais no Rio Guamá. As argilas ocorrem distribuídas ao longo das margens estuarinas, em geral como depósitos de praias lamosas expostas durante a baixa-mar. Os sedimentos com mais de 75 % de argila podem ser encontrados no talvegue do Rio Guamá e no Canal da Ilha da Onças, possivelmente provenientes de camadas semi-consolidadas do substrato estuarino e erodidos pelas fortes correntes de vazantes (Figs. 39 e 41).

A mais proeminente feição morfológica na Fácies Lamosa é representada pelos sulcos sedimentares. Referidos sulcos são

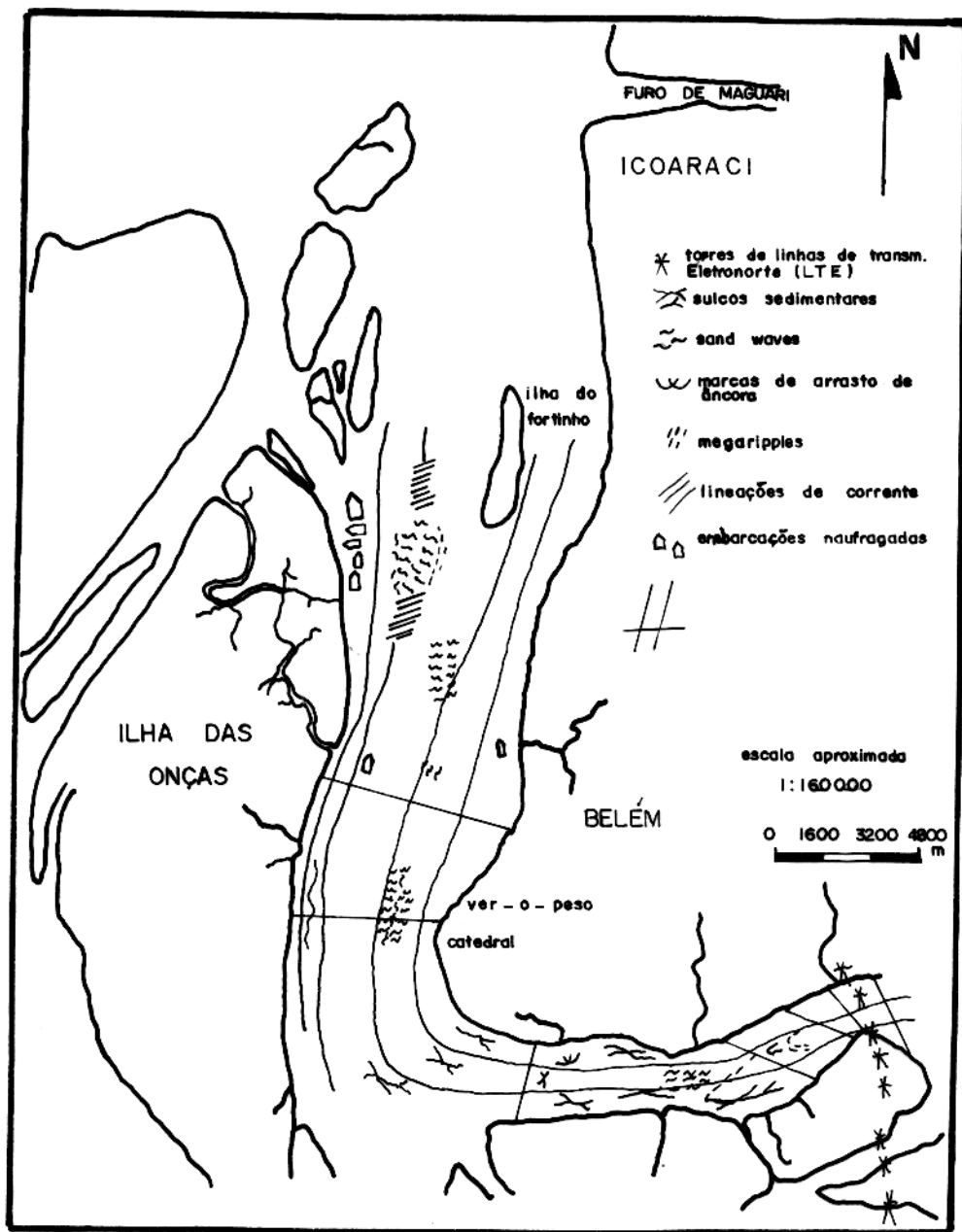


FIG. 41: MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DAS FORMAS DE FUNDO NA BAÍA DO GUAJARÁ.

feições longitudinais que ocorrem em sedimentos de granulação fina e coesa em vários tipos de ambientes, desde mar profundo até estuários e grandes lagos.

Segundo Flood (1983), as correntes estuarinas responsáveis pela formação dos sulcos devem ter velocidades superiores a 0.5 m/seg.. Podendo desenvolverem-se em vários tipos de sedimentos, eles sugerem que o seu padrão morfológico é controlado mais pelo fluxo do fluido que pela característica do sedimento.

Em função da hidrodinâmica reinante no Estuário Guajará foi verificado que ocorre um padrão básico de junção de sulcos sedimentares separados, que unem-se para formar apenas uma feição na direção predominante da corrente. Outros sulcos mostram junções que se separam em direções opostas. Nestes locais, as correntes de marés tem componentes tidais importantes e os fluxos têm a capacidade de formar sulcos quando a água flui alternadamente em duas direções (Figs. 42, 43 e 44).

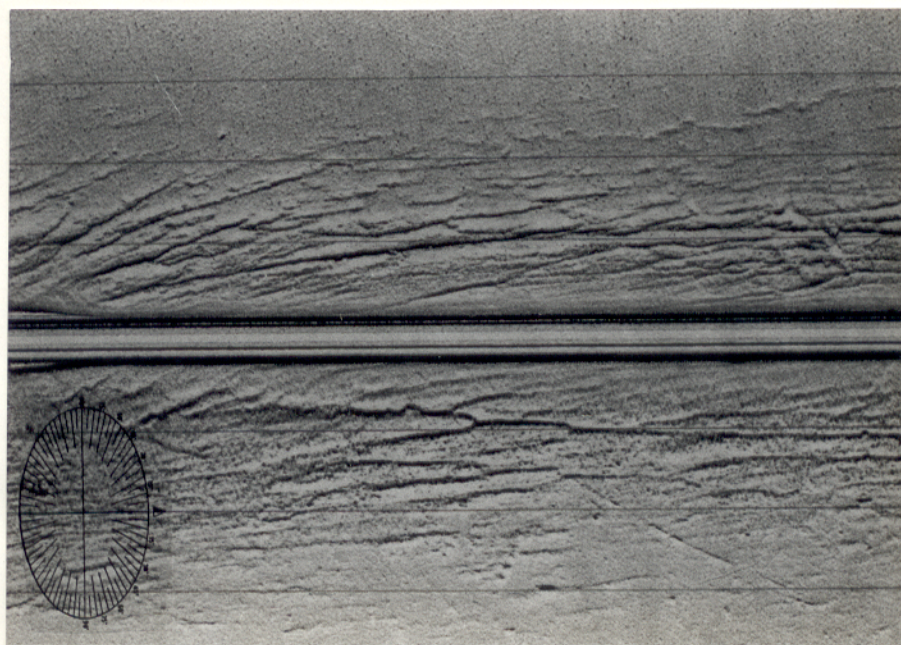


Fig.42: Sulcos bifurcados mostrando direções alternadas da corrente.

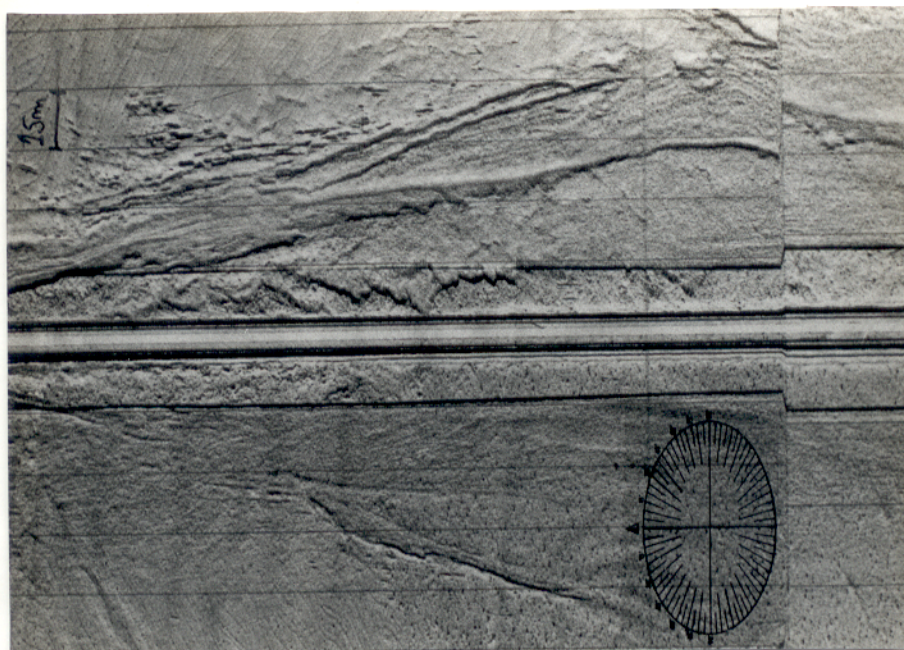


FIG.43 : Sulcos sedimentares registrados no leito do Canal Principal , próximo a Ilha do Cumbú e feições erosivas semelhantes a dentes de serra .Range = 100m.

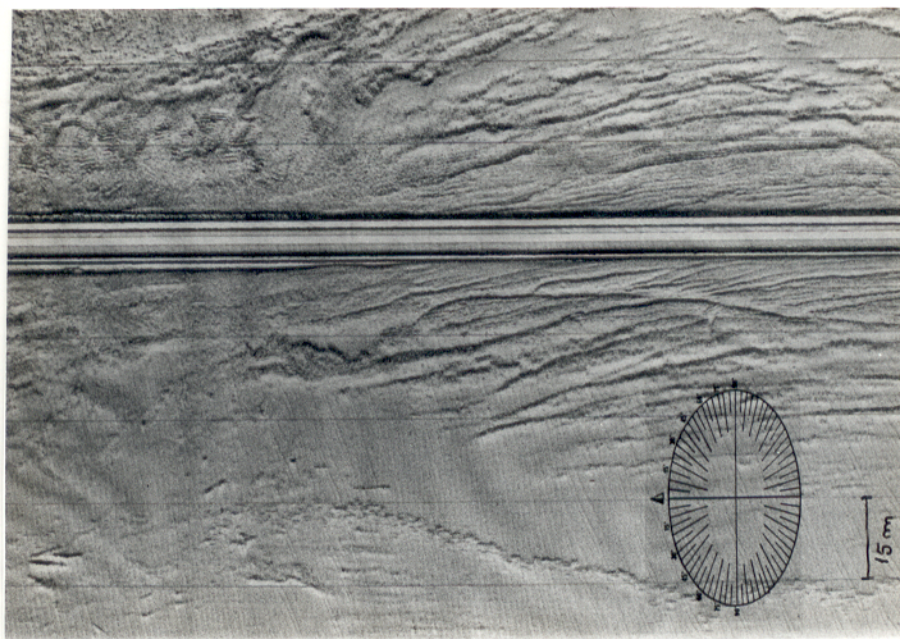


FIG. 44 : Canal Principal do Rio Guamã, próximo a Ilha do Cumbú. Sulcões sedimentares bifurcados. Range = 100 m.

Os estuários são ambientes extremos para o desenvolvimento dos sulcos sedimentares, considerando que a velocidade das correntes nos mesmos varia desde 0.5m/seg até 1.0 m/seg. (Flood, 1983). Assim, as correntes de marés são confinadas pela geometria do estuário, fluindo predominantemente sobre sua feição de eixo mais longo. Seja qual for a magnitude do sulco, as direções dominantes das correntes devem variar entre sentidos opostos (Dalrimple et al., 1978)

A compreensão dos processos erosivos e deposicionais na evolução dos sulcos é muito importante no que se refere à presença dos sedimentos nestes. As amostras de calhas de sulcos estuarinos e de mar profundo mostram que os sedimentos ali presentes persistem à medida que estes evoluem, durante longos períodos de acumulação nessas áreas. Isto se comprova através de observações de sulcos soterrados e detectados acusticamente (Tuckolke, 1979), além da presença extensiva de sulcos em sedimentos estuarinos em áreas sujeitas à rápida acreção (Flood, 1981).

Com relação aos processos erosivos provocados por velocidades maiores de 0.60 m/seg., Flood (op. cit) mostra que elas podem ser fortes o bastante para erodir sedimentos em cerca de 10% do tempo de sua atuação enquanto que os sedimentos se acumulam durante os 90 % do tempo restante.

As pesquisas de Allen (1969) sugerem que a abrasão do leito pela corrente ou a erosão ao redor de partículas mais grosseiras do fundo pode ser o mecanismo inicializador dos sulcos. Flood e Hollister (1980) e Flood (1981), estudando

sulcos em ambientes de águas rasas e profundas, sugerem que os sedimentos grosseiros transportados são importantes no processo inicial de formação de sulcos em sedimentos de granulação fina.

A taxa de acumulação de sedimentos e a frequência e intensidade dos eventos erosivos podem tornar os sulcos feições apenas temporárias, dependendo de suas dimensões (Allen, 1969).

No Estuário Guajará essas feições foram encontradas distribuídas longitudinalmente ao eixo mais longo dos canais e principalmente sobre as argilas silticas da porção leste da área, próximo à Ilha do Cumbu, no Rio Guamá. A observação de sonogramas dessa área, interpretados à luz da hidrodinâmica, mostra que as direções predominantes de correntes, responsáveis pela formação dos sulcos, estão entre 240 e 270 Az nas vazantes de quadratura e à 1 metro do fundo (Fig. 38), e 210 e 240 Az nas vazantes de sizígia na mesma profundidade (Fig. 37). A bifurcação se dá provavelmente pela interação destas com as correntes praticamente opostas das enchentes, tanto de quadratura quanto de sizígia. Esta interpretação pode ser ainda reforçada pelo fato de que a distribuição das correntes de superfície na mesma área apresentam direções preferenciais entre 240 e 270 Az, (Bernardi, 1988) nas vazantes de sizígia, e entre 90 e 120 Az nas enchentes de quadratura (Figs. 35 e 36). Somente a velocidade das correntes diminui em direção ao fundo, certamente devido a interferência de outros agentes externos, tais como o vento.

Na Figura 43 o padrão de junção dos sulcos mostra a

alternância da ação das correntes. O caráter erosivo fica demonstrado pelas feições angulosas semelhantes à dentes de serra observadas no sonograma.

5.3 - AS FORMAS DE FUNDO DA FÁCIES ARENOSA

Ocupando cerca de 75% da área submersa do Estuário, compreende os sedimentos essencialmente arenosos e areno-siltosos. Os sedimentos arenosos (mais de 75% de areia) constitui os bancos e preenchem parte dos principais canais, sendo que os sedimentos areno-siltosos encontram-se dispersos por todo o eixo central do Rio Guamá e Baía de Guajará fig.39, (Pinheiro, 1987).

As formas de fundo respondem de alguma maneira à todos os fluxos que estiverem no limite da sua capacidade de transporte de sedimentos (Rubin & McCulloch, 1979). No entanto, no caso de mudanças nas condições (velocidade e direção) das correntes, deve existir sempre um espaço de tempo para que elas se implantem e alcancem um novo equilíbrio. Em função disso, torna-se difícil estabelecer uma condição hidrodinâmica específica, responsável pela construção das formas de fundo encontradas na Fácies Arenosa do Estuário Guajará, especialmente considerando o ciclo da maré semi-diurna ali presente. Contudo, é bastante razoável considerar-se que as condições efetivas para a criação e manutenção das formas de fundo seja o fluxo dominante em pelo menos metade do ciclo da maré.

O Canal da Ilha das Onças, definido pela Portobrás (1980a) como sendo um canal nitidamente de vazante (tanto nas marés de

sizígia quanto nas de quadratura), é a feição morfológica mais importante estabelecida na Fácies Arenosa. Neste canal, devido a sua profundidade (até 19 m), as velocidades das correntes crescem e decrescem em curtos intervalos de tempo, sendo que a duração das correntes de vazantes ultrapassa em pouco mais de 2 horas o tempo de atuação das enchentes, Portobrás, 1980b).

Os sonogramas obtidos nessa área revelaram um campo de "sand waves" de forma aproximadamente elíptica, com extensão de cerca de 400 m e largura aproximada de 185 m. Referidas "sand waves" têm comprimento de onda médio de cerca de 90 m e suas inclinações mais acentuadas (sotavento) voltam-se para a foz do rio, confirmando a hipótese de que seu desenvolvimento se dá predominantemente com as correntes de vazante reforçadas pelo fluxo fluvial. Apesar disso, algumas diferenças podem ser notadas na forma das cristas, considerando a posição que ocupam no campo. As "sand waves" localizadas nas extremidades norte e sul têm cristas aproximadamente retilíneas, enquanto que as do restante do campo têm cristas sinuosas (Fig. 45). A altura média dos "sand waves" fica entre 0,65 e 1,35 m, e possuem "megaripples" que se desenvolvem lateralmente ao barlavento das cristas principais e nas porções lisas entre as "sand waves". Acredita-se que estas feições sejam consequência de fluxos secundários, oblíquos à direção da corrente principal.

Outra feição importante observada e associada também ao campo de "sand waves" foram as lineações de corrente com direção aproximada NE-SW (Fig. 46). Cabe ressaltar que a denominação "lineações de corrente" têm um sentido descritivo e não

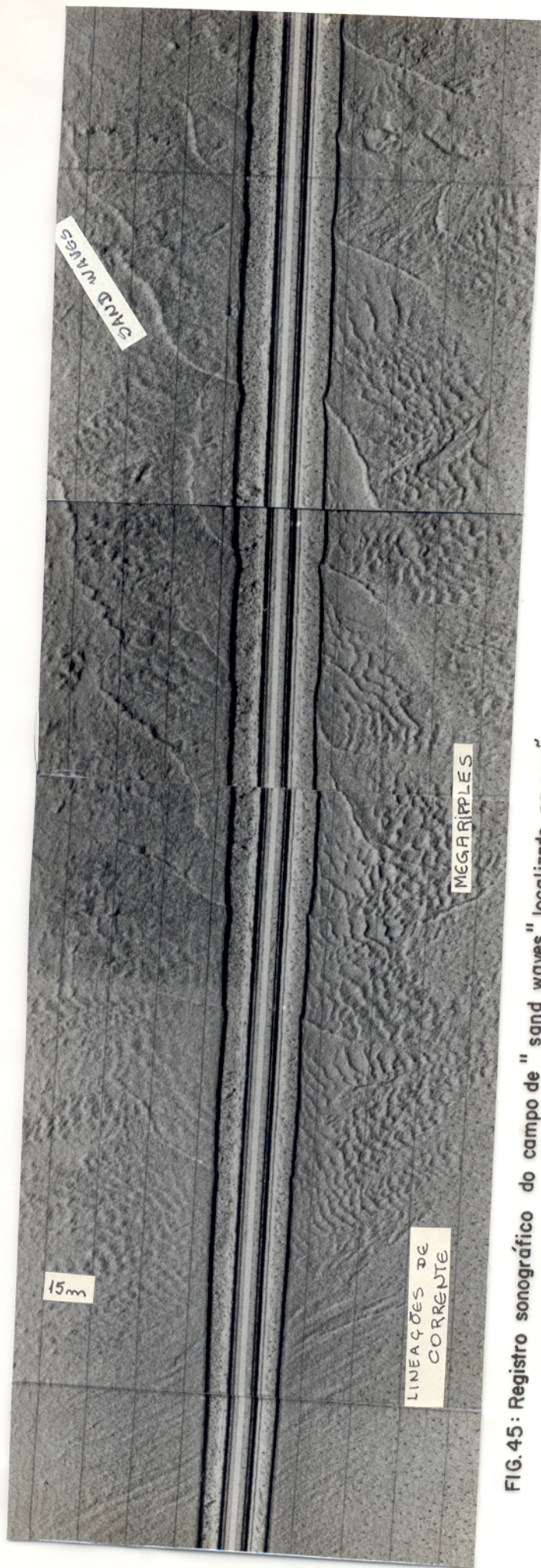


FIG. 45: Registro sonográfico do campo de "sand waves" localizado na porção norte do Canal da Ilha das Onças. O campo possui extensão de cerca de 400m e largura de 185m. O comprimento de onda médio das "sand waves" é 90m. Os sotaventos estão voltados para a foz do rio e a altura das mesmas varia de 0,65 a 1,35 m.

genético, apesar de ter sido encontrado apenas em locais onde a Fácies Arenosa predomina (Fig. 47). Consistem numa série de pequenos cordões e depressões paralelas de relevo baixo, e normalmente plano, segundo a definição de Swift & Freeland, (1978).

Segundo Suglio & Bigarella, (1979), as lineações de corrente registram repetidas agradações acompanhadas de deslocamento de grãos para a jusante por sobre a interfície sedimento-água, a qual deve ser essencialmente plana. Este mesmo autor refere-se ao fato de estas lineações podem ser formadas somente em condições de regime de fluxo superior.

As lineações de corrente têm distribuição razoável na área estudada, sendo no entanto melhor definidas nos limites do campo de "sand waves" (Fig. 45) e nos sedimentos da Fácies Arenosa presente no Rio Guamá .

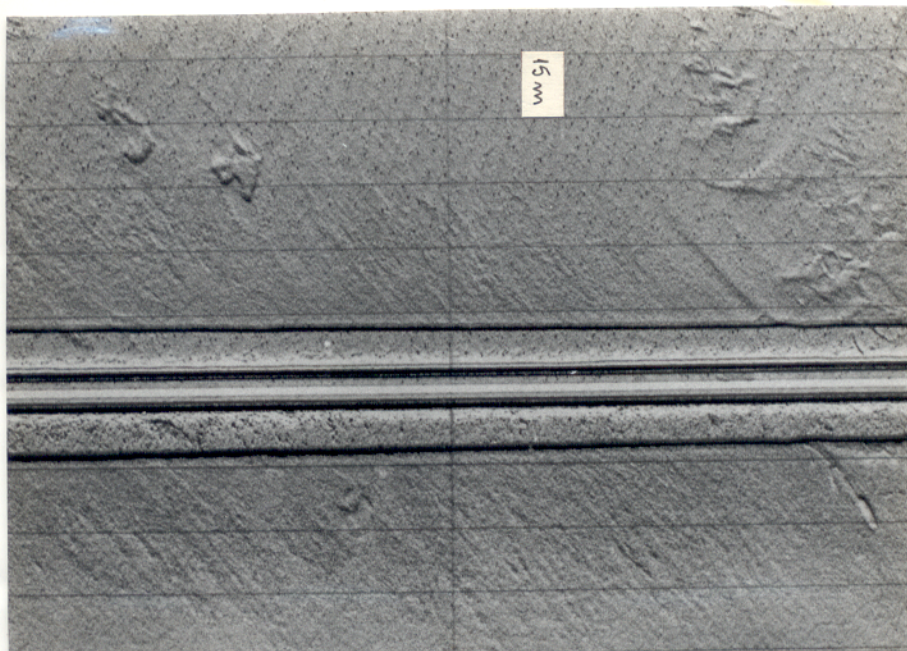


FIG.46 : Lineações de corrente associadas ao campo de "sand waves" no Canal da Ilha das Onças . Range = 100 m.

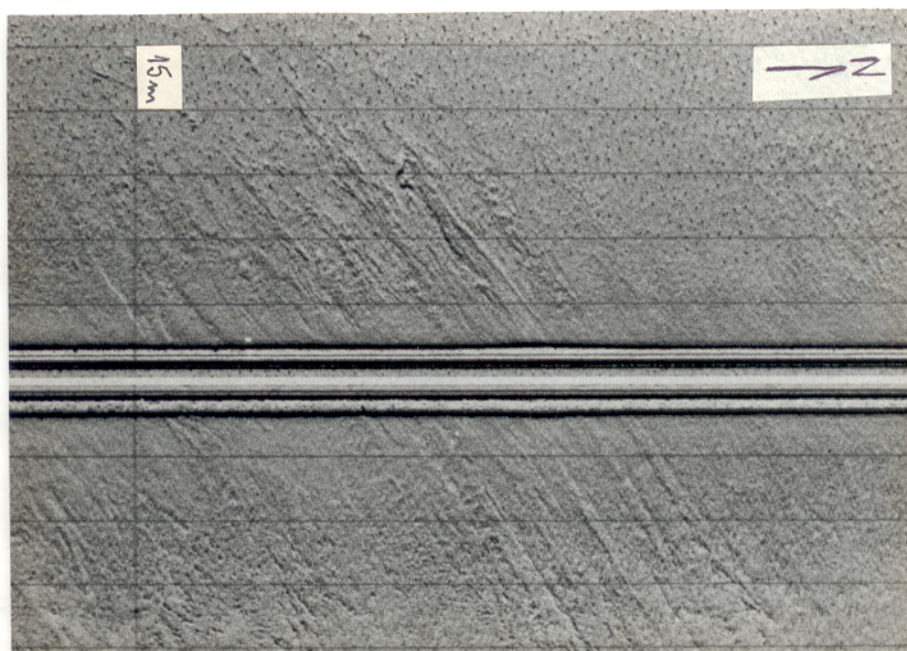


FIG.47 : Lineações de corrente representadas por pequenos cordões e depressões. Canal da Ilha das Onças. Range: 100 m.

6 - FEIÇÕES ANTROPOGÊNICAS

6.1 - Princípios Gerais

Mash, 1864; Sherlock, 1922 e Thomaz, 1956 (in: Coutinho, 1988) foram os primeiros cientistas a reconhecer o homem como agente modificador da geomorfologia e do meio ambiente.

O princípio do Uniformitarismo, defendido por James Hutton e outros, não oferece, neste caso, soluções fáceis à reconciliação entre presente e passado. Sabemos que a distribuição dos processos geomorfológicos e das zonas climatogênicas mudaram desde o passado e que, também, particularmente como resultado da influência do homem, a taxa de operação dos processos atuais não são as mesmas de fenômenos semelhantes operados anteriormente.

Sherlock, 1922 (in: Coutinho, op.cit) mostrou que o Uniformitarismo estava sendo abandonado e dirigiu sua atenção à influência humana. A partir de 1960 o homem foi reconhecido como agente morfológico e dada grande atenção à ele.

Fels (1965) propôs o termo antropogeomorfologia ao estudo dos efeitos da ação do homem sobre a geomorfologia e relacionou três categorias para esses efeitos:

1) A ação humana direta, proposital, inclui modificações positivas ou negativas da paisagem que o homem pode produzir, por exemplo, durante a construção de edificações:

2) A acidental, mas de efeito direto, que inclui as modificações na superfície, as quais porvém indiretamente das indústrias extrativas, tais como: a abertura de lavras a céu

aberto ou a subsidência da superfície a partir do desabamento de minas subterrâneas:

3) A influência indireta da ação do homem está expressa nas numerosas formas através das quais o homem tem alterado a taxa de operação dos processos geomorfológicos em uma área e, em muitos casos, afetado a importância relativa destes processos naturais.

A importância do estudo do efeito da ação humana na modificação da paisagem será melhor compreendida quando pudermos prever a evolução dos processos e anteciparmos problemas, legando métodos de controle potencial das situações futuras.

Vernadsky, 1945 (In: Coutinho, 1986) propôs o uso do termo Noosfera para uma nova época geológica inaugurada pelo homem e, embora essa sugestão tenha nascido primeiramente para os efeitos sobre a vegetação, é igualmente justificável no estudo de rios, bacias e sistemas de drenagem.

Poucas regiões no mundo não são afetadas pelo homem. Em muitas regiões este elemento exerce importante controle sobre o padrão espacial dos processos fluviais. Isto se dá principalmente na megaescala onde, por exemplo, contrastes na prática agrícola ou entre áreas urbanas e rurais podem ser mais importantes que as diferenças na geologia, na topografia ou nas condições meteorológicas. A magnitude e natureza desses efeitos podem ser considerados, também, em termos de suas interações com processos dinâmicos ou sua influência nos vários parâmetros selecionados como indicativo da resposta das bacias de drenagem.

Segundo Gregory & Walling (1973, In: Coutinho, 1986) nas

áreas rurais a agricultura pode modificar substancialmente as características do solo e da vegetação e, portanto, o afluxo e produção de sedimentos. A aplicação de fertilizantes associada com áreas de cultivo pode afetar a carga de soluto das correntes, uma vez que não representam as condições naturais. Já nas áreas urbanas, grandes áreas sem vegetação e a proliferação de construções fazem com que a evapotranspiração se reduza progressivamente.

Segundo Brown, 1970 (In: Coutinho op. cit), muitos eventos geomorfológicos não podem ser compreendidos longe do contexto das bacias nas quais eles ocorrem. Embora algumas relações aparentemente simples existam como um todo dentro de um sistema de drenagem, este pode ser composto por um complexo de atributos diferentes em formas e processos. Qualquer interferência pelo homem num desses atributos, seja deliberada ou acidental, pode colocar em movimento uma sequência de eventos que se estenderão através de todo o sistema.

6.2 - A AÇÃO ANTRÓPICA NO ESTUÁRIO GUAJARÁ

No Estuário Guajará a utilização da sonografia permitiu observar claramente duas formas de ação antrópica dentre as propostas por Brown, 1970 (In: Coutinho, 1986) de alteração de processos naturais: a modificação direta e a indireta da geomorfologia da calha estuarina. Ressalta-se que não faz parte do escopo deste trabalho qualquer avaliação sobre as alterações físicas e/ou principalmente químicas das águas desse sistema

estuarino.

A ação humana direta, planejada, de alteração dos processos geomorfológicos está representada pela construção do cais do porto de Belém e do cais de arrimo do Campus Universitário da UFPA. No primeiro caso, referida obra, aliada à expansão da cidade nas últimas décadas, contribuiu para uma elevação das taxas de sedimentação da margem direita do Estuário; especialmente devido à modificação no sentido de manter a operacionalidade do mesmo. Assim, milhões de metros cúbicos de sedimentos são dragados em intervalos de 10 anos (média) da área correspondente ao Canal do Porto, localizada entre o Banco da Cidade e margem em frente, na Baía de Guajará.

A execução das operações de dragagem, apesar de serem executadas nos períodos de vazante, quando maior é a atuação das correntes de saída do Estuário em direção ao oceano, na verdade desconsidera o sistema hidrodinâmico bastante complexo do Estuário, proporcionando a deposição extra de grandes volumes de areia no Canal da Ilha das Onças. Esta deposição adicional naquela área pode ser comprovada por formas irregulares do relevo de fundo que representam restos de dragagem trabalhadas pela ação hidrodinâmica das correntes (Fig. 48 e 48a).

Outro caso que cabe ser ressaltado é o da construção do cais de arrimo na margem direita do Rio Guamá, nas proximidades do Campus Universitário. Este cais foi construído pelo Departamento de Engenharia da UFPA na tentativa de minimizar os efeitos erosivos do rio na margem onde está localizado o Campus. Foram construídos mais de 200 metros de cais de arrimo.

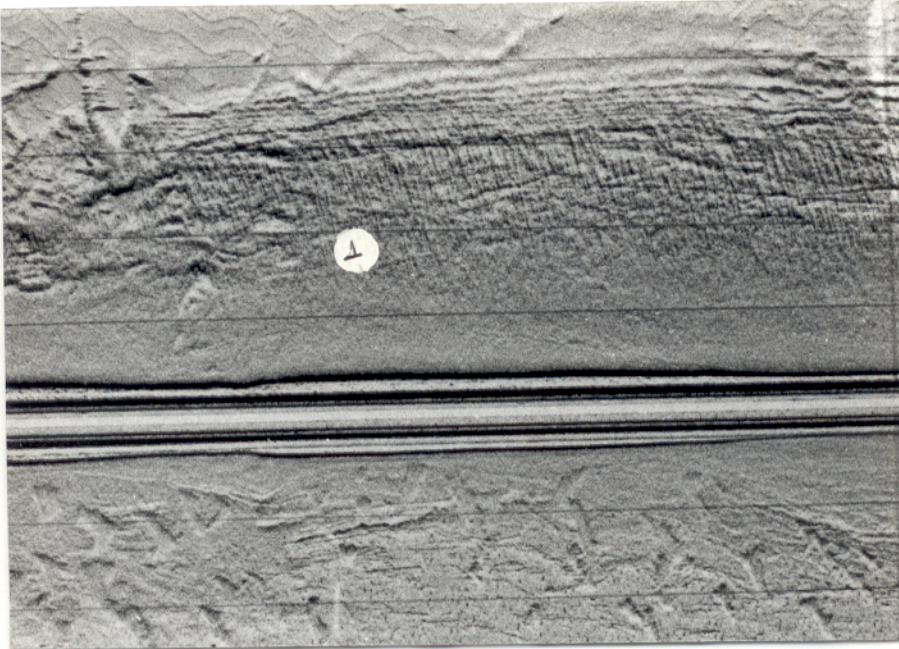


FIG. 48a : ① Lineações de corrente resultantes da ação de fluxos secundários. Canal da Ilha das Onças.

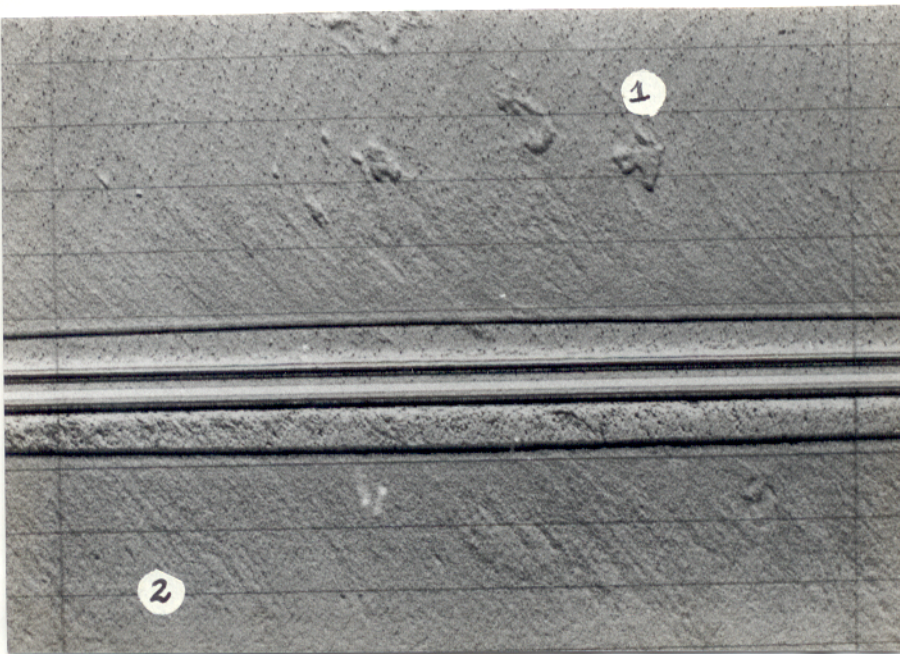


FIG.48b: Canal da Ilha das Onças. Em ① retrabalhamento de material dragado, ② lineações de corrente.

construídos mais de 200 metros de cais de arrimo.

6.3 - OUTRAS FEIÇÕES

Segundo Coutinho (1986), os estuários são locais onde se concentra um grande número de atividades urbanas e industriais que provocam modificações na geometria, nas margens e na qualidade da água. A resposta do meio estuarino à uma intervenção humana se manifesta sob forma de reações pouco conhecidas.

Na área estudada verifica-se que a ação antrópica é responsável, ainda que indiretamente, por uma série de outras modificações no leito estuarino.

A presença de embarcações naufragadas na Baía de Guajará (Figs. 49 e 50) e os ancoradouros são elementos comuns nas margens do Estuário Guajará (Fig. 51).

Do mesmo modo, pilastras de sustentação das sapatas da Linha de Transmissão da Eletronorte foram registradas na porção este da sub-área 01 (Fig. 52), além disso, parte do sistema telegráfico que servia à cidade de Belém ainda é encontrado no Canal da Ilha das Onças (Fig. 53).

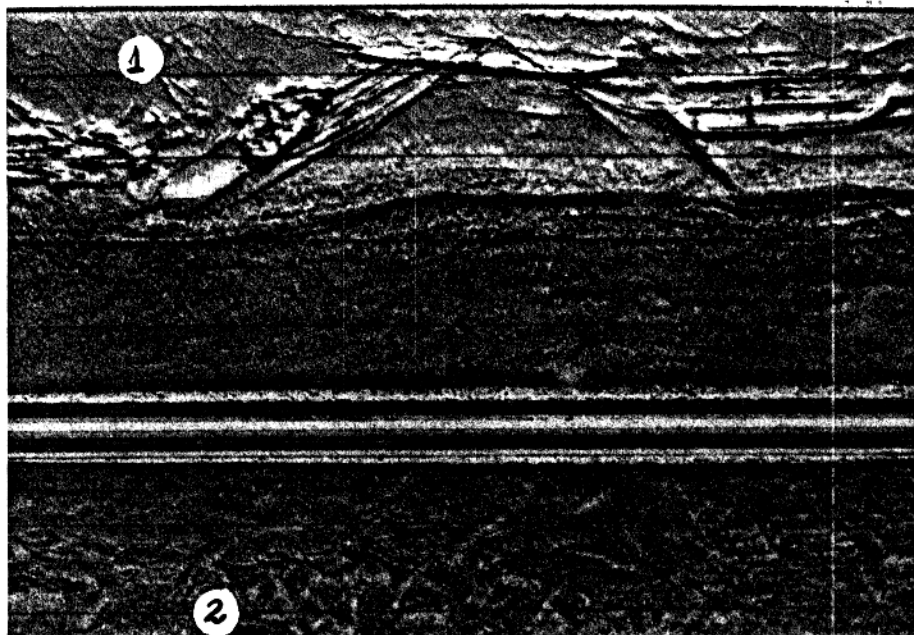


FIG.49: ① Cemitério dos navios, Canal da Ilha das Onças,
 ② feições irregulares retrabalhadas pela ação das
 correntes. Range = 100 m.

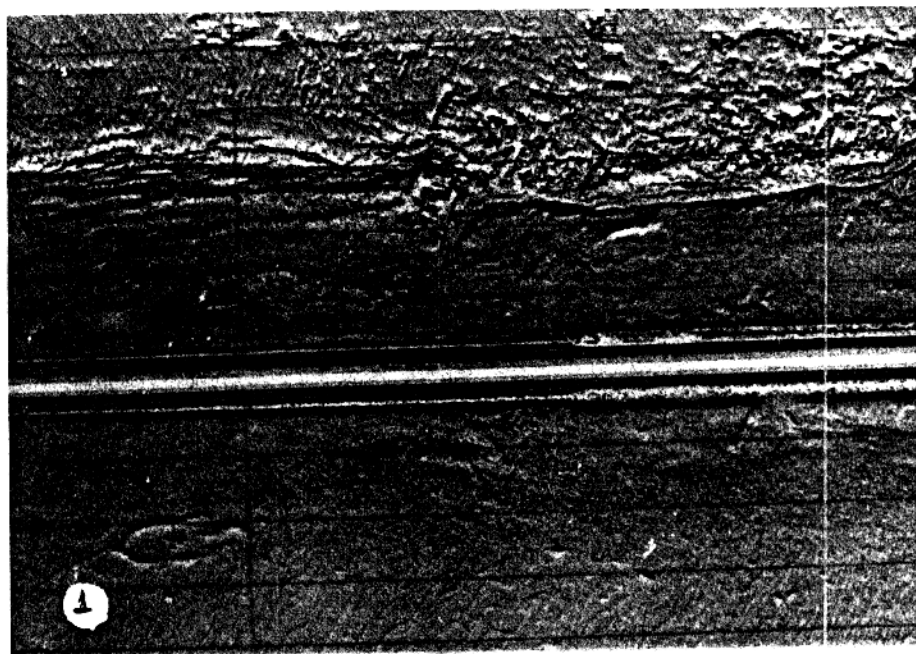


FIG.50: Registro sonográfico obtido na porção Sul do Canal da Ilha
 das Onças. Em ① embarcação naufragada. Range=100m.

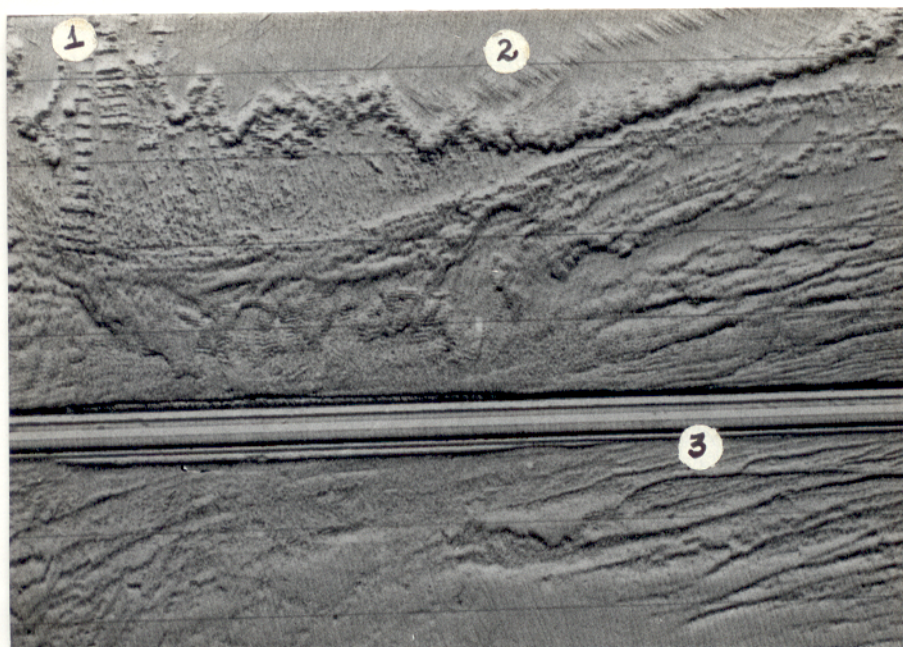


FIG.51: Registro sonográfico próximo a Ilha do Cumbú. Em ① ancoradouros, ② vegetação encoberta na margem da Ilha, ③ sulcos sedimentares.

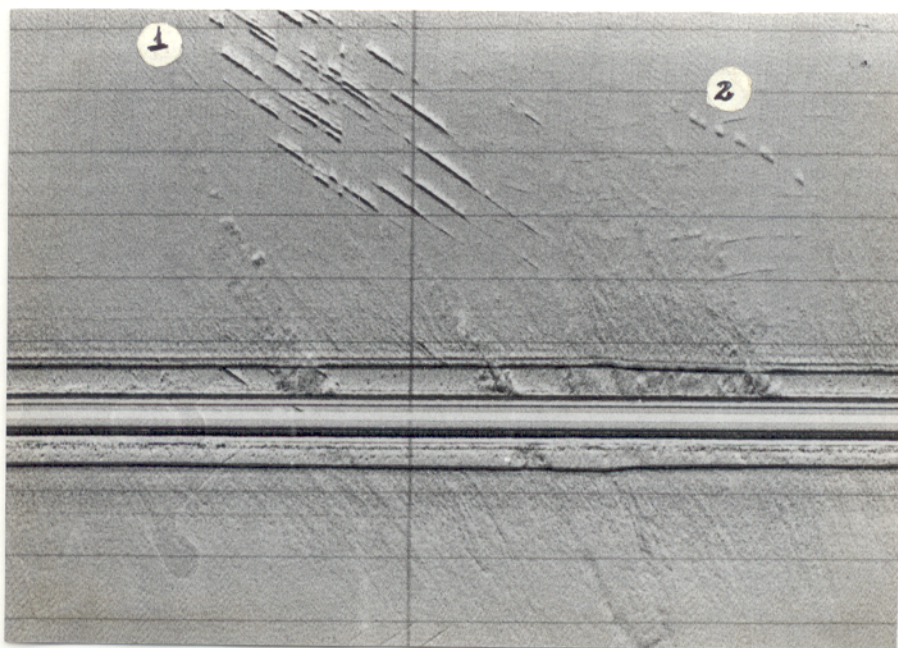


FIG.52: Porção leste da sub-área OI. Em ① pilastras de sustentação da Linha de Transmissão da Eletronorte, ② Bóias de sinalização.

7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A definição do sistema deposicional que caracteriza a desembocadura do Rio Amazonas ainda é bastante discutida. Egler & Schawassmann (1962) classificam-no como um estuário; Ottomann (1968) considera-o como um delta no fundo do estuário; Bacoccoli (1971) e Ponçano (1985) consideram-no como um delta e Kuehl et al. (1986) avaliam que o atual regime do rio Amazonas permitiu a formação de um delta submarino desenvolvido na Plataforma Continental adjacente.

Pinheiro (1987) considera a Baía do Guajará como uma pequena porção do "Grande Estuário do Rio Amazonas", a qual está submetida aos mesmos processos geológicos que forjaram as mudanças geomorfológicas ocorridas nessa região.

Segundo Pinheiro (op.cit.), os terraços Pleistocênicos (Cristofoletti, 1981) e os terrenos holocênicos ou áreas de várzeas e zonas litorâneas, são as unidades características do relevo da região, como respostas à ação das marés ali atuantes.

A "Terra Firme", conforme Sombroek (1966), são terrenos planos associados a platôs plio-pleistocênicos, e estão representados na área em estudo como os terrenos que se destacam acima do nível das águas dos principais cursos fluviais da região (Guamá e Acará). Os terrenos Holocênicos são representados, segundo Pinheiro (1987), por terrenos encaixados nos Platôs Pleistocênicos e associam-se às planícies de inundação e baixios como evidência dos entalhes e afogamentos. As várzeas altas e as várzeas baixas são subdivisões

morfológicas típicas das regiões adjacentes aos canais estuarinos interiores.

Segundo Sioli 1951: (In: Pinheiro, 1987) as várzeas altas não são alcançadas pela ação das marés durante as grandes enchentes. As ilhas das Onças e Cumbú se enquadrariam nessa categoria já que as águas estuarinas não entram em contato direto com a várzea alta. As várzeas baixas, ao contrário, sofrem a ação constante das marés semi-diurnas gerando uma topografia plana com fluxo de drenagem bastante desorganizado, sendo representadas no Estuário Guajará pela faixa que margeia a cidade de Belém tal como o Banco Sul da Cidade que se caracteriza como uma extensa praia lamosa que se inclina suavemente para o canal.

Os canais profundos do Estuário- Canal Principal no Rio Guamá e o Canal da ilha das Onças- parecem definir a morfologia das margens estuarinas. Isto pôde ser observado através da análise batimétrica e da configuração de fundo das três sub áreas estudadas, onde as margens de declive acentuado posicionam-se paralelamente muito próximas do eixo dos canais enquanto que as margens de baixa declividade se encontram numa posição mais distante dos mesmos.

O Canal do Meio, definido por Pinheiro (1987) como um canal de enchente, sofreu um desvio considerável em relação a avaliação feita pelo autor acima citado. Isto ocorreu, provavelmente, da sedimentação ocorrida na última década, a qual teria possibilitado uma mudança morfológica dos Bancos da Cidade e do Meio, atualmente quase sem nenhuma individualização.

Desta forma, o crescimento desses bancos impediu a manutenção do curso do Canal do Meio fazendo com que o mesmo passasse a ocupar uma posição bastante próxima do Canal da Ilha das Onças, possibilitando o crescimento do Banco Sul da Cidade como consequência do afogamento do Canal do Meio. Por outro lado, o crescimento do Banco Sul da Cidade em direção às porções mais profundas do Estuário, representadas pela Depressão da Ponta de Porto Alegre, possibilitou o desenvolvimento do Canal Intermediário como consequência das correntes de vazante do Rio Guamá, sobrepondo-se as correntes de enchente antes garantidas pelo Canal do Meio.

As feições de fundo aí encontradas são resultado da ação das correntes direcionadas das marés no transporte dos sedimentos do fundo estuarino bem como do controle exercido pela Baía no padrão desse transporte. Os sedimentos arenosos respondem ao regime do fundo do Estuário Guajará formando vários tipos de feições, cada uma delas em equilíbrio com diferentes profundidades, variação na velocidade do fluxo da corrente e do tamanho das partículas transportadas. As "sand waves" localizadas na porção mais profunda do Canal da Ilha das Onças mostram pequenas diferenças entre suas cristas em função de discretas variações nas profundidades aí ocorridas, enquanto que as "megaripples" parasitam os barlaventos das cristas principais das "sand waves", como resultado de fluxos secundários, oblíquos à direção da corrente principal.

B - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALIOTTA, S. & PERILLO, G.M.E. - 1987 - A sand wave field in the entrance to Baía Blanca Estuary, Argentina. *Mar. Geol.*, 76 : 1 - 14.
- ALLEN, J.R.L. - 1966 - On Bed Forms and Paleocurrents. *Sedimentology*, 6:153-190.
- ALLEN, J.R.L. - 1969 - Erosional Current Marks of Weakly Cohesive Mud Belts. *J. Sedim. Petrol.* 39:607-623.
- BAGOCCOLI, G. - 1971 - Os deltas marinhos Holocênicos Brasileiros - Uma tentativa de classificação. *Bol. Tec. PETROBRÁS*, Rio de Janeiro, 14(1/2). p.85-138.
- BERNARDI, W.; PINHEIRO, R. V.L. & COSTA JÚNIOR, P.S. - 1988 - Análise correntométrica do Rio Guamá próximo a desembocadura do Igarapé Tucunduba. In: *Anais do XXXV Congr. Bras. de Geol.*, Belém, Soc. Bras. Geol., p. 528 -533.
- BOKUNIEWICZ, H.J.- 1986 - Bottom morphology in the Hudson River Estuary and New York Harbor. *Northeastern Geology.*, 8(3): 130-140.
- BRASIL. SUDAM - 1974 - Atlas Climatológico da Amazônia. (pub.39), Belém, p.125.
- COUTINHO, P. da N. - 1986 - Sugestões para Gerenciamento de Estuários. *Arq. Ciências Mar.*, 25: 77-86.
- CRISTOFOLETTI, A. - 1981 - Geomorfologia Fluvial. São Paulo, Edgar Blücher, 188p.
- DALRYMPLE, R. W.; KNIGHT, R.J.; LAMBIASE, J.J.- 1978 - Bedforms and their hydraulic stability relationships in a tidal envi

- ronmental, Bay of Fundy, Canadá. Nature, 275:100-104.
- EGLER, WALTER & SCHASSMANN, HOSRT O. - 1962 - Limnological Studies in the Amazon Estuary. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Nova Série. Geologia n.1, 25p.
- FELS, A.G. - 1965 - Anthropogenic Action in Coastal Environments. Nature, 285: 91-94
- FLEMMING, B. W. - 1976 - Side Scan Sonar : a practical guide. Inst. Hydrology Rev., 53(1): 65-92.
- FLOOD, R.D. - 1981 - Distribution, morphology and origin of sedimentary furrows in cohesive sediments, Southampton Water. Sedimentology., 28: 511-529.
- FLOOD, R. D. - 1983 - Classification of sedimentary furrows and a model for furrow initiation and evolution. Geol. Soc. Am Bull., 94: 630-639.
- FLOOD, R.D. & HOLLISTER, C.D. - 1980 - Submersible studies of deep-sea furrows and transverse ripples in cohesive sediments. Mar. Geol., 36: M1-M9.
- FRANZINELLI, E. - 1976 - Contribuição à Sedimentologia da Baía do Marajó. Rel. Int. BELÉM SUDAM -DNOS-IDESP., 22p.
- KUEHL, S.A.; NITTROUER, C.A. & DE MASTER, D.J. - 1986 - Nature of Accumulation on the Amazon Continental Shelf. Continental Shelf Research, 6: 209-225.
- LE GOINTE, P. - 1945 - O Estado do Pará, a Terra, a Água e o Ar. A fauna e a flora minerais. Brasileira, S.5. V5. Biblioteca Pedagógica Brasileira, Comp. Ed. Nacional.
- LIMA, R.R. - 1956 - A agricultura na Várzea do Estuário do Amazonas. Bol. Tec. do Inst. Agron. do Norte. no 33., 164p.

- MACHADO, I. H. & COSTA JÚNIOR, P. S. - 1986 - Análise batimétrica do Rio Guamá, nas imediações do Campus Universitário. TCC. Belém, UFPA. 48p.
- MAZEL, G. - 1985 - Side Scan Sonar Training Manual. New Hampshire, Klein Associates. 144p.
- OLIVEIRA, C. de - 1983 - Dicionário Cartográfico. 2a ed. Rio de Janeiro, IBGE, 781p.
- OTTMANN, F. - 1968 - L'Étude des Problèmes Estuariens. Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique (2), V.X., fasc. 4:329-353.
- PENTEADO, A.R. - 1968 - Belém do Pará, Estudo da Geografia Urbana. São Paulo. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP. 183p. (Tese de Livre Docência).
- PINHEIRO, R. V. L. - 1987 - Estudo Hidrodinâmico e Sedimentológico do Estuário Guajará. Belém. 152p. (Tese de Mestrado -UFPA).
- PONÇANO, W.L. - 1985 - Sedimentação Atual Aplicada a Portos no Brasil. São Paulo, Universidade de São Paulo. 278p. (Tese de Doutorado - USP)
- PORTOBRÁS - 1980a - Porto de Belém - Transporte de Material Sólido em Suspensão na Baía de Guajará. Rel. INPH.147/80. Rio de Janeiro, 170p.
- PORTOBRÁS - 1980b - Medições de Correntes e Material em Suspensão Junto ao Porto de Belém. Rel INPH 80/82, código Belém 740/01. Rio de Janeiro, 162p.
- RUBIN, D. M. & MCGULLOCH, D. S. - 1979 - The movement and equilibrium of bedforms in Central San Francisco Bay. Fifty-Eighth Annual Meeting. San Francisco, San Francisco

- State University, 46p.
- RUSSEL-CARGILL, W.G.A. -1982 - Recent developments in Side Scan Sonar techniques. Cape Town, Central Acoustics Laboratory. University of Cape Town (South Africa), 138p.
- SANTOS, J.A.- 1982 - Porto de Belém - Análise dos Estudos Realizados Sobre a Sedimentação na Área Portuária Rel. INPH 80/82. código 170/01. Rio de Janeiro.160p.
- SOARES, L. de C. - 1977 - Geografia do Brasil, Região Norte. Rio de Janeiro, IBGE, 466p.
- SOMBROECK, W. G. - 1966 - Amazon Soils. A Reconnaissance of the Brazilian Amazon Region. Waneningen, Centre of Agricultural Publications and Documentation. 303p.
- SOUZA, L.A.P. de - 1988 - As Técnicas Geofísicas de Sísmica de Reflexão de Alta resolução e Sonografia Aplicadas ao Estudo de Aspectos Geológicos e Geotécnicos em Áreas Submersas.In: XXXV Congr. Bras. Geol. Belém, Soc. Bras. Geol.V4,p 1551-1555.
- SUGUIO, K.& BIGARELLA, J.J. - 1979 - Ambientes de Sedimentação: sua interpretação e importância. Curitiba, UFPr. 181p.
- SWIFT, D.J.P. & FREELAND, G.L. - 1978 - Current Lineations and Sand Waves on the Inner Shelf, Middle Atlantic Bight of North America.Journal of Sed. Petrology., 48(1): 1257-1266.
- TUCKOLKE, B.E. - 1979 - Furrow and focused echoes on the Blake Outer Ridge. Mar. Geol., 31:M13-M20.