

ANÁLISE DAS MEDIÇÕES HIDRÁULICAS EFETUADAS EM
SEPETIBA-RJ, DURANTE ESTUDOS SEDIMENTOLÓGICOS
COM O USO DE TRAÇADORES RADIOATIVOS
EM JUNHO DE 1975.

Fevereiro/76

ANÁLISE DAS MEDIÇÕES HIDRÁULICAS EFETUADAS EM SEPETIBA-RJ,
DURANTE ESTUDOS SEDIMENTOLÓGICOS COM O USO DE
TRAÇADORES RADIOATIVOS EM JUNHO DE 1975.

AUTORES:

Jefferson Vianna Bandeira
Pedro Edmundo Aun

MEDIÇÕES HIDRÁULICAS

Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias - Portobrás
Instituto de Pesquisas Radioativas - NUCLEBRÁS

EQUIPE DE ANÁLISE

Jefferson Vianna Bandeira
José Joaquim Lima de Campos
Altair Drumond de Sousa
Vera Lúcia Mendes Dias da Costa
Fábio Antonio da Silva

LABORATÓRIO DE RADIOISÓTOPOS
Instituto de Pesquisas Radioativas

ÍNDICE

	Página
RESUMO	
I. CONDIÇÕES HIDROGRÁFICAS	1
II. MEDIÇÕES HIDRÁULICAS	3
2.1. Objetivo	3
2.2. Campanha de Medições de Corrente	3
III. ANÁLISE DAS MEDIÇÕES DE CORRENTE	6
3.1. Considerações Prévias	6
3.2. Resultados das Medições de Corrente	8
3.3. Comentários	11
3.4. Conclusões	13
IV. AÇÕES HIDRODINÂMICAS E MOVIMENTAÇÃO DO MATERIAL DE FUNDO	15
V. CONCLUSÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES	21

RESUMO

O presente relatório apresenta os resultados obtidos com a análise das medições de corrente efetuadas na baía de Sepetiba, durante os estudos da movimentação de sedimentos de fundo com a utilização de traçadores radioativos.

É procurada uma relação entre as correntes registradas e as marés e ventos da região. Observa-se que as correntes são comandadas mais pela influência da maré que pela ação dos ventos.

Faz-se um relacionamento entre as ações hidrodinâmicas das correntes e o comportamento do material constituinte do fundo.

A movimentação desprezível de sedimentos de fundo está de acordo com as fracas ações hidrodinâmicas produzidas pelas correntes junto ao fundo.

BAÍA DE SEPETIBA: MEDIÇÕES HIDRÁULICAS DURANTE OS
TRABALHOS COM TRAÇADORES RADIOATIVOS

I. CONDIÇÕES HIDROGRÁFICAS

A baía de Sepetiba, no Estado do Rio de Janeiro, tem como dimensões médias aproximadas: cerca de 25km na direção E-W e 12.5km na direção N-S, com uma superfície aproximada de 312.5km². Ela se constitui em um local bem abrigado relativamente às vagas e ondulações do largo, sendo tal abrigo fornecido principalmente pela restinga de Marambaia, com cerca de 40km na direção E-W. A sua principal ligação com o mar aberto é pelo lado oeste, através de passagens ou canais existentes entre o continente e a ilha de Itacuruçã, entre esta e a ilha de Jaguanum e, entre esta última e a ilha da Pompeba (Fig. 1). Na extremidade leste da baía de Sepetiba, há uma pequena comunicação com o mar aberto, através da Barra de Guaratiba. No interior da baía, a oeste da longitude 44°48',0 W são encontradas profundidades naturais iguais ou maiores que 10 metros.

O rio Itaguai e os canais como os de: São Francisco, Guandú e Itã drenam, para a baía de Sepetiba, as águas da região sudoeste da cidade do Rio de Janeiro.

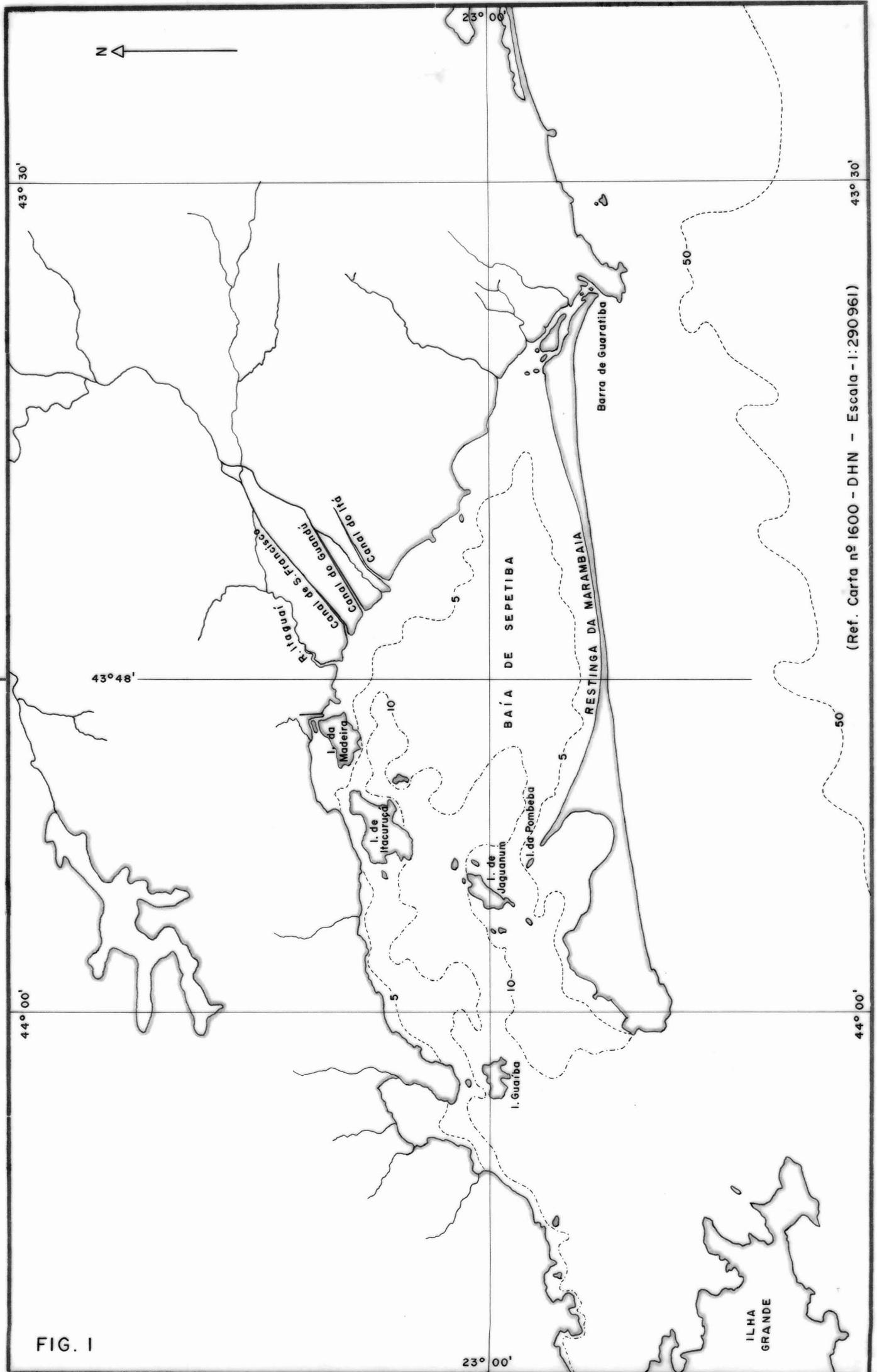


FIG. 1

(Ref. Carta nº 1600 - DHN - Escala - 1:290961)

II. MEDIÇÕES HIDRÁULICAS

2.1. OBJETIVO.

Na região próxima à ilha da Madeira (Fig. 2), onde deverão ser construídos terminais marítimos, foram realizados estudos com traçadores radioativos objetivando o conhecimento da mobilidade do material constituinte do fundo, o qual, naquela região, é de natureza silto-argilosa.

Durante os estudos com traçadores radioativos, realizados em junho de 1975, foram efetuadas medições de corrente próximo aos locais de injeção do traçador, com vistas a relacionar a movimentação do material de fundo com as ações hidrodinâmicas produzidas pelas correntes junto ao fundo.

2.2. CAMPANHA DE MEDIÇÕES DE CORRENTE.

A campanha de medições de corrente foi executada por técnicos do Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias (INPH) e do Instituto de Pesquisas Radioativas (IPR), no período de 6/6/75 e 16/6/75.

Foram utilizados os seguintes equipamentos:

- a) Um correntôgrafo da marca Hydroproducts, modelo 10 505.

b) Um correntôgrafo de registro fotográfico da marca Mecabolier.

c) Um correntômetro da marca Hydroproducts.

O correntôgrafo Hydroproducts 505, foi instalado na posição indicada na Figura 2, próximo ao primeiro ponto de injeção do traçador (PI-1). Registrou correntes de 30 em 30 minutos a 1 metro do fundo, entre 6/6 e 16/6/75. O correntôgrafo Mecaboiler foi instalado na mesma vertical, e registrou as correntes a cerca de 3 metros do fundo, de 6 em 6 minutos, entre 6/6 e 11/6/75.

No dia 11/6 o correntôgrafo Mecabolier foi deslocado para o local da 2a. injeção (nas vizinhanças de PI-2, Fig. 2), para registrar correntes a 1 metro do fundo mas não foram obtidos registros aproveitáveis, devido ao mau funcionamento do aparelho.

Durante a injeção do traçador radioativo no ponto PI-1 (Fig. 2) dia 6/6/75, foi também registrada a corrente a cerca de 1 metro do fundo com a utilização do correntômetro.

O correntômetro foi também utilizado para medições ao longo da vertical de PI-1 no dia 11/6, durante a maré enchente e no dia 16/6 durante enchente e vazante.

Nas proximidades do ponto de injeção PI-2 (Fig.2) foram efetuadas medições de corrente ao longo da vertical em 11/6, durante a injeção do material marcado com traçador radioativo, bem como no dia 13/6.

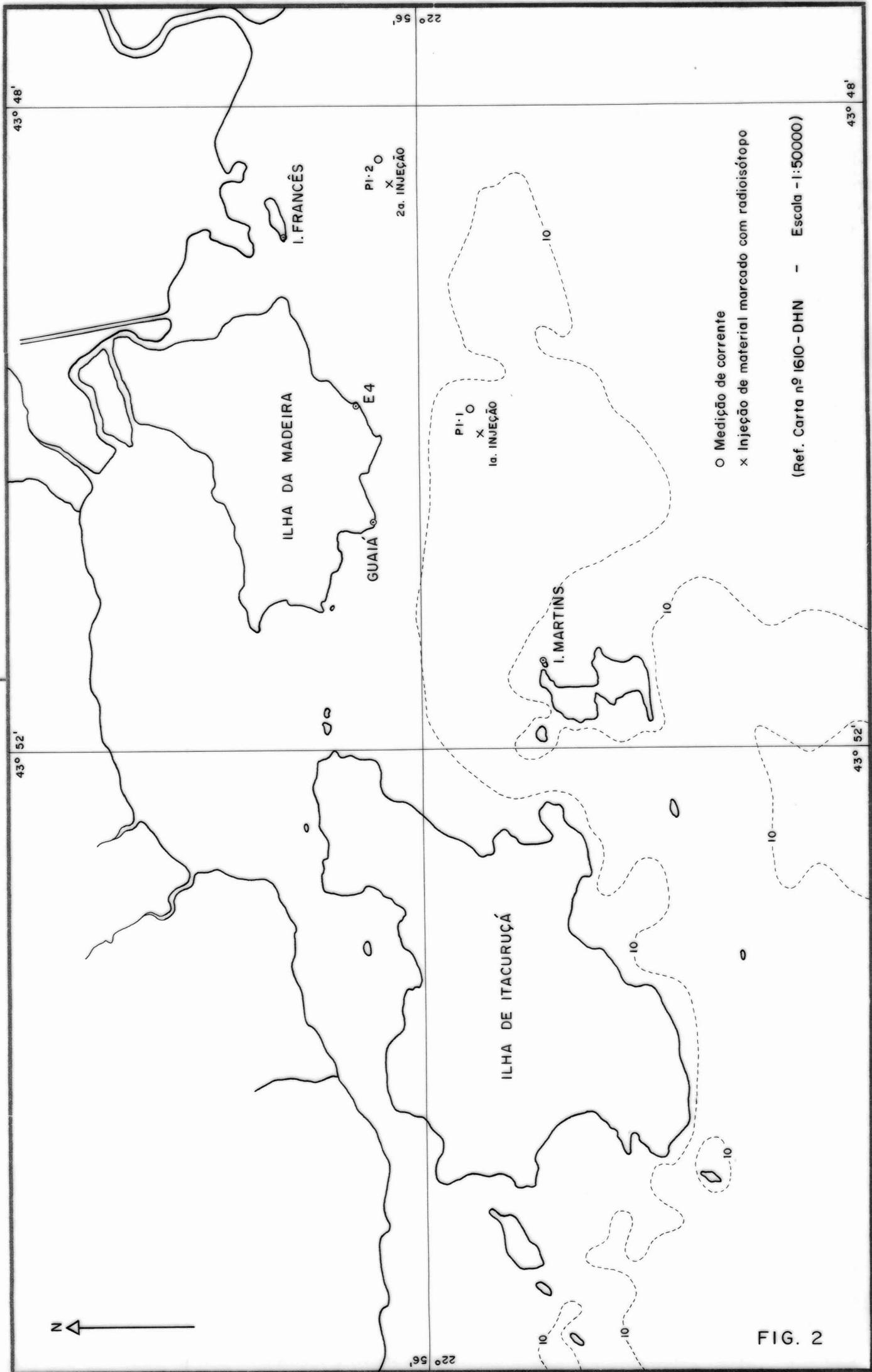


FIG. 2

O Medição de corrente
 X Injeção de material marcado com radioisótopo
 (Ref. Carta nº 1610-DHN - Escala - 1:50000)

III. ANÁLISE DAS MEDIÇÕES DE CORRENTE

3.1. CONSIDERAÇÕES PRÉVIAS.

O principal objetivo das medições de corrente de que trata o presente relatório foi o relacionamento entre as ações hidrodinâmicas despertadas pelas correntes junto ao fundo e a mobilidade do material de fundo, cujo estudo foi efetuado com a utilização de traçadores radioativos(*). A relação entre as ações hidrodinâmicas e a movimentação de sedimentos será vista no Capítulo IV.

As correntes medidas traduzem o efeito de várias causas superpostas, em diferentes combinações e com diferentes graus de intensidade em cada caso. Tais causas podem ser, em maior ou menor grau, as marés, os ventos, as vagas geradas na baía, os escoamentos fluviais e possivelmente também gradientes de salinidade e temperatura.

Não se pretende, no presente relatório, fazer estudos aprofundados com o fim de elucidar a causa das correntes ou a superposição de causas com respectivas combinações e graus de intensidade, que expliquem as correntes medidas e registradas na baía de Sepetiba durante os estudos com traçadores radioativos.

Um estudo deste tipo, que constituiria uma interessante pesquisa oceanográfica, exigiria um número muito maior de medições prolongadas, inclusive com medições si

* Estudo da Movimentação de Sedimento de Fundo na Baía de Sepetiba, com o Uso de Traçadores Radioativos.
- Pedro Edmundo Aun et al - IPR dez/75.

multâneas em outros pontos da baía, além de exigir medições de salinidade e temperatura, entre outras. Tal estudo é fora do alcance do presente relatório.

Entretanto, são transcritas mais adiante observações efetuadas relativamente à possível influência das marés e ventos nas correntes registradas entre 6/6/75 e 16/6/75, próxima aos pontos PI-1 e PI-2 (Fig. 2). Estas observações tem por objetivo fornecer subsídios ao estudo da circulação geral das correntes na baía de Sepetiba, o qual vem sendo presentemente realizado pelo INPH da Portobrás, e conta também com a colaboração do autor principal do presente relatório.

Para a análise e interpretação das medições de correntes são utilizados os dados de maré fornecido pela Tábua das Marés da DHN para a Ilha Guaíba (latitude: $23^{\circ}00',4$ S e longitude: $44^{\circ}01',8$ W), visto que não funcionou normalmente o marégrafo da ilha da Madeira, no período de 6/6 a 16/6.

São realizados estudos para avaliar a influência dos ventos locais nas correntes. Utilizam-se os registros de vento efetuados na Base Aérea de Santa Cruz (latitude: $22^{\circ}56'$ S e longitude $43^{\circ}43'$ W).

3.2. RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE CORRENTE.

3.2.1. Ponto PI-1.

3.2.1.1. Medições a Correntógrafo.

Entre 6/6 e 16/6 o correntógrafo Hydroproducts registrou as correntes a 1m do fundo, durante 19 ciclos completos de maré, abrangendo marés de sizígia, quadratura e intermediárias. Deve ser ressaltado aqui que a maior intensidade de corrente registrada nesse intervalo foi de 0.17m/s, sendo a maioria das intensidades registradas inferior a 0.10m/s. São, portanto, correntes de fraca intensidade. A direção geral das correntes registradas fica compreendida entre E-W e SE-NW.

Entre 6/6 e 11/6 os registros do correntógrafo Mecabolier a 3 metros do fundo, praticamente na mesma vertical do Hydroproducts, acusaram uma velocidade máxima de 0.25m/s, com a maioria das intensidades registradas inferior a 0.10m/s. As direções das correntes registradas a 3 metros do fundo ficaram compreendidas entre E-W e SW-NE, de maneira geral defletida ligeiramente para a esquerda, em relação à direção da corrente a 1 metro do fundo.

3.2.1.2. Medições a Correntômetro.

Durante a injeção do traçador radioativo em 6/6 nas proximidades do ponto PI-1, foram registradas correntes

a 1m do fundo, com a utilização do correntômetro Hydro-505. O aparelho funcionou de 13:40h às 16:45h em maré vazante, monitorando a corrente para o lançamento do material. A velocidade da corrente na hora da injeção era de 0.05m/s, e a direção era W, sendo que a direção geral da corrente foi aproximadamente de 300° .

No dia 11/6 foram registradas correntes ao longo da vertical, de 2 em 2 metros, a partir de 1 metro do fundo, entre 12:00h e 14:40h, abrangendo a meia maré enchente. Em geral as velocidades das correntes decresceram da superfície para o fundo sendo as correntes dirigidas nitidamente para SE, de acordo com a fase de enchente. A 1 metro do fundo a maior intensidade da corrente foi 0.19m/s e, a 1 metro da superfície, a maior intensidade foi 0.32m/s.

No dia 16/6, em maré de quadratura, o correntômetro registrou as correntes ao longo da vertical, no ponto PI-1, durante cerca de 9 horas e meia.

As velocidades registradas foram relativamente baixas, sendo $v_{\max} = 0.38\text{m/s}$ a 1m da superfície. As velocidades decresceram, de maneira geral, da superfície para o fundo, onde as maiores velocidades não atingiram 0.20m/s. O sentido da corrente ao longo da vertical obedeceu de modo geral ao fluxo e refluxo da maré. Observou-se uma nítida inversão da corrente em toda a vertical, nas vizinhanças da baixamar e preamar, devendo ser notado que 30 minutos antes de B.M. houve inversão do escoamento na metade inferior da lâmina d'água, o mesmo acontecendo 15 minutos antes da preamar, na metade superior da lâmina d'água.

3.2.2. Ponto PI-2.

No ponto PI-2 (Fig.2) foram realizadas medições a correntômetro e a correntôgrafo. O correntôgrafo Meca bolier foi instalado neste ponto no dia 11/6, a 1 metro do fundo, mas não forneceu registros aproveitáveis.

A profundidade do local de PI-2, relativamente ao zero hidrográfico, é cerca de 4 metros.

Medições a correntômetro foram realizadas em 11/6, entre 16:03h e 19:25h ao longo da vertical, de 1 metro em 1 metro, a partir do fundo.

No dia 11/6 foi realizada, às 16:31 horas, a injeção do traçador radioativo e, nesse momento, havia a 1 metro do fundo uma corrente de intensidade 0.08m/s e direção de 305°. Neste dia, de maneira geral, embora com algumas variações, as correntes ao longo da vertical, durante o período de medições (de preamar até quase meia maré vazante), estiveram orientadas para NW, sendo que as intensidades não ultrapassaram 0.20m/s a 1 metro do fundo e 0.22m/s a 3 metros do fundo.

No dia 13/6 também foram realizadas medições a correntômetro ao longo da vertical. Elas se estenderam de 13:30h às 19:10h, abrangendo as fases de maré enchente e de maré vazante. A maior velocidade de corrente registrada a 1 metro do fundo foi 0.25m/s; a 1 metro da superfície: $v_{max} = 0.29m/s$. Durante a fase de enchente o sentido geral da corrente ao longo da vertical variou entre SE e NE,

sendo, pois, em direção à extremidade E da baía, o deslocamento de água. Nas vizinhanças da preamar houve nítida inversão da corrente ao longo de toda a vertical, tendo a corrente se dirigido para W, até o término das medições (a proximadamente 1.5 horas após a preamar).

3.3. COMENTÁRIOS.

É bastante marcante o papel desempenhado pela maré nas correntes registradas em Sepetiba. As medições efetuadas ao longo da vertical mostraram uma concordância razoável entre direções de corrente e fase da maré. Assim, sistematicamente, o sentido da corrente em maré enchente ficou compreendido entre SE e NE e, em vazante, entre SW e NW.

As medições prolongadas ao longo da vertical, abrangendo enchente e vazante, em 13/6 próximo a PI-2 e em 16/6 próximo a PI-1 (Fig. 2), mostraram que as maiores velocidades relativas em cada fase ocorreram nas vizinhanças das meias marés. As inversões registradas ocorreram próximo à preamar ou baixamar, com acentuada diminuição da intensidade da corrente nessas ocasiões.

As amplitudes das marés relativas aos períodos de medições entre 6/6 e 16/6 tiveram valores compreendidos entre 0.8m e 1.0m. Essa pequena variação de amplitude não foi suficiente, de modo a se observar uma influência marca

da desse fator nas correntes registradas.

Durante o período de medições de correntes, os registros horários de vento da Base Aérea de Santa Cruz acusaram ventos com velocidades na faixa de 3 a 15 nós. Mais da metade dos ventos registrados (52.6%) provieram de SW (entre 202° e 247°), seguindo-se em porcentagem: NE (11.8%), E e S (9.2%), W (8.6%), SE (5.3%), N (2%) e NW (1.3%). Incluindo os registros horários em que não havia vento, os ventos de SW representam 32.7% do total. A maioria dos registros de vento com velocidade igual ou maior que 10 nós são de ventos SW. Estes foram, portanto, os ventos reinantes (de maior frequência) e dominantes (de maior velocidade), no período de medições de corrente.

Cálculos teóricos de corrente de deriva e de declive geradas por ventos com velocidade de 20 nós, atuando sobre uma lâmina d'água de 10 metros, em local de latitude 23° S (como em Sepetiba), indicam serem de baixa intensidade de estas correntes (cerca de 0.08m/s próximo à superfície).

Não se observou uma relação direta entre as maiores velocidades de corrente em enchente e as maiores velocidades de vento do quadrante W, nem tampouco o mesmo para correntes de vazante e ventos do quadrante E. As inversões de corrente não foram comandadas por inversões de vento e sim pelo ciclo da maré. As menores velocidades de corrente não corresponderam a períodos de calmaria mas, como já foi visto, ocorreram nas vizinhanças de preamar e baixamar, quando atuavam, às vezes, ventos com velocidade superior a 10 nós.

Apenas um fato merece ser destacado relativamente a possível ação do vento. Foi constatado um aumento sensível da velocidade da corrente de vazante próximo à superfície (cerca de 50% em intensidade), no dia 16/6, logo após o vento virar de SW para SE cerca de duas horas antes da baixamar. Esta modificação da direção do vento colocou este e a corrente na mesma direção e sentido. Mas, à medida que foi se aproximando a baixamar, a corrente foi diminuindo, terminando por se inverter apesar do vento permanecer de SE e com a mesma intensidade.

Não se pode precisar, com exatidão, a magnitude da influência do vento nas correntes registradas durante os estudos com traçadores radioativos. O que pode ser dito, com certeza, é que a influência da maré é muito mais preponderante nas correntes que a do vento.

3.4. CONCLUSÕES.

1) As correntes registradas junto aos pontos PI-1 e PI-2 (Fig. 2) em Sepetiba, entre 6/6 e 16/6/75 são de baixa intensidade, com $v_{\max} \approx 0.25\text{m/s}$ a 1 metro do fundo e $v_{\max} \approx 0.40\text{m/s}$ a 1 metro da superfície.

2) As correntes são comandadas, de maneira geral, pelo fluxo e refluxo da maré, sendo que as maiores velocidades ocorreram próximo às meias-marés e as menores velocidades e inversões se deram próximo a preamar e baixamar.

3) É de secundária importância a influência do vento nas correntes registradas, relativamente à influência da maré.

IV. AÇÕES HIDRODINÂMICAS E MOVIMENTAÇÃO DO MATERIAL DE FUNDO

Sendo a baía de Sepetiba um corpo d'água semi-confinado, a região em estudo para a construção do porto está completamente protegida da ação das ondas ao largo, estando sujeita apenas às vagas de pequena altura e curto período, geradas pelos ventos locais. Este fato, aliado às profundidades existentes nos locais estudados, faz com que o principal agente de transporte sejam as correntes, às quais são comandadas mais pela influência da maré. A possibilidade de movimento dos materiais de fundo, neste caso, é determinada a partir de cálculos das tensões de cisalhamento geradas pelas correntes no fundo, combinados a um critério de início de movimento. A tensão de cisalhamento τ_0 no fundo pode ser definida pela expressão

$$\tau_0 = \rho u_*^2$$

onde u_* é a velocidade de atrito.

Para que haja movimento no fundo, é necessário que a tensão de cisalhamento τ_0 , exercida pela corrente sobre o fundo, seja superior à tensão de cisalhamento crítica τ_c necessária para provocar o início de movimento.

O material de fundo na baía constituiu-se, na região estudada, de uma mistura de areia, silte e argila, sempre aparecendo uma fração importante de materiais finos,

suficiente para que apareçam fenômenos de coesão. No caso de elementos coesivos, numerosos ensaios realizados pelo Laboratoire Central d'Hydraulique de France, permitiram verificar empiricamente que a velocidade crítica ou a tensão crítica de cisalhamento dependem apenas da rigidez inicial τ_y do material de fundo. A rigidez inicial é determinada medindo-se o torque necessário para provocar o início de movimento do rotor de um viscosímetro de corpo girante, imerso na vasa. O aparecimento do início de erosão é dado pelas expressões

$$\tau_c = k \tau_y \quad (\tau_c \text{ e } \tau_y \text{ em N/m}^2)$$

$$u_* = k' \tau_y^{1/2} \quad (u_* \text{ em m/s e } \tau_y \text{ em N/m}^2).$$

k e k' são valores que dependem do critério de movimento adotado. Para uma movimentação franca, tem-se $k = 1$ e $k' = 0.032$, enquanto que, para início de movimento, utiliza-se um valor de $k' = 0.016$.

Estes resultados foram verificados experimentalmente, a partir de numerosos tipos de materiais coesivos, fornecendo um critério de início de movimento de boa confiabilidade e de fácil aplicação.

Para sua utilização foram coletadas inicialmente 12 amostras de fundo, nos pontos mostrados na Figura 3, pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Vários ensaios foram realizados sobre elas, inclu

indo determinações da distribuição granulométrica do material e determinações de sua rigidez inicial.

Posteriormente, o L.RI. coletou mais 8 amostras de fundo, na região situada próxima à Ilha da Madeira, das quais se determinou a distribuição granulométrica.

No que se refere às áreas nas quais foi feita a injeção de traçadores radioativos, o material de fundo é constituído por mais de 90% de silte e argila, apresentando teores em vasa entre 300g/l e 500g/l. Para material deste tipo, os valores da rigidez inicial variaram entre 1 N/m² e 10 N/m².

Apliquemos o critério de início de movimento ao material com rigidez inicial de 1 N/m² pois, se este material não se movimentar, com maior razão ficará em repouso o sedimento de $\tau_y = 10 \text{ N/m}^2$.

Para que haja início de movimento, deveremos ter uma velocidade, junto ao fundo, de

$$u_* = 0.016 \tau_y^{1/2} \quad \text{ou seja}$$

$$u_* = 0.016 \text{ m/s.}$$

Como as medidas de corrente foram realizadas a 1m do fundo, é necessário calcular, a partir de uma hipótese sobre a distribuição vertical de velocidades, qual se

ria a velocidade de corrente a 1m do fundo que produziria uma velocidade de 0.016m/s junto ao fundo. Adotemos a distribuição de velocidades próximas ao fundo de Prandtl-Von Karman

$$v = u_* 5.75 \log \frac{y}{0,108 \frac{\nu}{u_*} + 0,033ks}$$

sendo u a velocidade à distância y do fundo, ν a viscosidade de cinemática e ks o coeficiente de rugosidade de Nikuradse. Considerando o valor deste coeficiente como desprezível, por tratar-se de um fundo liso em vasa, e tomando $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ e $u_* = 0.016\text{m/s}$, obtém-se

$$v = 0,48\text{m/s}.$$

Portanto, mesmo utilizando-se o valor mais baixo para a rigidez inicial dos materiais de fundo analisados, o valor da corrente a 1m do fundo, capaz de dar início ao movimento, é superior aos valores medidos a 1 metro do fundo, que não ultrapassam a 0.25m/s.

Portanto, a aplicação deste critério de início de movimento indica que se deve esperar pouca ou nenhuma movimentação do material de fundo sob a ação de correntes, as quais são o principal agente hidráulico no local. Há, pois, concordância entre os resultados obtidos a partir de

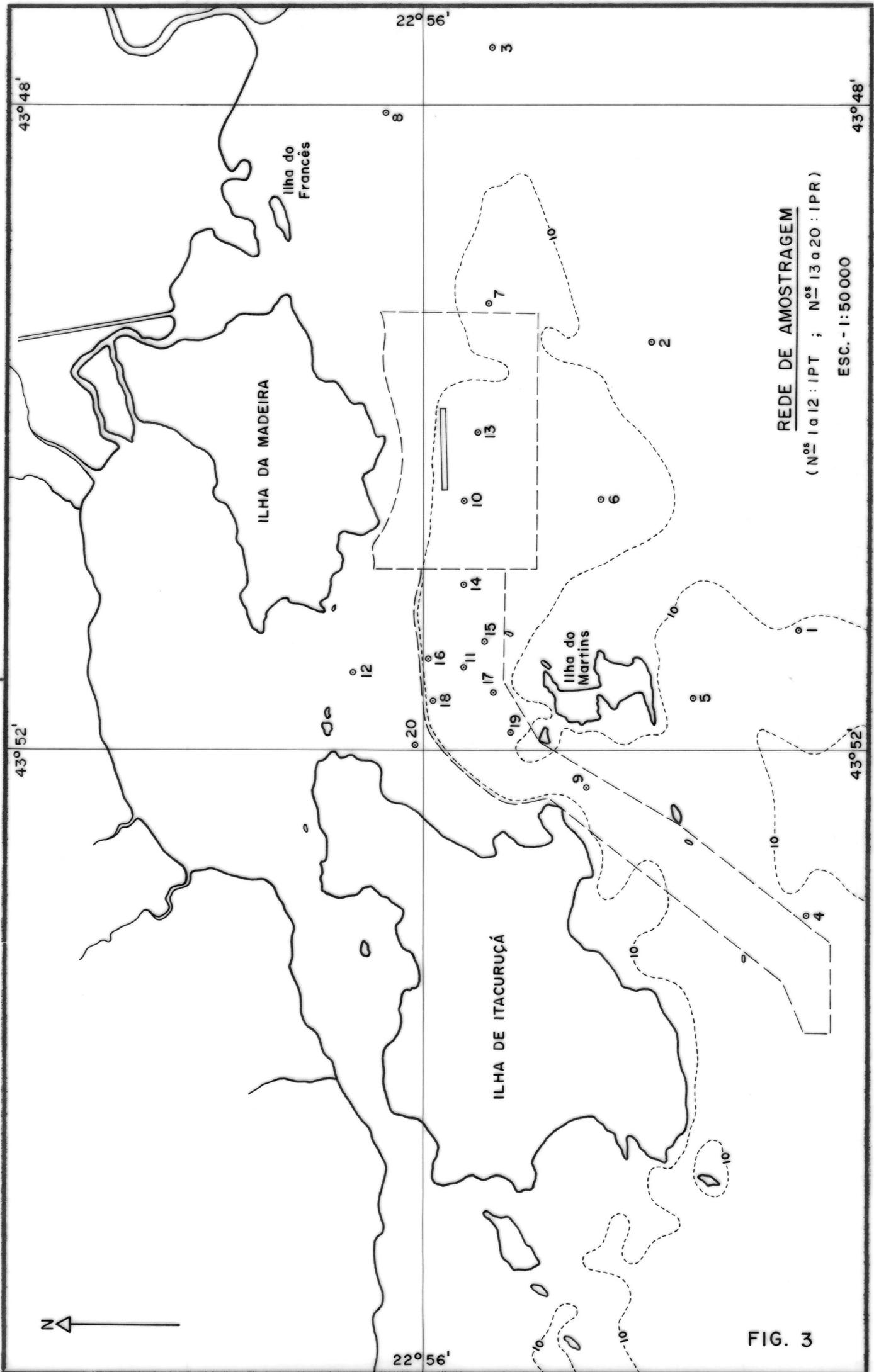


FIG. 3

cálculos hidráulicos e os conseguidos com a utilização de traçadores.

V. CONCLUSÕES GERAIS E RECOMENDAÇÕES

1. As correntes registradas na baía de Sepetiba, entre 6/6 e 16/6 próximo às ilhas da Madeira e do Francês tiveram valores baixos, não excedendo a 0.25m/s a 1 metro do fundo e a 0.40m/s a 1 metro da superfície.
2. O agente hidráulico mais influente nas correntes registradas na baía de Sepetiba é a maré, sendo de secundária importância a influência do vento. As maiores velocidades ocorreram próximo às meias-marés e as menores velocidades e inversões aconteceram próximo a preamares e baixamares.
3. Entre 6/6 e 16/6 durante as medições de corrente, os ventos registrados na região tiveram velocidades na faixa de 3 a 15 nós. Os ventos reinantes e dominantes foram de SW.
4. É desprezível a movimentação do material de fundo na região onde serão construídas as instalações portuárias em Sepetiba. Tal fato ficou comprovado com os trabalhos sedimentológicos efetuados com a utilização de traçadores radioativos.
5. Para estudo da estabilidade dos taludes dos canais a serem dragados bem como para um possível despejo do material dragado no interior da baía, recomendam-se estudos sedimentológicos com traçadores radioativos.

No primeiro caso poderá ser verificado, de um modo direto, se há ou não deslizamento de um talude de determinada inclinação, em canal dragado em fundo de natureza silto-argilosa. A escolha de um talude de inclinação ótima poderá trazer economia ponderável na construção do complexo portuário.

No segundo caso será possível verificar se, escolhido um determinado local no interior da baía para despejo do material dragado, tal local é conveniente sob o ponto de vista do material ali despejado não regressar em curto prazo à área de dragagem.

A exequibilidade do despejo de material dragado no interior da baía seria um fator de economia no custo do transporte do material dragado.

Recomenda-se a execução de estudos para escolha de local de despejo do material dragado, após um conhecimento razoável do panorama geral de circulação de correntes na baía de Sepetiba, bem como da existência ou não de variações temporais.