

# CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DAS CORRENTES DE MARÉ DOS ESTREITOS DOS COQUEIROS E MOSQUITOS, MARANHÃO<sup>1</sup>

Hélder Oliveira Ferreira<sup>2</sup>

## RESUMO

Observações efetuadas das correntes de maré superficiais, revelam o seu comportamento em função da oscilação da maré e evidenciam algumas características da circulação de águas nos Estreitos dos Coqueiros e Mosquitos. Com isso, foi observado que, na região, a onda de maré apresentou características de onda do tipo estacionária, com os máximos de velocidade da corrente situando-se no ponto médio entre a preamar e a baixamar. As correntes residuais indicam que o fluxo superficial resultante tem sentido da baía de São José/Arraial para a baía de São Marcos.

Uma tentativa para elaboração de cartas de correntes de maré para a região foi realizada e com relativo sucesso. Através destas cartas de correntes, pode-se notar claramente que a circulação de águas nos estreitos em questão é condicionada pelo balanço dinâmico entre as ondas de maré que se propagam pelas baías de São Marcos, e complexo São José/Arraial.

## INTRODUÇÃO

Como em grande parte do Golfão Maranhense, a região dos Estreitos dos Coqueiros e Mosquitos, situado a S/SW da Ilha de São Luís, é fortemente influenciada por marés com amplitudes de até 6-7 metros. Com isso, no Golfão Maranhense ocorrem correntes de maré de grande intensidade, com valores extremos situados entre 3 a 4 m/s (DHN, 1984 e SILVA Jr., 1984), situando-se intermediariamente entre a baixa-mar e a preamar e vice-versa.

<sup>1</sup>Trabalho realizado em decorrência do contrato de prestação de serviços nº BN-004003, firmado entre a Universidade Federal do Maranhão e o Consórcio ALUMAR (Alcoa Alumínio S/A e Billiton Metais S/A).

<sup>2</sup>Bolsista de Desenvolvimento Científico Regional/CNPq.

A região em questão, destaca-se ainda, por possuir dupla penetração da onda de maré através das baías de São Marcos e São José/Arraial. Conseqüentemente, processos hidrodinâmicos e de mistura (advecção e difusão) estão diretamente relacionados com as correntes de maré provenientes dessas baías. As correntes da região imprimem movimentos de intensa turbulência na coluna d'água, ocasionando em decorrência dos processos de mistura vertical, grandes concentrações de material em suspensão (valores médios da ordem de 200 mg/l MARTINS, 1985) e uma quase homogeneidade das estruturas térmica e halina, caracterizadas por pequenos gradientes verticais de salinidade (PEREIRA FILHO, 1983, FERREIRA E OLIVEIRA, 1985 e FERREIRA, 1986).

Nesses dois estreitos, a navegação é realizada por embarcações de pequeno porte, com propulsão a remo, a vela e, eventualmente, por motores de baixa potência. A extremidade Norte do Estreito dos Coqueiros constitui uma área de tráfego de navios graneleiros e embarcações de apoio às atividades portuárias do porto da indústria de alumínio ALUMAR. Assim, cartas de correntes de maré da região podem auxiliar a navegação, principalmente aquela praticada por embarcações de pequeno porte ou em manobras de atracação e desatracação dos graneleiros.

Este trabalho visa, portanto, fornecer subsídios para estudos mais aprofundados da circulação de águas nesta região e auxiliar a navegação ao longo dos Estreitos dos Coqueiros e Mosquitos.

## MATERIAL E MÉTODOS

As medições de corrente foram efetuadas simultaneamente em três estações (Figura 1), em intervalos horários durante um ciclo completo de maré (13 horas), (bimestralmente a partir de abril de 1986). Desta forma, procurou-se estabelecer um comportamento médio das correntes de maré superficiais, dentro das limitações do instrumento de medida utilizado, considerando-se o regime sazonal para a região.

O princípio de medida de corrente adotado, foi o sistema lagrangiano. Os instrumentos de medida utilizados foram pequenos e simples corpos de deriva (derivadores), construídos no próprio Laboratório, constituídos de um flutuador (pequena placa de isopor) e um elemento de deriva ("cruzeta" em metal) unidos por uma haste de tubo em PVC (Figura 2). Cada derivador era amarrado a um cordão de nylon de comprimento conhecido.

Para a medida da corrente, os derivadores foram lançados na água a partir de embarcações; foram medidos com cronômetros os intervalos de tempo gastos para o esticamento completo do cordão. Este procedimento era repetido três vezes para cada medida efetuada, extraindo-se então um valor médio, que foi considerado para análise. Com medidas do intervalo de tempo e conhecendo-se a distância percorrida pelo derivador (comprimento do cordão), determinou-se a velocidade do fluxo. A direção assumida pela trajetória do derivador foi referenciada, conforme o sentido do movimento, se vazante ou enchente, que são os dois únicos sentidos do movimento horizontal que podem ser estimados com o equipamento de medida.

A metodologia de análise utilizada foi baseada no método usado pela DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (DHN) para elaboração de cartas de correntes de maré para regiões próximas a portos brasileiros. Este método de análise consistiu no tratamento de dados e partir de 13 observações horárias, desconsiderando-se, portanto, variações diurnas da maré. Não foi possível efetuar a decomposição da corrente em componentes NORTE e ESTE porque o instrumento de medida utilizado não possui sensor de direção. No entanto, a configuração estreita dos canais na região de estudo (largura média em torno de 200 metros) favorece uma boa estimativa da direção da corrente, pois é notável que a direção das correntes nos estreitos em questão é predominantemente paralela ao eixo longitudinal, salvo em instantes próximos às estofas de maré, onde ocorre a reversão do sentido do movimento. Deste modo, para cada campanha de medições realizadas, foram obtidas a intensidade da corrente e estimada a sua direção e sentido, de acordo com o estágio da maré, em intervalos horários do ciclo de maré previsto para o Porto de Itaquí, para situações de maré de sizígia e quadratura, utilizando-se coeficientes determinados a partir do método de análise empregado.

As amplitudes de maré de quadratura e de sizígia, utilizadas para obtenção de seus respectivos coeficientes, foram determinadas a partir da média aritmética das amplitudes de maré de sizígia e de quadratura, calculadas com base na previsão de marés para o Porto de ALUMAR durante o ano de 1986, fornecida pelo BANCO NACIONAL DE DADOS OCEANOGRÁFICOS DA DHN.

Com os resultados obtidos para cada campanha de medições, foram estabelecidas as médias dos valores de corrente para cada intervalo do ciclo de maré e elaboradas cartas de correntes de maré

para situações de sizígia e quadratura.

Os dados de correntes foram relacionados com a oscilação da maré local e discussão quanto às características da onda de maré da região foram feitas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de correntes analisados, não são de grande precisão, devido principalmente a localização do elemento de deriva do aparelho de medida estar imediatamente abaixo da superfície da água, podendo evidentemente sofrer influência do vento e mesmo pelo próprio procedimento de determinação da velocidade da corrente. No entanto, acredita-se que, em função do comportamento regular das correntes observadas, considerando-se diversas situações de medida (conforme a variação sazonal), os resultados obtidos representam uma boa estimativa das correntes de maré para a região, principalmente quanto a resultante calculada para o sentido do movimento (Figuras 3, 4 e 5 e Tabela 1).

Em função da classificação da maré da região — maré semidiurna sem desigualdade diurna segundo o critério de Coutier (ELETROBRÁS/SONDO — TÉCNICA, 1981) — considera-se que o período de amostragem utilizado (um ciclo de maré — 13 horas) não constitui um grande problema para a análise dos dados levantados.

A Figura 3 apresenta os resultados de correntes de maré superficiais nas campanhas realizadas no ano de 1986 nas três estações de medições. O maior valor encontrado foi de 1.46 m/s na estação 3. Destes gráficos é possível observar um comportamento regular, em relação aos regimes de maré enchente e vazante, com maior indeterminação nos momentos de mudança de sentido. No entanto, nota-se que nesses momentos há sempre uma tendência direcionada a um ou outro sentido, o que permite uma boa representatividade dos valores médios extraídos. A partir desses gráficos observa-se, também, comportamentos característicos, para cada estação. Assim, a estação 1 apresenta um certo equilíbrio entre as correntes superficiais de enchente e vazante, com um certo predomínio de vazante. Por outro lado, as estações 2 e 3 possuem uma predominância das correntes superficiais de enchente, como revelam as correntes residuais (Tabela 1 e Figura 14), comportamento este também observado por SILVA Jr., 1984.

As correntes residuais foram determinadas utilizando-se a seguinte equação:

$$Cr = \overline{Cv} - \overline{Ce}$$

onde  $Cr$  é a corrente residual;  $\overline{Cv}$  é a média das velocidades das correntes de vazante durante um ciclo de maré e  $\overline{Ce}$  é a média das velocidades das correntes de maré de enchente durante um ciclo de maré. Valor negativo para  $Cr$  indica sentido de enchente e valor positivo indica sentido de vazante.

A relação entre a oscilação de maré nas estações de medições com o comportamento das correntes observadas, foi prejudicada em função da precariedade dos dados maregráficos obtidos a partir da determinação horária da profundidade local através de fio de prumo. Isto induziu a imperfeições no traçado da curva de maré, pois as embarcações utilizadas durante as campanhas não permaneceram completamente estáticas, devido a utilização de apenas uma âncora para fundeio, o que permite pequenos deslocamentos que podem direcionar as embarcações para pontos com morfologia de fundo diferentes. No entanto, foi possível obter curvas de maré com traçado uniforme, e assim foram efetuadas algumas observações comparativas entre as curvas de maré e a variabilidade das correntes correspondentes (Figura 6).

Ocorreu com maior frequência a defasagem entre os máximos de correntes e as estofas de maré, ou seja, correntes de maior intensidade encontram-se defasadas de 90 graus com a baixamar e à preamar, comportamento este característico de onda de maré estacionária (DYER, 1973).

Na estação 2, em outubro ocorreu uma inversão súbita do sentido da corrente, o que pode ser explicado pelo fato de nessa porção do Estreito dos Mosquitos o fluxo, além de apresentar intenso cisalhamento, perceptível através da visualização de vórtices, certamente provocadas pelo atrito com as margens e o fundo dos canais, parece se comportar de acordo com a forçante de maré dominante, ou seja, nesse instante de inversão é possível que tenha havido uma ligeira troca no domínio entre as forçantes de maré das bafas de São Marcos e São José/Arraial.

A Figura 7 apresenta o conjunto de cartas de correntes de maré superficiais elaboradas a partir dos resultados obtidos. Essas cartas podem ser consideradas uma estimativa das correntes de maré da região, em virtude do método de medição de corrente utilizado não ser muito rigoroso. Cada carta contém a direção e o sentido da corrente, para cada intervalo da preamar prevista para o Porto de

Itaqui, durante um ciclo completo de maré. Os valores correspondem às velocidades de corrente em metros por segundo (m/s) para marés de sizígia (os maiores valores) e marés de quadratura (os menores valores). A amplitude média de maré considerada foi de 5,99 m para sizígia e 2,80m para quadratura. Marés com amplitudes diferentes deverão produzir velocidades de correntes diferentes aos lançados nas cartas, porém, em virtude da conhecida margem de erro dos valores de velocidade de corrente, não se justifica o emprego de fatores de correção para diversas amplitudes de maré.

## CONCLUSÕES

1) A resultante das correntes de maré ou as correntes residuais de superfície nas estações 1,2 e 3, apresentam sentido de vazante, enchente e enchente, respectivamente. Com isso há um fluxo resultante de superfície do complexo São José/Arraial para a Baía de São Marcos.

2) A oscilação de maré na região possui características de tipo de onda estacionária.

3) A região, pelo fato de sofrer influência da maré através das baías de São Marcos e complexo São José/Arraial comporta-se como uma zona na qual sua circulação está condicionada por um equilíbrio dinâmico existente entre as forçantes da maré que se propagam por essas duas baías.

4) Os resultados produzidos e as conclusões obtidas por este trabalho, em que pesem as imprecisões sistemáticas cometidas devido a falta de estrutura de trabalho mais apropriada, fornecem importantes informações de base para estudos futuros, visando inclusive a elaboração de modelos analíticos e numéricos de circulação de águas, bem como de processos de mistura na região de estudo.

## SUMMARY

Observation of surface tidal currents show the behavior of the currents in relation to the oscillations of the tide and show some characteristics of the circulation of the waters in the Straits of Coqueiros and Mosquitos. With this, it was observed that in the region the tidal wave has characteristics of a standing wave type, with peak velocities nearly 90° out of phase with the tidal wave oscillation. According to the calculated residual currents, the net surface flow is in the Bay of São José/Arraial do Bay of São Marcos direction.

An attempt to elaborate tidal current charts for the area was made with relative success. Through these charts it can be clearly noted that the circulation of water in the straits in question is the result of a dynamic balance between the tidal waves propagated through the Bay of São Marcos and the São José/Arraial complex.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao Dr. Luís Bruner de Miranda, do Instituto Oceanográfico da USP, pela revisão do manuscrito, aos professores e técnicos do Laboratório de Hidrobiologia-LABOHIDRO/UFMA, que colaboraram na coleta e processamento de dados, tanto no campo como em laboratório; à Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) pela cessão de previsão horária de marés de 1986 para a estação maregráfica da ALUMAR; a Raimundo S. Magalhães Filho pelos desenhos e a todos aqueles que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização deste trabalho.

## BIBLIOGRAFIA

- DHN. Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO). Previsão horária de marés para o Porto da ALUMAR durante o ano de 1986.
- . 1984. Comissão Hidrográfica: "Porto de Itaqui/Proximidades da Ilha Tauá-Mirim. Cartas nºs. 413/414. Relatório Técnico. Rio de Janeiro-RJ.
  - . Método de análise de correntes de maré a partir de 25 observações horárias.
  - . 1986. Tábuas das Marés para o ano de 1986. Costa do Brasil e Portos Estrangeiros — Rio de Janeiro, s.d. 217 pp.
- DYER, K.R. 1973. Estuaries: a physical introduction. John Willey & Sons Inc. 140 p.
- ELETROBRÁS/SONDOTÉCNICA. 1981. Usina Maremotriz — Estuário do Bacanga; relatório técnico. São Luís/MA.
- FERREIRA, H. O. & S.M. OLIVEIRA, 1985. Sub-Projeto Física. In: UFMA/LABOHIDRO. Levantamento bioecológico na área de influência da Indústria de Alumínio do Consórcio ALUMAR na Ilha de São Luís-MA. Relatório técnico. São Luís-MA.
- FERREIRA, H. O. 1986. Sub-Projeto Física. In: UFMA/LABOHIDRO. Levantamento bioecológico na área de influência da Indústria de Alumínio do Consórcio ALUMAR na Ilha de São

- Luis-MA;** relatório técnico. São Luis-MA.
- MARTINS, W.C. 1985. Sub-Projeto Geologia. In: UFMA/LABOHIDRO. **Levantamento bioecológico na área de Influência da Indústria de Alumínio do Consórcio ALUMAR na Ilha de São Luis-MA;** relatório técnico. São Luis-MA.
- PEREIRA FILHO, N. 1983. Sub-Projeto Física, In: UFMA/LABOHIDRO. **Levantamento bioecológico na área de influência da Indústria de Alumínio do Consórcio ALUMAR na Ilha de São Luis-MA;** relatório técnico. São Luis-MA.
- SILVA Jr., C.L. 1984. Bolsa de Aperfeiçoamento — Proc. nº 10.3708/83-OC, CNPq. Relatório Semestral.

TABELA 1

Correntes superficial residual nas estações 1, 2 e 3 durante as campanhas de medições de correntes de 1986.

ESTAÇÕES	CORRENTE SUPERFICIAL RESIDUAL (m/s)					
	ABR.	JUN.	AGO.	OUT.	DEZ.	MEDIA
1	0,14	0,03	0,14	0,02	0,04	0,08 + 0,06
2	0,09	- 0,43	-	- 0,48	- 0,16	- 0,24 + 0,06
3	-0,15	0,39	- 0,41	-	- 0,27	- 0,32 + 0,05

OBS : Os valores negativos indicam sentido de enchente e os valores positivos indicam sentido de vazante.

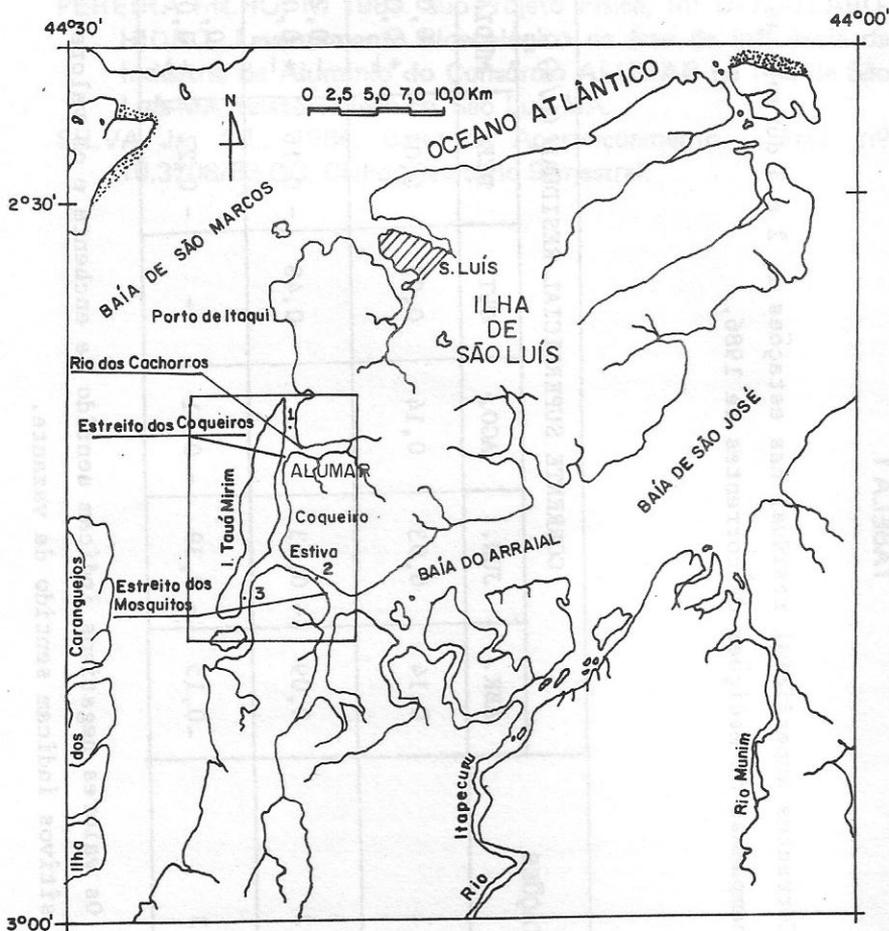


Figura 1 - Área de trabalho

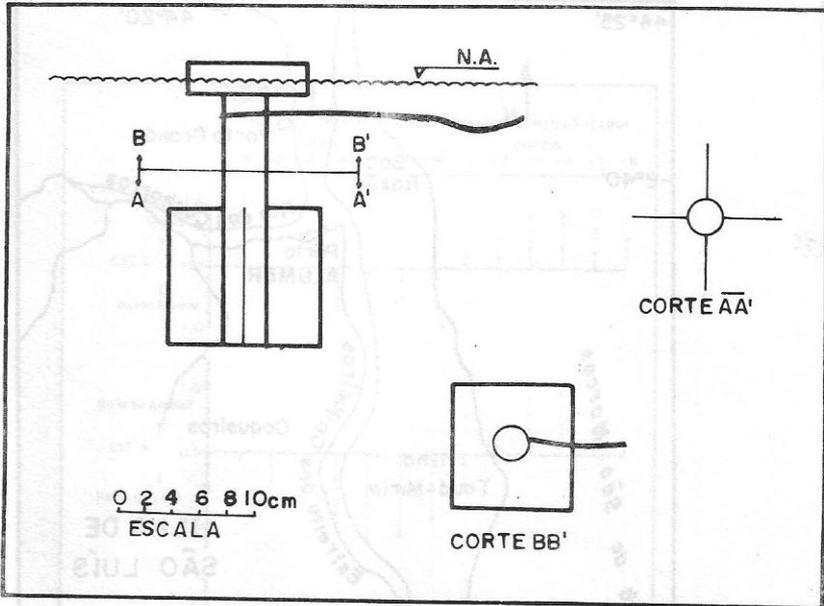


Figura 2 - Desenho esquemático do instrumento utilizado na medida de corrente (Derivador).

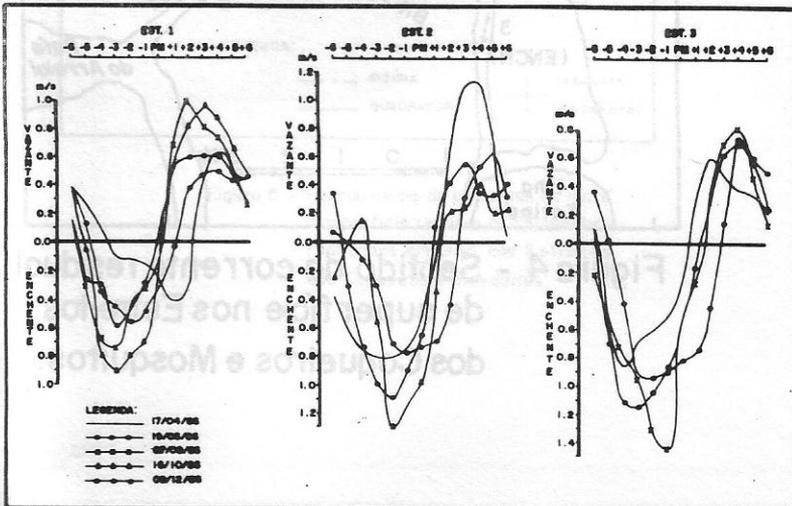


Figura 3 - Corrente de maré nos pontos de medição nas cinco campanhas realizadas no ano de 1988 referidas aos intervalos de preamar para o Porto de Itaquí.

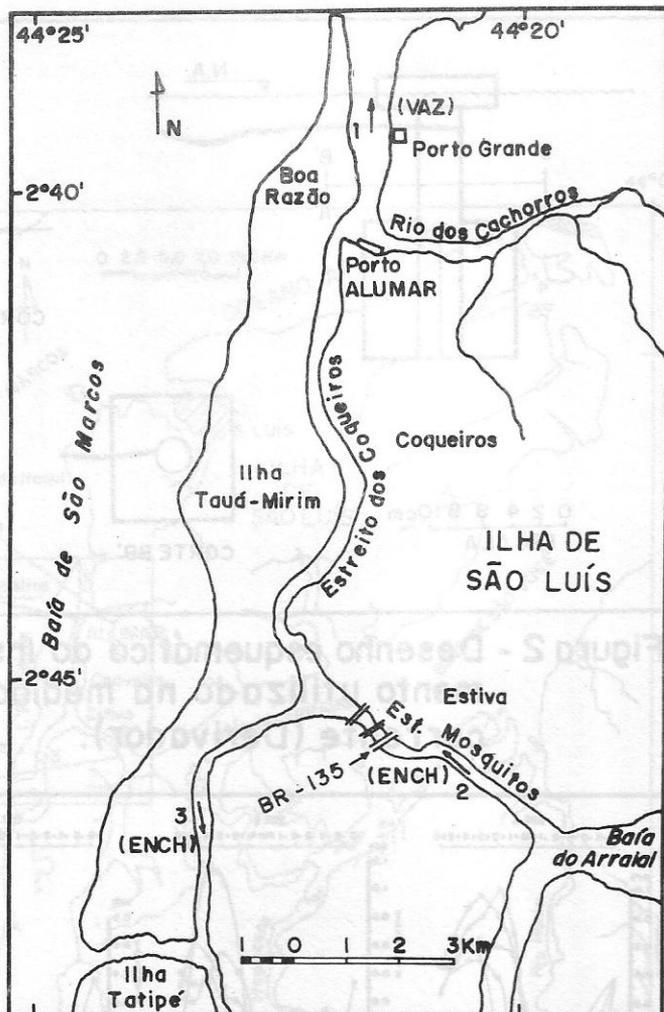


Figura 4 - Sentido da corrente residual de superfície nos Estreitos dos Coqueiros e Mosquitos.



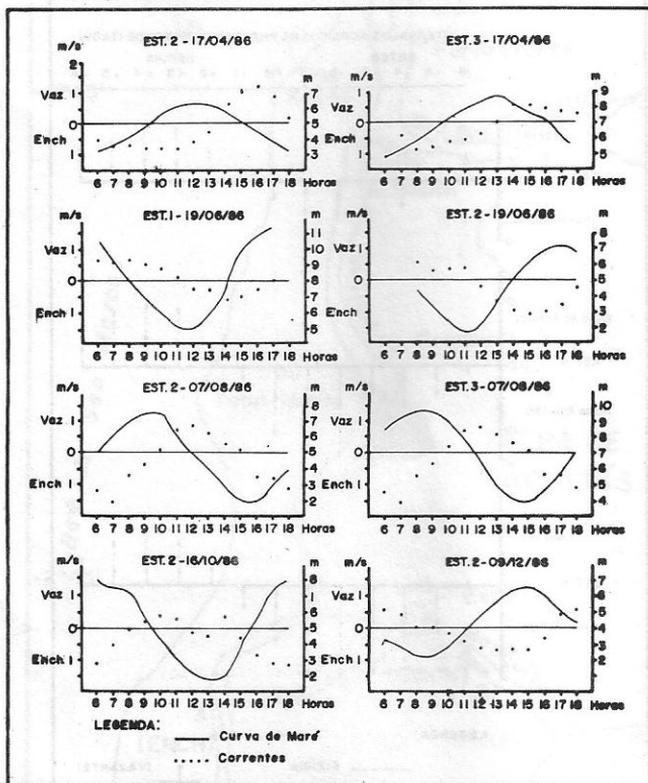


Figura 6 - Oscilação de maré e comportamento das correntes superficiais nos Estreitos dos Coqueiros e Mosquitos.



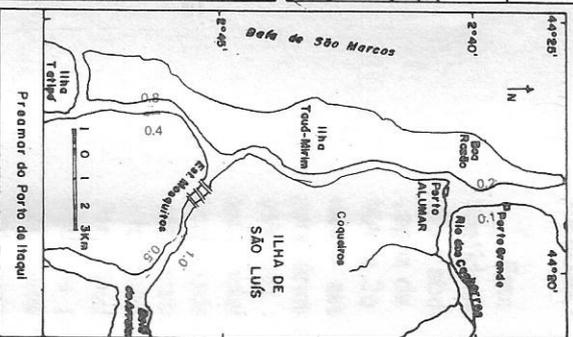
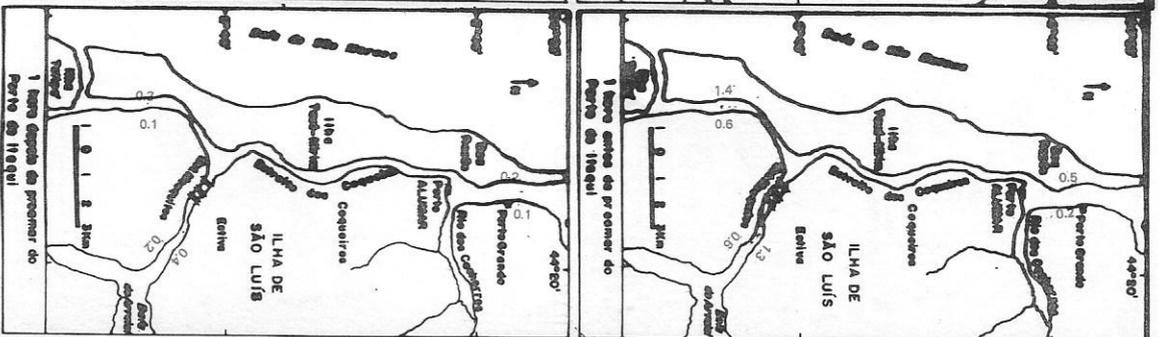
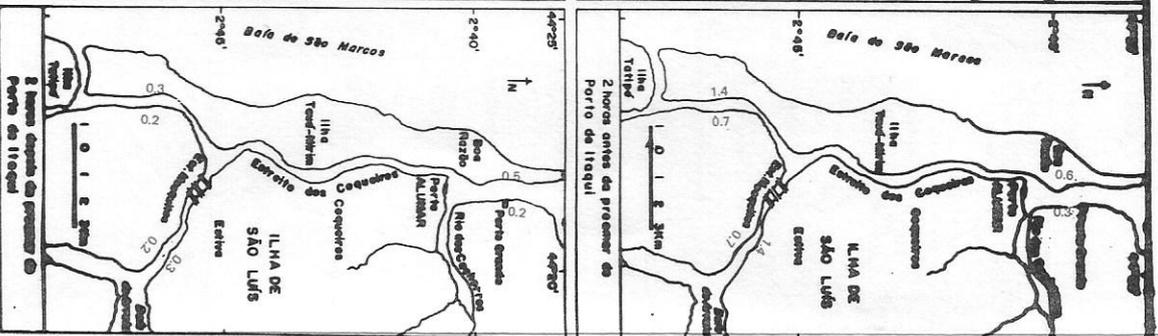
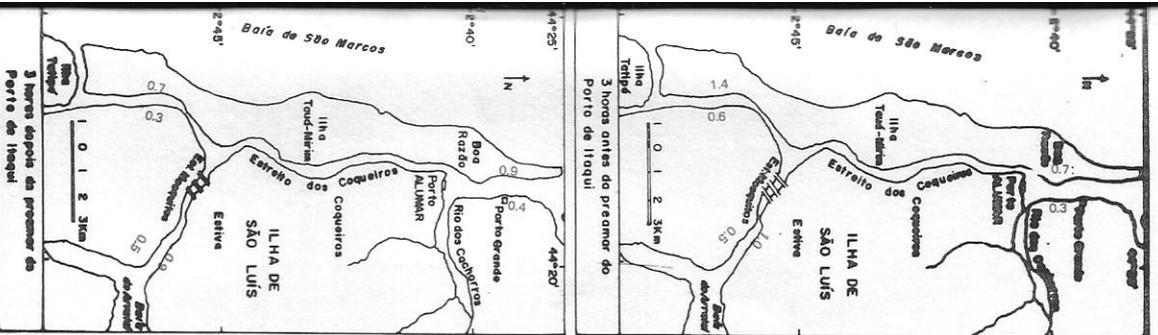


Fig. 7 - Cartas de Correntes de Maré dos Estreitos dos Coqueiros e Itaquí.