

ESTUDO DE VIABILIDADE PARA UM LOCAL DE DESPEJO  
DE DRAGAGEM NA BAÍA DE SEPETIBA, COM O  
USO DE TRAÇADORES RADIOATIVOS.

Dezembro de 1977

ESTUDO DE VIABILIDADE PARA UM LOCAL DE DESPEJO DE DRAGAGEM  
NA BAÍA DE SEPETIBA, COM O USO DE TRAÇADORES RADIOATIVOS

AUTORES

Pedro Edmundo Aun  
Jefferson Vianna Bandeira  
José Olympio N. M. de Castro  
Rubens Martins Moreira

EQUIPE DE CAMPO

Pedro Edmundo Aun  
Jefferson Vianna Bandeira  
José Olympio N. M. de Castro  
Rubens Martins Moreira  
Christian E. Dobereiner (INPH)  
Ricardo da Silva Gomes  
José Joaquim Lima de Campos  
Antonio Fioravante Neto  
Antenor Alves de Resende  
Ricardo Ferracini Correia

EQUIPE DE ANÁLISE DOS ESTUDOS COM TRAÇADORES

Pedro Edmundo Aun  
José Joaquim Lima de Campos  
Vera Lúcia Mendes Dias da Costa  
Luiz Raphael Aun  
Rodrigo Otávio Pena Dolabela

CONSULTOR

Eng, Victor Freire Motta

## I N D I C E

	PÁGINA
1. INTRODUÇÃO	1.
2. INFORMAÇÕES GERAIS SOBRE A BAÍA DE SEPETIBA	3.
3. ESTUDOS PRÉVIOS	4.
4. ANÁLISE PRÉVIA DO PROBLEMA	9.
5. O EMPREGO DE TRAÇADORES	13.
6. O MÉTODO DE ANÁLISE DE UMA DETECÇÃO DE FUNDO	17.
7. O TRABALHO DE CAMPO	20.
7.1. Descrição Geral.	20.
7.2. Análise da Injeção de 11 de Junho.	25.
7.3. Análise da Injeção de 17 de Junho.	33.
7.4. Análise da Injeção de 19 de Junho.	37.
7.5. Análise da Injeção de 30 de Junho.	38.
7.6. Análise da Injeção de 19 de Julho.	40.
7.7. A Espessura de Deposição do Material de Fundo.	42.
8. CONCLUSÕES	43.

REFERENCIAS

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - O Programa de Trabalho Proposto
- Tabela 2 - Dados sobre os Pontos de Injeção
- Tabela 3 - Dimensões Aproximadas das Nuvens
- Tabela 4 - Evolução das Áreas das Curvas de Isocontagem  
com o Tempo, entre 11/06 e 17/06
- Tabela 5 - Evolução das Áreas com o Tempo, em Porcentagem,  
entre 11/06 e 17/06
- Tabela 6 - Recuperação a Partir das Curvas de Isocontagem,  
entre 12 e 17/06
- Tabela 7 - Atividade Recuperada nas Detecções, entre  
11/06 e 17/06

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Carta da Região Estudada
- Figura 2 - Localização dos Pontos de Injeção
- Figura 3 - Curvas de Isoconcentração - 12/06/77
- Figura 4 - Curvas de Isoconcentração - 13/06/77
- Figura 5 - Curvas de Isoconcentração - 14/06/77
- Figura 6 - Curvas de Isoconcentração - 17/06/77
- Figura 7 - Integração das Curvas do dia 12/06/77
- Figura 8 - Integração das Curvas do dia 13/06/77
- Figura 9 - Integração das Curvas do dia 14/06/77
- Figura 10 - Integração das Curvas do dia 17/06/77
- Figura 11 - Evolução da Curva de 600c/s no tempo -  
- Injeção de 11/06/77
- Figura 12 - Corte das Curvas de Isocontagem -  
Dias 12, 14 e 17/06/77
- Figura 13 - Diagrama de Transporte Referente ao dia 14/06/77
- Figura 14 - Curvas de Isoconcentração - 17/06/77 - 2a. Inj.
- Figura 15 - Curvas de Isoconcentração - 18/06/77 - 2a. Inj.
- Figura 16 - Integração das Curvas do dia 17/06/77 - 2a. Inj.
- Figura 17 - Integração das Curvas do dia 18/06/77 - 2a. Inj.
- Figura 18 - Evolução da Curva de 600c/s no Tempo -  
- Injeção de 17/06/77
- Figura 19 - Corte das Curvas de Isocontagem -  
Dias 17 e 18/06/77 - 2a. Inj.
- Figura 20 - Curvas de Isoconcentração - 30/06 - 4a. Inj.
- Figura 21 - Integração das Curvas de Isoconcentração de  
30/06/77 - 4a. Inj.
- Figura 22 - Curvas de Isoconcentração - 01/07/77
- Figura 23 - Integração das Curvas de Isoconcentração -  
- 01/07/77

# ESTUDO DE VIABILIDADE PARA UM LOCAL DE DESPEJO DE DRAGAGEM NA BAÍA DE SEPETIBA, COM O USO DE TRAÇADORES RADIOATIVOS

## 1. INTRODUÇÃO

A Companhia Docas do Rio de Janeiro está construindo, na Baía de Sepetiba, um novo porto para servir ao Estado do Rio de Janeiro. O serviço de dragagem necessário ao seu estabelecimento está sendo realizado pela Companhia Brasileira de Dragagem (CBD), que utilizava principalmente, na época deste trabalho, a draga "Guanabara", do tipo "hopper", com a capacidade de 4000m<sup>3</sup>. O material por ela dragado nas proximidades da Ilha da Madeira está sendo descarregado, atualmente, fora da Baía da Ilha Grande, próximo à Ponta dos Castelhanos (Fig. 1). Este procedimento exige uma viagem de 8 horas entre o término de uma operação de dragagem e o retorno da draga ao local de serviço. Em vista disso, torna-se claro o interesse em utilizar uma região de despejo mais próxima da área de dragagem, preferivelmente dentro da própria baía de Sepetiba. Nesta região deverão ser realizados estudos que assegurem que o material nela despejado não retorne à região de dragagem, nem contamine praias ou locais habitados.

O presente relatório descreve os trabalhos realizados pela Divisão de Radioisótopos do Instituto de Pesquisas Radioativas da Nuclebrás na baía de Sepetiba, nos meses de junho e julho de 1977. O trabalho resultou de um

contrato assinado entre a Empresa de Portos do Brasil - POR  
TOBRÁS - e as Empresas Nucleares Brasileiras - NUCLEBRÁS -,  
sendo órgãos executores o Instituto de Pesquisas Hidroviá  
rias (INPH) e o Instituto de Pesquisas Radioativas (IPR).

A finalidade do trabalho era avaliar a possibi  
lidade de se utilizar uma área alternativa, a leste das i  
lhas de Jaguanum e Pombeba, como local para rejeito do ma  
terial dragado da região do porto. Esta área fora defini  
da em função de estudos prévios e está apresentada na Fig.  
2.

Participaram também do trabalho de campo o Insti  
tuto de Pesquisas Hidroviárias e o Instituto de Pesquisas  
da Marinha. A Companhia Brasileira de Dragagem cedeu a  
draga para os estudos, na qual foram executados os serviços  
de marcação radioativa do material dragado. O sistema de  
posicionamento foi fornecido pela Decca Survey Systems.

## 2. INFORMAÇÕES GERAIS SOBRE A BAIÁ DE SEPETIBA

A baía de Sepetiba está localizada na região su deste do Brasil, aproximadamente a 100km a oeste do Rio de Janeiro. Suas dimensões aproximadas são de 25km no sentido leste-oeste e 12,5km no sentido norte sul, com uma área de cerca de 312km<sup>2</sup>. A baía é relativamente bem protegida das perturbações geradas por ondas de mar aberto, devido à existência da Restinga de Marambaia, uma "barrier beach" com cerca de 40km de comprimento, na direção E-W (Fig. 1). A entrada principal da baía está localizada em sua região oeste, através de passagens e canais entre a terra firme e várias ilhas. Em termos de circulação de águas, a entrada leste, através da Barra de Guaratiba, tem pequena importância, devido às suas baixas profundidades e pouca largura.

Os rios Itaguaí e Guandu e vários canais drenam para a baía a região localizada a sudoeste do Rio de Janeiro. As marés locais são semi-diurnas, com alturas máximas em sizígia da ordem de 1,5m. As vagas geradas por ventos locais raramente excedem 0,8m de altura, com períodos curtos, entre 2 e 3 segundos.

As velocidades máximas de vento são da ordem de 20 nós e ocorrem nos meses de inverno, principalmente de direções em torno de sul.

Medidas de salinidade e temperatura mostraram variações verticais relativamente pouco importantes, exceto nas regiões próximas às embocaduras dos rios. (1).



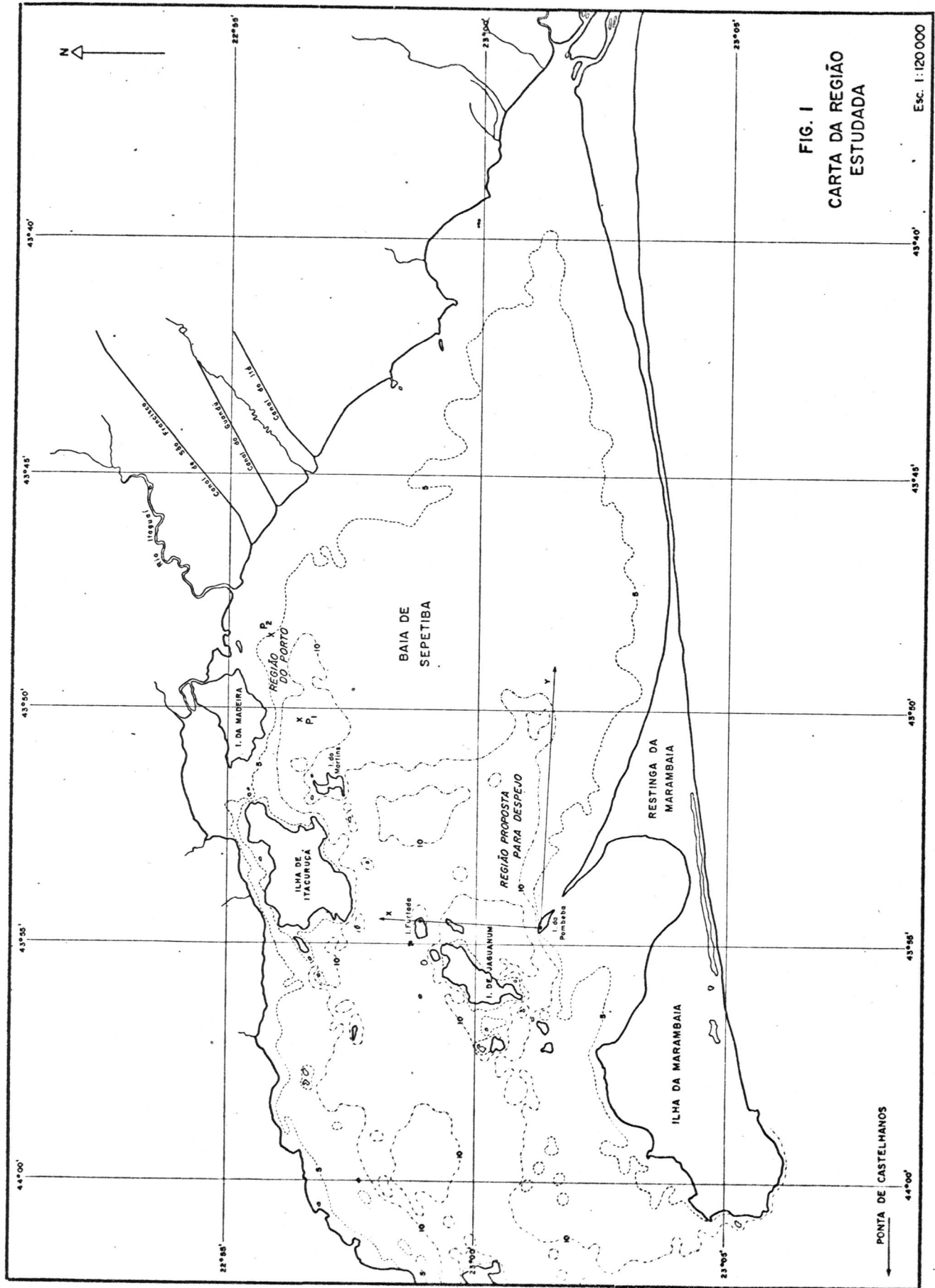


FIG. I  
CARTA DA REGIÃO  
ESTUDADA

Esc. 1:120.000

PONTA DE CASTELHANOS

### 3. ESTUDOS PRÉVIOS

Na baía de Sepetiba está sendo construído um porto que servirá como alternativa ao porto do Rio de Janeiro. A implantação deste porto vai exigir um trabalho de dragagem importante, durante o estabelecimento do canal de acesso, da bacia de evolução e da região de cais. Em vista disso, vários estudos hidráulicos, geológicos e sedimentológicos foram e estão sendo realizados na baía de Sepetiba.

Um destes estudos prévios foi realizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2), cujas conclusões principais resumimos a seguir. "Os elementos analisados pelo IPT indicaram 3 fontes principais, de origem oceânica, para os sedimentos que penetram na baía de Sepetiba. A 1ª é formada pelos canais da Barra de Guaratiba, sendo a menos importante delas. A segunda em importância é formada pela região entre a Ilha Grande e o Morro da Marambaia. A mais importante delas se origina na Baía da Ilha Grande, passando entre esta ilha e o continente. Os sedimentos das duas últimas fontes se misturam ao entrarem na baía de Sepetiba e sua circulação faz-se pelas seguintes passagens: entre as ilhas de Itacuruçá e Jaguanum, entre a ilha de Jaguanum e o Morro da Marambaia e entre as ilhas de Itacuruçá e do Batuque, desembocando no Saco da Coroa Grande. Estas entradas originam frentes de sedimentação que tendem, a longo prazo, a produzir o enchimento da baía. A contribuição de sedimento de origem fluvial é pequena, tendo importância somente nas regiões próximas à embocadura dos rios e canais. Apesar da tendência, a longo prazo, de uma dimi

nuição na profundidade geral da baía (que é caracterizada como uma região semi-confinada sofrendo um processo de se dimentação), há uma relativa estabilidade dos fundos em termos de prazos mais curtos. Esta característica é favo rável ao estabelecimento de um porto na região."

Entretanto, é necessário caracterizar, na região do porto e do canal de acesso, a tendência de movimentação do fundo natural, o que pode ser feito com a utilização de traçadores. Uma previsão da movimentação esperada pode ser feita a partir de dados sobre as correntes existentes na baía e sobre as características do sedimento de fundo. As medidas de direção e velocidade de correntes foram realizadas pelo Instituto de Pesquisas Hidroviárias, entre setem bro de 1974 e setembro de 1975. Elas foram realizadas ao longo das verticais de vários pontos da baía, durante ci clos completos de maré, cobrindo marés médias, marés de si zília e marés de quadratura. Uma análise sistemática des tes dados (3) mostrou que as correntes na baía de Sepetiba são de baixa intensidade, sendo obtido um valor máximo de 0,8m/s, na superfície, entre as ilhas do Martins e de Itacuru çã. Na região do porto, as correntes são ainda mais fracas, com uma velocidade máxima de 0,25m/s, a 1m do fun do, e de 0,50m/s, na superfície.

A direção principal da corrente é E-W; a maré é o principal agente hidráulico que governa as correntes. As inversões no escoamento ocorrem nas proximidades da prea mar e da baixamar.

Os estudos feitos para detectar a influência dos ventos na circulação das correntes mostraram que este agenu

te tem importância secundária em relação à maré. O mesmo ocorre em relação ao efeito dos gradientes salinos e térmicos. Durante esta análise, determinou-se que a circulação das águas na baía parece favorecer o lançamento de material dragado na região a leste da ilha da Pombeba, em profundidades maiores que 10m, do ponto de vista de evitar o seu retorno ao local de dragagem. Esta conclusão, devido à sua alta importância econômica, deu origem ao estudo que constitui a parte principal deste relatório.

Os dados de corrente foram utilizados, junto com as características do material do fundo, para prever-se a movimentação do sedimento na região do porto. Foram coletadas e analisadas amostras em 20 pontos desta região, que mostraram tratar-se de um fundo em material coesivo, com concentrações de silte e argila variando entre 300g/l e 500g/l. Uma estimativa do movimento esperado foi obtida com a aplicação dos critérios desenvolvidos por Migniot (4) para a erosão de material coesivo por correntes. Este método é baseado na determinação da rigidez inicial  $\tau_y$  do material, obtida pelo torque necessário para iniciar o movimento de um rotor nele imerso. A tensão crítica de cisalhamento  $\tau_c$  é definida como sendo igual a  $\tau_y$ . A velocidade crítica de cisalhamento  $u_*$  é dada por

$$u_* = 0,032\tau_y$$

Os valores de  $\tau_y$  para as amostras da região variaram entre 1 e 10 N/m<sup>2</sup>. As correntes medidas, extrapoladas para uma distância de 1m do fundo por uma lei logarítmica, não tem velocidades suficientes para colocar o material do

fundo em suspensão. É de se esperar, portanto, uma pequena movimentação do material de fundo nesta região. Para confirmar estes resultados, duas injeções de traçadores radioativos (5,6) foram realizadas na baía, nos pontos 1 e 2 da Figura 1. Para assegurar-se a representatividade do traçador, o material do leito foi marcado diretamente com um traçador radioativo. Várias detecções foram feitas, utilizando-se a técnica que será descrita posteriormente neste relatório. Os resultados mostraram que, durante o período experimental, a movimentação do sedimento foi muito pequena.

O conjunto de estudos preliminares que acabamos de relatar forneceu duas informações preliminares importantes para os estudos de definição de um local para despejo de dragagem:

- a) Os resultados de medidas de correntes sugeriram um possível local para despejo de material dragado, situado na região imediatamente a leste das ilhas de Jaguanum e Pombeba, para o qual foram programados os estudos apresentados neste relatório. Antes do início do estudo desta área, foi realizada nela uma batimetria detalhada, verificando-se que as profundidades da região estavam em torno de 10m.
- b) Os resultados com traçadores indicaram que o material retirado do fundo e nele recolocado, tende a se manter estável. Este resultado indica que o rejeito de dragagem que for descarregado

e atingir o fundo tenderá a manter-se no local de deposição. Entretanto, como as concentrações do material de fundo que produziu estes resultados são muito diferentes das concentrações do material contido no poço da draga, é necessário realizar testes com o próprio material dragado. Isto porque a vasa retirada do fundo pela draga é diluída pela água que acompanha o bombeamento e, mesmo com a operação de "over-flow" que a draga realiza, sua concentração não se aproxima das 300g/l do material natural do fundo. Portanto, os resultados das medidas de movimentação de sedimento no fundo citadas nas referências 5 e 6 constituem uma indicação favorável - mas não conclusiva - que deve ser verificada experimentalmente. Nos trabalhos realizados em Sepetiba e aqui relatados, a dragagem era encerrada logo que o poço da draga se enchia, para evitar perdas de traçador. Com isto, a concentração do material injetado é inferior à concentração habitual do material dragado. Os resultados obtidos no trabalho de campo, descritos neste relatório, estão, pois, do lado da segurança.

#### 4. ANÁLISE PRÉVIA DO PROBLEMA

Após o término de uma operação de dragagem, a draga se movimenta até o local de despejo e abre suas portas. O material nela contido entra em suspensão na região de despejo. Parte dele poderá deslocar-se ainda em suspensão, por efeito das correntes existentes, para outros locais. Outra parte do material descarregado irá depositar-se no fundo da região de despejo, onde, em função das ações hidrodinâmicas reinantes, poderá ou não permanecer. Portanto, um estudo de viabilidade de um local para despejo de material dragado deverá envolver:

- a) um estudo do comportamento do material em suspensão, imediatamente após sua descarga;
- b) um estudo da movimentação do material que, após a descarga, depositou-se no fundo.

Ambos podem ser realizados com a utilização de traçadores radioativos. Para serem conclusivos, estes estudos devem cobrir as condições hidráulicas mais importantes reinantes no local, principalmente aquelas que tem possibilidade de levar o material para regiões críticas. Estudos prévios haviam indicado que o principal agente hidráulico na região em estudo são as marés. Decidiu-se, portanto, distribuir as várias injeções de traçador entre períodos de maré vazante e maré enchente. Como, em sizígia, é de se esperar que ocorram as maiores velocidades de corrente, foi resolvido concentrar nesta fase os estudos sobre a movimentação de sedimento em suspensão.

As maiores velocidades de corrente que se podem esperar em sizígia correspondem a maiores deslocamentos do material em suspensão, ou seja, ao caso mais desfavorável.

Na época dos estudos, as sizíguas ocorreram em torno dos dias 16 de junho (lua nova) e 19 de julho (lua cheia). As datas das injeções de traçador foram definidas num entorno destes dias, a partir de cálculos sobre a velocidade média de enchimento e esvaziamento da maré, durante uma dada sizígia. Foram adotados os dias em que estas velocidades eram maiores. Estes cálculos foram realizados com base na "Tabua das Marés para o ano de 1977", da Diretoria de Hidrografia e Navegação, correspondentes à Ilha Guaíba. Estes dados nem sempre concordam com os dados do marégrafo instalado na Ilha da Madeira, os quais serão apresentados no relatório sobre as medidas hidráulicas realizadas no decorrer do trabalho com traçadores.

Além destas injeções em sizígia, foi previsto um lançamento em maré de quadratura, com dupla finalidade:

- a) Comparar os dados obtidos em sizígia e quadratura;
- b) Como as menores velocidades de corrente em quadratura devem favorecer a deposição do material no fundo, esta injeção foi utilizada para acompanhar a evolução do material que, após o lançamento pela draga, depositava-se na região em estudo.



Com base nestas considerações, foi preparado o programa de trabalho apresentado na Tabela 1, o qual foi cumprido tão rigorosamente quanto possível. Todas as injeções de traçador nele previstas foram realizadas. Cada trabalho definido nesta tabela consta de uma injeção do material contido na draga e marcado com um traçador radioativo, da detecção do movimento deste material em suspensão e de sua detecção no fundo da região em estudo, após sua decantação.

No programa previsto, não foram realizadas as medidas a correntômetro, devido a problemas técnicos. Elas foram substituídas pela realização de campanhas de medidas com flutuadores, realizadas em caráter intensivo durante todo o período experimental.

**PROGRAMAÇÃO DE SEPETIBA  
(TRABALHO DE CAMPO)**

JUNHO		PROGRAMA DE TRAÇADORES	PROGR. MED. HIDRÁULICAS	FASE DE MARÉ	HORA	OBSERVAÇÕES
6	SEG.					
7	TER.	VIAGEM BH - SEPETIBA	LANÇAMENTO CORRENTÓGRAFO			
8	QUA.	MED. RUIDO DE FUNDO				
9	QUI.	" " " "				IRRADIAÇÃO
10	SEX.	PREPARO INJ. SUSPENSÃO	FLUTUADORES (2 BARCOS)		10:30 MV	
11	SAB.	1º LANÇAMENTO EM SUSPENSÃO		ESTOFA BM	06:30	DET. FUNDO SUSP.
12	DOM.	DETECÇÃO DE FUNDO				
13	SEG.	DETECÇÃO DE FUNDO				
14	TER.	—	FLUTUADORES (2 BARCOS)		10:00 MME e 15:00 MV	
15	QUA.	—	CORRENTÔMETRO PTO 36 e 37		08:20 e 20:41	IRRADIAÇÃO
16	QUI.	PREPARO DE INJ. EM SUSPENSÃO	CORRENTÔMETRO PTO 34 e 35		08:36 e 21:06	IRRADIAÇÃO PREP. INJ. SUSP.
17	SEX.	2º LANÇAMENTO EM SUSPENSÃO		MMV	06:20	DET. SUSP.
18	SAB.	3º LANÇAMENTO EM SUSPENSÃO		MMV	06:45	DET. SUSP.
19	DOM.		CORRENTÔMETRO PTO J e K		09:44 e 22:17	
20	SEG.	ALTERNATIVA MMV	CORRENTÔMETRO PTO H e I	MMV	10:32 e 23:06 09:30	TROCAR DATA MANUTENÇÃO
21	TER.		RELANÇAMENTO CORRENTÓGRAFO			
22	QUA.					
23	QUI.					
24	SEX.					
25	SAB.					
26	DOM.					
27	SEG.	VIAGEM BH. SEPETIBA				
28	TER.		FLUTUADORES (2 BARCOS)		09:00 ME	IRRADIAÇÃO
29	QUA.	PREPARO INJ. EM SUSPENSÃO	CORRENTÔMETRO 40 e 41		08:12 e 21:00	IRRADIAÇÃO
30	QUI.	4º LANÇAMENTO EM SUSPENSÃO		MME	12:00	PREP. INJEÇÃO DET. SUSP.
JULHO	1	5º LANÇAMENTO EM SUSPENSÃO		MME	12:30	DET. SUSPENSÃO
	2	ALTERNATIVA MME - MMV		MME - MMV	13:37 e 07:16	
	3					
	4	ALTERNATIVA MMV		MMV	08:53	TROCAR DATA MANUTENÇÃO

## 5. O EMPREGO DE TRAÇADORES

Um traçador é utilizado para marcar uma fração de uma população. Medindo-se sua distribuição, pode-se deduzir o comportamento da população que ele representa e medir parâmetros tais como velocidades de movimentação, dispersão e concentrações. Os traçadores radioativos emissores gama e certos corantes permitem a realização de medidas contínuas e in-situ. O traçador deve ser representativo do comportamento da população. No caso aqui tratado, a representatividade é obtida marcando-se, com um radioisótopo, a carga da draga. O método de traçadores é um método integrador, isto é, obtém-se a resultante de todos os efeitos sofridos pelo traçador desde sua injeção até o momento da detecção. Não é assim possível, em geral, separar os efeitos produzidos por cada um dos agentes hidráulicos que atuam sobre ele. É, portanto, necessário que, durante todo o trabalho, sejam realizadas medidas que permitam caracterizar os agentes hidráulicos atuantes: ventos, correntes, marés.

Os objetivos gerais da utilização de traçadores são:

- a) verificar a validade de hipóteses sobre o transporte do material em estudo;
- b) descrever os modos de transporte que ocorreram;
- c) quantificar os parâmetros que caracterizam o transporte.

No caso em estudo, o problema apresenta dois aspectos que devem ser estudados:

- a) a movimentação do material dragado em suspensão, logo após seu despejo;
- b) o comportamento do material que, após o despejo, depositou-se no fundo.

Este tipo de trabalho é realizado marcando-se a carga da draga com um traçador radioativo. Como o material dragado é constituído quase exclusivamente de argila e silte, o método de marcação habitual consiste em adsorver ouro radioativo nas partículas de uma certa quantidade de vasa, que, em seguida, é misturada à carga da draga. O misturamento é assegurado fazendo-se a injeção do sedimento marcado na saída de uma das bombas de dragagem, durante toda a operação de carregamento.

O ouro 198 é um emissor gama, com energia de radiação de 411 kev e com 2,7 dias de meia-vida. O método usado foi testado exaustivamente em diversos países, de modo a se assegurar que o processo de marcação não modifica o comportamento hidrodinâmico do material marcado em relação ao sedimento natural (o ouro, sob a forma de  $\text{HAuCl}_4$ , é espontaneamente reduzido ao entrar em contato com vasas). O rendimento da marcação é alto (> 98%) e a fixação do ouro sobre o sedimento é extremamente estável. Após a marcação da draga, esta se desloca até o local do estudo, onde se procede à descarga. O método de detecção de material em suspensão utiliza, em geral, dois barcos. Cada um deles transporta duas (ou mais) sondas de detecção de

radiação, que são mantidas a diferentes profundidades. Os barcos percorrem a nuvem radioativa, de acordo com uma técnica de detecção pre-estabelecida. Em uma destas técnicas, os barcos navegam perpendicularmente um ao outro e procuram sempre se manterem na região de maior concentração de material, que corresponde à região nas quais as sondas radioativas fornecem maiores contagens.

Em outra técnica, um dos barcos cobre inteiramente, sucessivas vezes, a nuvem radioativa causada pelo sedimento despejado, enquanto o outro procura manter-se na região de maior contagem.

Ambas as técnicas fornecem os dados necessários para a determinação dos parâmetros de dispersão da nuvem (coeficientes de dispersão, por exemplo) e para o cálculo da taxa de sedimentação do material despejado. Além destes parâmetros, pode-se determinar ainda a velocidade e a direção do deslocamento do sedimento marcado e a massa de sedimento em suspensão presente em cada medida completa da nuvem.

O trabalho prossegue enquanto as concentrações de material em suspensão são mensuráveis pelo equipamento de detecção.

Terminada a parte do estudo em suspensão, inicia-se o levantamento do material que se depositou no fundo. Este trabalho é feito por um barco que arrasta pelo fundo um trenô, ao qual vai fixada uma sonda de detecção de radiação. O barco cobre toda a nuvem radioativa depositada no fundo, realizando trajetórias paralelas, durante as

quais se registra a posição do barco em instantes sucessivos, e a taxa de contagem correspondente a cada posição. Uma cobertura completa da nuvem é denominada uma detecção. Realizando-se várias detecções, em dias sucessivos, pode-se acompanhar a evolução, no tempo, da nuvem radioativa depositada no fundo. A integração das contagens obtidas em uma dada detecção permite verificar-se qual a porcentagem do material injetado que permaneceu nas áreas de injeção. A análise de várias detecções consecutivas fornece informações sobre a permanência ou o desaparecimento do material descarregado na região em estudo.

## 6. O MÉTODO DE ANÁLISE DE UMA DETECÇÃO DE FUNDO

Ao terminar uma detecção de fundo, dispõe-se das posições sucessivas do barco em intervalos de tempo fixos e das contagens registradas pela sonda de detecção em cada um destes intervalos.

As posições do barco permitem traçar sua trajetória e calcular a sua velocidade em cada intervalo. As contagens obtidas devem sofrer algumas correções:

- a) É necessário subtrair de cada contagem o ruído de fundo natural, o qual foi obtido em uma cobertura prévia do fundo, antes da injeção de material radioativo
- b) Corrige-se também o decaimento radioativo, a partir do valor da meia-vida do material utilizado. Cada radioisótopo tem uma meia-vida característica, definida como o tempo necessário para que uma dada quantidade dele se reduza à metade de seu valor inicial. Esta correção só é necessária para o estabelecimento do diagrama de transporte, que será definido posteriormente.

As contagens, após as correções a) e b), são lançadas na carta que representa as posições sucessivas do barco que realizou a detecção. Une-se, então, por uma linha contínua, todos os pontos que apresentem as mesmas contagens. O conjunto de curvas obtido é denominado um diagrama

ma de curvas de isocontagem ou de isoconcentração. Calcula-se a área interior a cada uma das curvas, isto é, a superfície da região em estudo na qual ocorreram contagens superiores a um dado valor. Constroi-se então um diagrama, no qual se representa, em um eixo, a taxa de contagem e, no outro eixo, a área ocupada pela curva definida por aquela taxa de contagem. A área deste último diagrama representa a recuperação  $N$  do material radioativo detectado no fundo e é dada em contagens por segundo vezes metros quadrados.

A resposta da sonda de detecção a uma atividade unitária ( $1 \mu\text{Ci}$ ) e uniformemente distribuída é obtida experimentalmente, em laboratório. Para uma atividade unitária distribuída na superfície, o parâmetro obtido é representado por  $f_0$ . Este parâmetro é dado em contagens por segundo por microcurie por metro quadrado.

A divisão de  $N$  por  $f_0$  permite determinar a atividade total das curvas de isodose, em  $\mu\text{Ci}$ . Os valores obtidos são comparados com o valor da atividade injetada. Pode-se, pois, medir a quantidade de material que, após uma injeção, depositou-se no fundo. As detecções sucessivas permitem verificar se o material depositado permanece no fundo ou se parte dele é retirada do local, por efeito das ações hidrodinâmicas reinantes na região.

Um outro método de análise, que conduz ao mesmo resultado, é baseado na construção do "diagrama de transporte". Neste caso, calcula-se a contagem total recuperada em cada linha individual descrita pelo barco. O diagrama é construído fazendo-se corresponder a contagem de cada linha à posição definida pela intercessão da linha com a



direção de transporte. O "diagrama de transporte" representa, portanto, a distribuição em frequência dos comprimentos de deslocamento de cada partícula de material radioativo, projetada sobre o eixo de transporte. A área deste diagrama fornece também o valor N anteriormente obtido e permite calcular-se a quantidade de material radioativo que foi visto pela sonda de detecção.

Em todo o trabalho, é adotada a hipótese de que o material radioativo descarregado pela draga distribuiu-se sobre o fundo em uma camada de pequena espessura. Neste caso, não é necessário considerar-se a absorção da radiação pelo próprio material marcado, o que ocorreria se a espessura de deposição fosse grande. Esta hipótese foi confirmada pelos resultados experimentais.

## 7. O TRABALHO DE CAMPO

### 7.1. DESCRIÇÃO GERAL.

O radioisótopo utilizado foi o ouro 198, com atividades entre 1 e 3Ci no momento da injeção. O material foi irradiado no Reator do Instituto de Pesquisas Radioativas, em uma massa de 3g por injeção, sob a forma de laminas finas de ouro.

O processo de marcação consta da dissolução do ouro em água régia e de sua posterior neutralização com hidróxido de sódio diluído. Este material é misturado com alguns litros de vasa dragada, a qual é posteriormente injetada no poço da draga, por meio de uma bomba peristáltica. A mistura da vasa marcada com a vasa dragada é distribuída ao longo de toda a operação de dragagem, para obter-se um bom misturamento do traçador em todo o poço. A draga desloca-se então até o ponto de injeção, onde é feita a descarga. Imediatamente, 2 barcos, cada um com 2 sondas de detecção, começam a percorrer a nuvem radioativa produzida pelo material. A detecção prossegue até que se atinjam concentrações abaixo dos limites de detecção das sondas.

Nos dias seguintes, procede-se às detecções do material depositado no fundo, por meio de uma sonda, presa a um trenó, o qual é arrastado por um barco. Os barcos utilizados foram o "Gaúcho I" e o "Gaúcho III", de Santos, com 14m de comprimento, 3,5m de boca e 1,5m de calado mínimo. Eles foram posicionados por um sistema de radio-localização "Decca", que fornece as distâncias do barco a dois pontos

fixos, em intervalos de tempo prefixados. Os pontos fi  
xos estavam situados nas Ilhas da Pombeba (base A) e na  
Ilha da Furtada (base B), com as seguintes coordenadas UTM

Base A: Ilha da Pombeba

7453733,88N

611648,53E

Base B: Ilha Furtada

7458124,78N

612009,52E

Cada barco transportava um conjunto completo de  
detecção, constando de

Cintilómetros SRAT, tipo SPP3

Contadores de impulsos Hewlett Packard

Registradores Moseley

Impressoras Hewlett Packard,

sendo o sistema alimentado por geradores a gasolina Honda. O sistema Decca era alimentado a baterias. Radio-transmissores portáteis Tokay permitiam a comunicação entre os barcos, sendo utilizados na coordenação dos trabalhos, durante as detecções.

Os mesmos barcos foram utilizados no lançamento e no recolhimento dos correntógrafos utilizados nas medidas hidráulicas e também no acompanhamento de flutuadores. Os resultados destas medidas, que foram realizadas ao longo de todo o trabalho com traçadores, serão apresentados em

relatório separado.

Um fato importante ocorreu durante todas as detecções em suspensão: a quantidade de material que entrou em suspensão, após a descarga da draga, foi sempre muito pequena. Este fato ocorreu em todas as condições de maré testadas, tanto com a draga parada no instante da descarga, como com a draga em movimento. Deve, portanto, ser considerado que todo o material descarregado pela draga depositou-se no fundo, nas proximidades da região de injeção. As análises realizadas referem-se, portanto, ao estudo do comportamento do material no fundo, após sua descarga em suspensão. Não houve, em nenhum caso, atividade em suspensão suficiente para permitir a análise.

A primeira injeção foi realizada no dia 11 de junho de 1977, às 12 horas, em maré vazante de quadratura, estando a draga ancorada durante a injeção, a uma profundidade de 10,5m. Detecções foram realizadas nos dias 12,13, 14 e 17 de junho, todas de boa qualidade.

A segunda injeção foi realizada no dia 17 de junho, às 06:50 horas, em condições de maré vazante, nas proximidades da baixa-mar, em sizígia, estando a draga parada a 11,8m de profundidade. Duas detecções do material depositado foram executadas nos dias 17 e 18 de junho.

A terceira injeção deu-se no dia 19 de junho, às 08:35 horas, em baixa-mar, com a draga em movimento. Sua finalidade foi verificar se a movimentação da draga durante a injeção produziria maior entrada de sedimento em suspensão, o que não ocorreu. Foi realizada uma detecção de

fundo desta injeção, na qual verificou-se a superposição da nuvem radioativa do dia 19 com a nuvem do dia 17. A sua análise, por isto, não foi incluída neste relatório.

A quarta injeção foi realizada no dia 30 de junho, com a draga parada a 12m de profundidade, às 13:00 horas, em condições de maré enchente de sizígia. A quinta injeção foi feita em 19 de julho, às 12:50 horas, em uma maré enchente de sizígia, com a draga em movimento. Foi dela realizada uma detecção de fundo, no mesmo dia da injeção.

As condições das injeções estão resumidas na tabela 2. As coordenadas cartesianas referem-se a um sistema de eixos cuja origem é a base da Ilha da Pombeba e cujo eixo OX tem a direção da reta que une as bases das Ilhas da Pombeba e Furtada.

A Figura 2 apresenta a localização dos pontos da injeção na carta da Baía de Sepetiba.

TABELA 2

## DADOS SOBRE OS PONTOS DE INJEÇÃO

DATA	COORDENADAS	HORA	MARÉ	PROF	DRAGA
11/06	X 2660 Y 6820	12:00	Quadratura MV	10,5m	Parada
17/06	X 2348 Y 2636	06:50	Sizígia Vazante Próximo Baixa Mar	11,8m	Parada
19/06	X 2695 Y 2217	08:35	Sizígia Vazante Próximo Baixa Mar	12,0m	Em movi <u>men</u> to.
30/06	X 1488 Y 4183	13:00	Sizígia ME	12,1m	Parada
01/07	X 1706 Y 5386	12:50	Sizígia ME	13,2m	Em movi <u>men</u> to.

## 7.2. ANÁLISE DA INJEÇÃO DE 11 DE JUNHO.

A injeção foi realizada às 12 horas do dia 11 de junho, no ponto de coordenadas  $X = 2660m$  e  $Y = 6820m$ . Imediatamente após a injeção, os dois barcos procederam à detecção do sedimento marcado que estaria em suspensão, portanto, cada um, sondas a 2m e a 8m de profundidade. Com alguma surpresa, verificou-se que não havia praticamente nenhum sedimento em suspensão, fato que, como já foi dito, repetiu-se em todas as injeções. Era de se esperar, portanto, que todo o material marcado fosse encontrado em uma detecção de fundo que cobrisse a região próxima ao local de descarga da draga. Esta primeira informação - quase nenhum material em suspensão - é desde logo um dado importante e favorável à utilização da região para despejo de material dragado. As detecções de fundo foram realizadas nos dias 12, 13, 14 e 17 de junho, sem maiores dificuldades técnicas: a baía apresenta pouca agitação, o fundo em vasa não tem obstáculos nos quais o trenó possa prender-se, e o tempo manteve-se consistentemente bom. A qualidade das detecções foi, portanto, uniformemente boa.

A análise realizada iniciou-se com a elaboração das curvas de isocontagem correspondentes a cada detecção (Fig. 3, 4, 5 e 6) e sua posterior integração (Fig. 7, 8, 9, 10) pelo método anteriormente descrito.

Um exame das curvas de isocontagem mostra, inicialmente, que a sua forma variou pouco no decorrer do tempo. Isto é confirmado pela Fig. 11, na qual está representada a curva correspondente a uma taxa de contagem de 600c/s, nos dias 12, 14 e 17 de junho. As curvas tem for

mas bastante semelhantes nos diversos dias, o que sugere uma movimentação pequena do material radioativo. Na Fig.12, está representado um corte AA arbitrário da nuvem radioativa, correspondente às curvas dos dias 12, 14 e 17 de junho. A integração do material radioativo contido neste corte pode ser realizada pela medida da área entre as curvas da Fig. 12 e o eixo das distâncias. Para o dia 12, tem-se  $519000 \text{c/s} \times \text{m}$ ; para o dia 14,  $437000 \frac{\text{c}}{\text{s}} \times \text{m}$  e para o dia 17,  $476750 \text{c/s} \times \text{m}$ . O corte AA mostra, então, que houve uma pequena redistribuição espacial de material radioativo entre os dias 12 e 17. A porcentagem de variação, entre o menor e o maior valor obtido, é da ordem de 15%.

As dimensões aproximadas da nuvem (correspondentes à curva de  $10 \text{c/s}$ ) e as medidas da curva de  $300 \text{c/s}$ , nos diversos dias, são apresentadas na Tabela 3.

TABELA 3

## DIMENSÕES APROXIMADAS DAS NUVENS

DATA	Curva 10 c/s		Curva 300 c/s	
	COMP (m)	LARG (m)	COMP (m)	LARG (m)
Junho/77				
12	850	440	350	250
13	870	440	350	200
14	700	450	380	222
17	700	440	400	230



Mais uma vez, constata-se pequenas variações no decorrer do tempo.

Examinemos agora a evolução das áreas cobertas por cada curva de isocontagem no tempo. As áreas foram determinadas por planimetria, a partir das Figs. 3, 4, 5 e 6. Os resultados são apresentados na Tabela 4, com os dados em metros quadrados.

TABELA 4

EVOLUÇÃO DAS ÁREAS DAS CURVAS DE ISOCONTAGEM COM O TEMPO

c/s Dia	10	50	150	300	600	900
12	318000	232000	133000	88000	52000	25000
13	362000	175000	95000	33000	11000	11000
14	240000	156000	106000	64000	15000	15000
17	263000	171000	111000	65000	18000	18000

Na Tabela 5, é apresentada a evolução das áreas em porcentagem, tomando-se como dado inicial as áreas obtidas no dia 12 de junho.

TABELA 5

EVOLUÇÃO DAS ÁREAS COM O TEMPO, EM PORCENTAGEM

c/s Dia	10	50	150	300	600	900
12	100	100	100	100	100	100
13	114	75	71	60	40	11
14	75	67	80	73	77	39
17	83	74	83	74	73	74

Tanto a Tabela 4 como a Tabela 5 mostram que as áreas cobertas pelas curvas de isocontagem eram maiores no dia 12 de junho, o que deve corresponder à existência, neste dia, de uma atividade um pouco maior que as posteriores. Entre as detecções dos dias 14 e 17, as áreas mantiveram-se bastante estáveis, o que indica a ausência de movimento do material do fundo. Pode ser observado que, em 14 e 17 de ju

no, as áreas das curvas correspondem a cerca de 75% dos valores obtidos para o dia 12. Isso indica que cerca de 75% do material que se depositou no fundo permanecia nele, após 6 dias da injeção.

Apenas as áreas referentes à detecção do dia 13 de junho apresentam algumas diferenças mais importantes, em comparação com os dias 14 e 17. Essas diferenças aparecem principalmente na região de atividades mais altas (curvas acima de 600c/s), o que indica que a detecção da zona mais ativa não foi perfeita no dia 13 de junho.

É também possível estimar-se a espessura de deposição, a partir das áreas de espalhamento do material radioativo e do volume de material injetado. A draga transporta, em cada viagem, um volume aproximado de 4000m<sup>3</sup> de material. A Tabela 4 indica que o material radioativo espalhou-se em uma área de cerca de 300 000m<sup>2</sup>. Supondo-se que o espalhamento foi uniforme, teríamos uma espessura x

$$x = \frac{4000\text{m}^3}{300000\text{m}^2} = 0,013\text{m}$$

Portanto, a região de deposição de uma carga da draga sofreria uma diminuição na sua profundidade de cerca de 1cm. Entretanto, podemos considerar que, na região de maior atividade, a espessura do material depositado deve ser maior. Seja, por exemplo, a curva de 300c/s. A área na qual as taxas de contagem são maiores que 300c/s é cerca de 65000m<sup>2</sup>, como pode ser verificado na Tabela 4. A partir das curvas das Figuras 9 e 10, é possível calcular-se qual

a porcentagem do material injetado que está contido no interior dessa curva. Basta calcular a área compreendida entre a curva, a ordenada de 300c/s e o eixo das taxas e dividi-la pela área total da curva. Verifica-se que cerca de 40% do material radioativo forneceu contagens maiores que 300c/s, o que corresponde a um volume de  $0,4 \times 4000\text{m}^3 = 1600\text{m}^3$ . A espessura de deposição  $x$  será

$$x = \frac{1600\text{m}^3}{65000\text{m}^2} = 0,025\text{m}.$$

Neste caso, na região em que houve maior deposição de material dragado, cada descarregamento corresponde a um decréscimo em profundidade de 2,5cm.

Ainda no quadro das observações qualitativas e semi-quantitativas, pode ser verificado que, entre o instante da injeção e de sua deposição no fundo, o material tendeu a se espalhar de leste para oeste: basta observar a relação entre o espalhamento principal da nuvem e a posição do ponto de injeção. Isto concorda com as condições de maré vazante que reinavam no momento da injeção, apesar dos valores muito baixos de velocidade que, neste mesmo momento, foram constatados por flutuadores.

A análise quantitativa dos resultados é feita a partir do cálculo das áreas dos diagramas apresentados nas Figuras 7, 8, 9 e 10. As áreas destes diagramas são dadas em c/s x m<sup>2</sup>. Os resultados são apresentados na Tabela 6, da qual constam também as porcentagens calculadas tomando-se como base o valor do dia 12 de junho.

TABELA 6

RECUPERAÇÃO A PARTIR DA INTEGRAÇÃO  
DAS CURVAS DE ISOCONTAGEM

Data	Recuperação (c/s x m <sup>2</sup> )	Porcentagem(%)
12	9,1 x 10 <sup>7</sup>	100
13	6,2 x 10 <sup>7</sup>	68
14	6,4 x 10 <sup>7</sup>	70
17	6,7 x 10 <sup>7</sup>	74

O quadro indica, portanto, como evoluiu o material que se depositara no fundo, após a injeção, mas não leva em conta possíveis perdas de material, entre a descarga e a deposição. Estes resultados mostram que cerca de 70% do material que se depositara no fundo no dia 12 de junho permanecia nele no dia 17 de junho. Os valores da coluna de porcentagem mostram também uma excelente estabilidade, o que indica que, a partir do dia 13 de junho, a quantidade de material existente no fundo permaneceu constante.

Para verificarmos o valor desta porcentagem em relação ao material total descarregado pela draga, é necessário conhecer-se a atividade injetada. Durante o processo de marcação são sempre coletadas amostras da solução radioativa, as quais são usadas para determinar-se a atividade

injetada. Na injeção de 11 de junho, a atividade foi calculada em

$$A = 3,2 \times 10^6 \text{ } \mu\text{Ci ou } 3,2 \text{ curies}$$

Adotando-se um valor  $f_0 = 30 \text{ c/s } \frac{\mu\text{Ci}}{\text{m}^2}$ , a atividade existente em cada nuvem é obtida dividindo-se o valor da recuperação por  $f_0$ . Os resultados são apresentados na Tabela 7. A coluna de porcentagem refere-se à porcentagem de material encontrado no fundo, calculada em relação à atividade total injetada.

TABELA 7

## ATIVIDADE RECUPERADA NAS DETECÇÕES

Data	Atividade Recuperada ( $\mu\text{Ci}$ )	Porcentagem
11/06	$3,2 \times 10^6$	100
12/06	$3,0 \times 10^6$	94
13/06	$2,1 \times 10^6$	66
14/06	$2,1 \times 10^6$	66
17/06	$2,2 \times 10^6$	69

Esta Tabela mostra que 94% do material descarregado pela draga depositou-se no fundo, após a injeção. Nos dias seguintes, parte deste material se perdeu. Entretanto, entre 65% e 70% dele permanecia no fundo até a detecção do dia 17 de junho. Esta é a informação mais importante

te retirada da injeção de 11 de junho: cerca de 70% do material injetado, em maré de quadratura, permaneceu no fundo durante todo o período experimental.

Finalmente, para verificar se o método de análise utilizado (integração das curvas de isodose) estava fornecendo resultados confiáveis, procedeu-se à análise da detecção do dia 14/06 com os programas de cálculo que foram desenvolvidos para a calculadora HP 9820. Este programa fornece dados para o traçado do diagrama de transporte, cuja área fornece a recuperação de material radioativo por um outro método de cálculo. O diagrama de transporte correspondente ao dia 14 é apresentado na Fig. 13. O valor da recuperação obtido foi de  $6,9 \times 10^7 \frac{C}{S} \times m^2$ , o que corresponde a uma atividade de  $2,3 \times 10^6 \mu Ci$ . A diferença entre os dois métodos de cálculo foi inferior a 10%, o que está dentro dos erros experimentais.

### 7.3. ANÁLISE DA INJEÇÃO DE 17 DE JUNHO.

A injeção foi realizada às 06:50 horas, no ponto de coordenadas  $X = 2348m$  e  $Y = 2636m$ , nas proximidades de uma baixamar de maré de sizígia, com a draga parada a 11,8m de profundidade. O método de análise utilizado foi o mesmo, estando as curvas de isocontagem apresentadas nas Fig. 14 e 15, correspondendo às 2 detecções de fundo realizadas. Também nesta injeção, a quantidade de material em suspensão foi muito pequena e o trabalho de análise apenas foi realizado sobre as detecções de fundo. No presente caso,

a primeira detecção foi realizada algumas horas após a injeção. As Fig. 16 e 17 apresentam os dados da integração das curvas de isocontagem correspondentes às detecções.

Uma análise das curvas de isocontagem mostra uma diminuição sensível de material na região de altas atividades. A Fig. 18 apresenta as curvas correspondentes a 600c/s, nos dias 17 e 18, verificando-se uma grande diferença entre elas. A área da curva de 300c/s no dia 17/06 corresponde a 47% da área total da nuvem, enquanto que, no dia 18/06, ela representa apenas 31% da área total. A Fig. 19 mostra um corte AA, arbitrário, realizado sobre o conjunto de curvas de isocontagem dos dias 17 e 18. Também neles há uma diminuição importante de atividade no dia 18, principalmente na região mais ativa. Uma comparação das áreas das curvas da Fig. 19 mostra que a área sob a curva do dia 18/06 representa 50% da área sob a curva do dia 17/06.

A comparação das áreas contidas no interior de cada curva de isocontagem é apresentada na Tabela 8; os dados numéricos são apresentados em metros quadrados.

TABELA 8

## EVOLUÇÃO DAS ÁREAS DAS CURVAS DE ISOCONTAGEM

c/s Dia	10	50	150	300	600	900
17	253900	184400	147700	118400	69600	29100
18	259000	180200	125100	79900	10900	2300



A Tabela 9 apresenta estes mesmos valores em porcentagens, referidos ao dia 17/06.

TABELA 9

EVOLUÇÃO DAS ÁREAS COM O TEMPO, EM PORCENTAGEM

c/s Dia	10	50	150	300	600	900
17	100	100	100	100	100	100
18	102	98	85	67	16	8

As Tabelas mostram que as áreas cobertas pelas curvas correspondentes a menores taxas de contagem variaram pouco. Entretanto, esta variação torna-se importante para a curva de 300c/s e muito grande para as curvas de 600c/s e 900c/s. Isto indica desaparecimento de material entre as detecções e, mais ainda, mostra que o material que desapareceu saiu principalmente das regiões de maior deposição inicial.

Em relação à espessura média de deposição, consideremos que a área total coberta pela nuvem radioativa, tanto no dia 17, como no dia 18 foi de 255000m<sup>2</sup>. Para uma

descarga de  $4000\text{m}^3$ , tem-se uma espessura de

$$x = \frac{4000}{255000} = 0,016\text{m}.$$

Consideremos agora a espessura na região mais ativa, definida como a região limitada pela curva de 300c/s. Da Fig. 16, determina-se que 50% do material está contido no interior da curva de 300c/s. Isso corresponde a  $2000\text{m}^3$  de material de dragagem. Como a área da curva é de  $118000\text{m}^2$ , tem-se uma espessura média de deposição de

$$x_2 = \frac{2000}{118000} = 0,017\text{m}$$

Já para o dia 18 de junho, apenas 25% do material encontra-se no interior da curva de 300c/s, cuja área é de  $80000\text{m}^2$ . Então

$$x_3 = \frac{1000\text{m}^3}{80000\text{m}^2} = 0,012\text{m}.$$

De qualquer modo, conclui-se que cada descarregamento da draga corresponderá a uma diminuição de 1,5cm na profundidade da região de deposição.

Finalmente, consideremos as recuperações do material radioativo injetado, correspondentes às áreas sob as curvas das Fig. 16 e 17. Para o dia 17/06, a recuperação N foi de

$$N = 9,5 \times 10^7 \frac{\text{C}}{\text{S}} \times \text{m}^2$$

Para o dia 18/06, obteve-se

$$N = 5,8 \times 10^7 \frac{C}{S} \times m^2.$$

A recuperação do dia 18/06 corresponde a 61% da recuperação de 17/06. Em relação às atividades, temos:

Atividade injetada:  $3,0 \times 10^6 \mu\text{Ci}$

Atividade recuperada em 17/06:  $3,1 \times 10^6 \mu\text{Ci}$

Atividade recuperada em 18/06:  $1,9 \times 10^6 \mu\text{Ci}$

Esses valores mostram que todo o material descarregado pela draga depositou-se no fundo e que 60% permanecia no fundo no dia seguinte à injeção.

Deve-se observar também que, durante a deposição, o material radioativo distribuiu-se quase simetricamente em relação ao ponto de injeção. Isto se deve às baixas correntes existentes durante a estofa em que se fez a injeção.

#### 7.4. ANÁLISE DA INJEÇÃO DO DIA 19 DE JUNHO.

A injeção foi realizada no dia 19 de junho, às 08:35 horas, no ponto de coordenadas  $X = 2695\text{m}$  e  $Y = 2217\text{m}$ . A draga não foi ancorada para realizar a descarga, descrevendo um arco de círculo em torno do ponto de injeção. A profundidade da região era de 12m. A maré estava próxima

de baixamar, em condições de sizígia.

Esperava-se que, com a draga em movimento, fosse observada maior quantidade de sedimento em suspensão, o que não ocorreu. Algumas horas após a injeção, realizou-se uma detecção de fundo. Os níveis de contagem observados no início da detecção eram coerentes com os obtidos nos trabalhos anteriores. Entretanto, devido à proximidade dos pontos de injeção dos dias 17 e 19 de junho, ocorreu a superposição das nuvens referentes aos dois lançamentos. Em vista disso, não se realizou a análise completa da injeção de 19 de junho.

#### 7.5. ANÁLISE DA INJEÇÃO DO DIA 30 DE JUNHO.

Após um período de interrupção, destinado a esperar o retorno das condições de sizígia, os estudos com traçadores foram retomados no dia 30 de junho, realizando-se uma injeção às 13:00 horas, em maré enchente, com a draga ancorada, à profundidade de 12m.

Novamente, quase não se detectou material em suspensão. Uma detecção de fundo foi realizada no mesmo dia. As curvas de isocontagem correspondentes a esta detecção são apresentadas na Fig. 20, enquanto a Fig. 21 apresenta o resultado da integração destas curvas.

A nuvem tem dimensões aproximadas de 550m por 330m. Não foram observadas taxas de contagem altas nesta detecção, determinando-se apenas alguns pontos com taxas

superiores a 600c/s.

As áreas cobertas pelas diversas curvas são apresentadas na Tabela 10, valores em metros quadrados.

TABELA 10

## ÁREA DAS CURVAS DE ISOCONTAGEM

c/s Dia	10	50	150	300
30/06	183125	112200	58800	7800

A nuvem tem, portanto, dimensões inferiores às anteriormente observadas, o que indica a presença de menor quantidade de material radioativo. A espessura média de deposição é de 2,5cm. A atividade injetada foi de  $1,65 \times 10^6 \mu\text{Ci}$ . A recuperação de material, obtida a partir da Fig. 21, fornece um valor  $N = 2,2 \times 10^7 \frac{\text{C}}{\text{S}} \times \text{m}^2$ , o que corresponde a uma atividade de  $7,3 \times 10^5 \mu\text{Ci}$ .

Portanto, apenas foram detectados cerca de 45% do material injetado, o que é um valor baixo em relação aos anteriormente encontrados. Para explicar esta discrepância, a primeira hipótese a ser feita é que a qualidade da detecção não foi boa. Isto não parece ter ocorrido, pois

a região de deposição foi bem coberta pelos 2 barcos que realizaram a detecção de fundo. Inclusive, quando os dois barcos passavam na mesma região, obtinham taxas de contagem coerentes. Há apenas um trecho de 50m de largura em que ficou evidente a falta de uma linha que o cobrisse. Isto, entretanto, não é suficiente para explicar o baixo valor da recuperação encontrado. O fato de estarmos em maré enchente de sizígia também não explica a baixa recuperação, pois:

- a) não se observou material em suspensão;
- b) a injeção do dia 01 de julho foi realizada nas mesmas condições de maré e apresentou boa recuperação.

Resta, portanto, a hipótese de que a draga tenha perdido material marcado em seu trajeto do local de dragagem ao local de despejo. Como os resultados da recuperação de todas as outras injeções mostraram que, logo em seguida ao lançamento, praticamente todo o material descarregado estava no fundo, esta hipótese deve ser verdadeira. Neste caso, os resultados desta injeção não devem ser considerados.

#### 7.6. ANÁLISE DA INJEÇÃO DE 1º DE JULHO.

A última injeção utilizando a draga foi realizada em 01 de julho, às 12:50 horas. Ela foi realizada num entorno do ponto  $X = 1706m$  e  $Y = 5386m$ , a uma profundidade de 13m, com a draga em movimento, isto é, descrevendo uma cur

va durante o descarregamento. A maré era de sizígia e estava-se em uma maré enchente. Mais uma vez, não se observou material em suspensão. Em seguida à detecção em suspensão, foi realizada uma detecção de fundo. As curvas de isocontagem a ela correspondentes são apresentadas na Fig. 22 e a integração das mesmas na Fig. 23. A movimentação do material de fundo durante a deposição deu-se de oeste para leste, o que está coerente com o regime de maré reitante. A nuvem tem forma inteiramente diferente das já observadas, sendo muito mais longa e estreita. O seu comprimento é da ordem de 1450m e sua largura da ordem de 300m. As áreas cobertas por cada uma das curvas de isocontagem são apresentadas na Tabela 11, em metros quadrados.

TABELA 11

## ÁREAS DAS CURVAS DE ISOCONTAGEM, 01/07

Data \ c/s	50	150	300	600
01/07	323200	85600	13400	560

Também nesta detecção não se observaram taxas de contagem altas; entretanto, apesar da grande área ocupada pela nuvem, a recuperação de material radioativo foi boa. O valor da

recuperação foi  $N = 4,9 \times 10^7 \frac{C}{m^2}$ , o que corresponde a uma recuperação em atividade  $S$  de  $1,6 \times 10^6 \mu Ci$ . A atividade injetada foi de  $2,0 \times 10^6 \mu Ci$ . Portanto, recuperou-se, após a la. detecção, cerca de 79% do material injetado. Apesar do maior espalhamento do material radioativo, correspondendo a uma espessura média de  $x = \frac{4000m^3}{32000m} = 0,12m$ , não houve perdas apreciáveis de material. As maiores dimensões da nuvem são explicadas por uma combinação da injeção com a draga em movimento com a maré enchente de sizígia.

#### 7.7. A ESPESSURA DE DEPOSIÇÃO DO MATERIAL NO FUNDO.

Durante as análises anteriores, a espessura média de deposição do material no fundo foi calculada dividindo-se o volume de material que a draga transporta ( $4000m^3$ ) pela área coberta pela nuvem radioativa. Na realidade, este método conduz a valores excessivos da espessura da camada depositada, pois grande parte do material que a draga transporta é constituído por água. No caso em estudo, esta proporção de água é ainda maior que a existente durante um trabalho rotineiro de dragagem, pois, para evitar perda de traçador, não foi permitida a operação com "over-flow". Fazendo-se a hipótese de que 60% do volume dragado é constituído de vasa, o cálculo da espessura passará a ser feito a partir do volume de  $2400m^3$ . Assim para a injeção de 11/06, a espessura média passaria a ser  $x = \frac{2400m^3}{300000m^2} = 0,008m$ , em lugar da espessura de  $0,13m$  anteriormente encontrada. O mesmo raciocínio é aplicável a todos os outros cálculos de espessura de deposição aqui apresentados.



## 8. CONCLUSÕES

Os estudos prévios realizados na baía de Sepetiba indicaram como um possível local para rejeito do material dragado da região do porto uma área situada imediatamente a leste das ilhas de Jaguanum e Pombeba. Estes estudos mostraram também que o material natural do fundo não se movimenta apreciavelmente. Isto sugere que o rejeito de dragagem que se depositar no fundo e lá se consolidar tenderá a permanecer no local de deposição.

O presente relatório analisa os resultados de 4 injeções de material radioativo na região acima citada, a partir da marcação direta da carga da draga que realiza o aprofundamento da região. Estas injeções mostraram todas uma característica comum: a quantidade de material em suspensão que se originou do descarregamento da draga foi sempre muito pequena. Em vista disto, o trabalho de análise concentrou-se sobre o comportamento do material que, após a descarga, depositou-se no fundo.

A 1ª. injeção, realizada em 11 de junho, com a draga ancorada e em maré de quadratura, foi acompanhada por 4 detecções. Verificou-se, na 1ª. detecção (12 de junho) que cerca de 94% do material descarregado foi detectado no fundo. Nos dias seguintes, a quantidade de material observada foi de 66% (13/06), 66% (14/06) e 69% (17/06). Portanto, entre 60% e 70% do material original permanecia no fundo no final da campanha. Estes resultados, acoplados à informação anterior de que material consolidado tende a permanecer estável, sugere que, nas mesmas condições experi

mentais, é de se esperar que entre 60 a 70 por cento do material descarregado permaneça na região de injeção. Os resultados da 2a. injeção, realizada em 17/06, confirmaram os resultados anteriores. Todo o material injetado foi recuperado na 1a. detecção (17/06) e 61% dele foi encontrado na 2a. detecção (18/06). Esta injeção também foi realizada com a draga parada, em maré de sizígia.

Na injeção do dia 30/06, também em maré de sizígia com a draga ancorada, a recuperação foi baixa, da ordem de 45%. Atribuiu-se este valor à perda de material pela draga, entre o local de dragagem e o ponto de despejo.

A última injeção, em 01/07, foi realizada em uma maré enchente de sizígia, com a draga em movimento. O material radioativo espalhou-se mais que nas detecções anteriores, dando origem a uma nuvem longa (1500m) e estreita (300m). Apesar das maiores dificuldades de detecção, causadas pela maior dispersão do traçador, obteve-se uma recuperação de cerca de 80% do material injetado.

Em vista do conjunto de resultados citados, pode-se concluir que:

- a) Entre 80 e 100 por cento do material descarregado pela draga deposita-se na região de despejo. As condições de maré e o estado de movimento da draga não parecem influir sobre este valor. Apenas parece se alterar a forma da de posição, que é mais concentrada se a draga estiver ancorada e reinarem condições de maré pouco energéticas.

b) Cerca de 60 a 70% do material descarregado tende a se manter no fundo da região de deposição. O valor mínimo de material recuperado no fundo foi de 45% do material injetado. Uma parte do material descarregado desaparece, provavelmente reentrando em suspensão.

Como, entretanto, não foram observadas correntes transversais na baía, é pouco provável que este material retorne à região de dragagem.

c) Como não se realizaram estudos com traçadores de meia-vida longa nesta campanha, o período de acompanhamento do material depositado no fundo foi limitado. O maior período de observação foi de 6 dias, o que pode ser insuficiente para a descrição completa do fenômeno. É, portanto, importante, caso se decida utilizar a região estudada para rejeito de material dragado, acompanhar a evolução do fundo por meio de levantamentos batimétricos sucessivos.

d) Apesar de não estar no programa de trabalho, foi realizada uma injeção do material dragado e marcado com ouro radioativo, diretamente na superfície do mar. Seus resultados estão sendo analisados. Entretanto, é possível afirmar-se que o comportamento desta injeção é inteiramente diferente das referidas neste relatório. O material injetado na superfície formou uma nuvem importante em suspensão, a qual foi acompanhada pelos barcos que realizavam a

detecção. Isto mostra que, se a descarga for realizada na superfície, o material permanece em suspensão por tempos longos, ao contrário do material descarregado pela draga, que se decanta imediatamente.

## REFERENCIAS

1. COELHO, V.M.B.; CASTILHO, R.R. - Levantamento Sanitário da Baía de Sepetiba - Suas Possibilidades como Coletora de Poluentes da Região - VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária - 1973.
2. Estudos Geológicos e Sedimentológicos na Baía de Sepetiba, Estado do Rio de Janeiro - Relatório Final. Relatório Nº 8488 - Inst. de Pesq. Tecnológicas do Estado de São Paulo - 1975.
3. BANDEIRA, J.V.; AUN, P.E. - Análise das Medidas Hidráulicas Realizadas em Sepetiba, Rio de Janeiro, Durante os Estudos Sedimentológicos com Traçadores Radioativos. Laboratório de Radioisótopos, Inst. Pesq. Radioativas - 1976.
4. MIGNIOT, C. - Études des Propriétés Physiques de Différents Sédiments très Fins et de Leur Comportement sous des Actions Hydrodynamiques - Houille Blanche, 7, pg 591-620 - 1968.
5. AUN, P.E.; BANDEIRA, J.V.; MONTEIRO DE CASTRO, J.O.N. Estudo do Movimento de Fundo na Baía de Sepetiba, com o Uso de Traçadores Radioativos - Laboratório de Radioisótopos - Inst. Pesq. Radioativas - 1975.
6. AUN, P.E.; BANDEIRA, J.V. - Behavior of Fine Sediments at Sepetiba Bay, Brazil - Laboratório de Radioisótopos - Inst. Pesq. Radioativas - 1976.

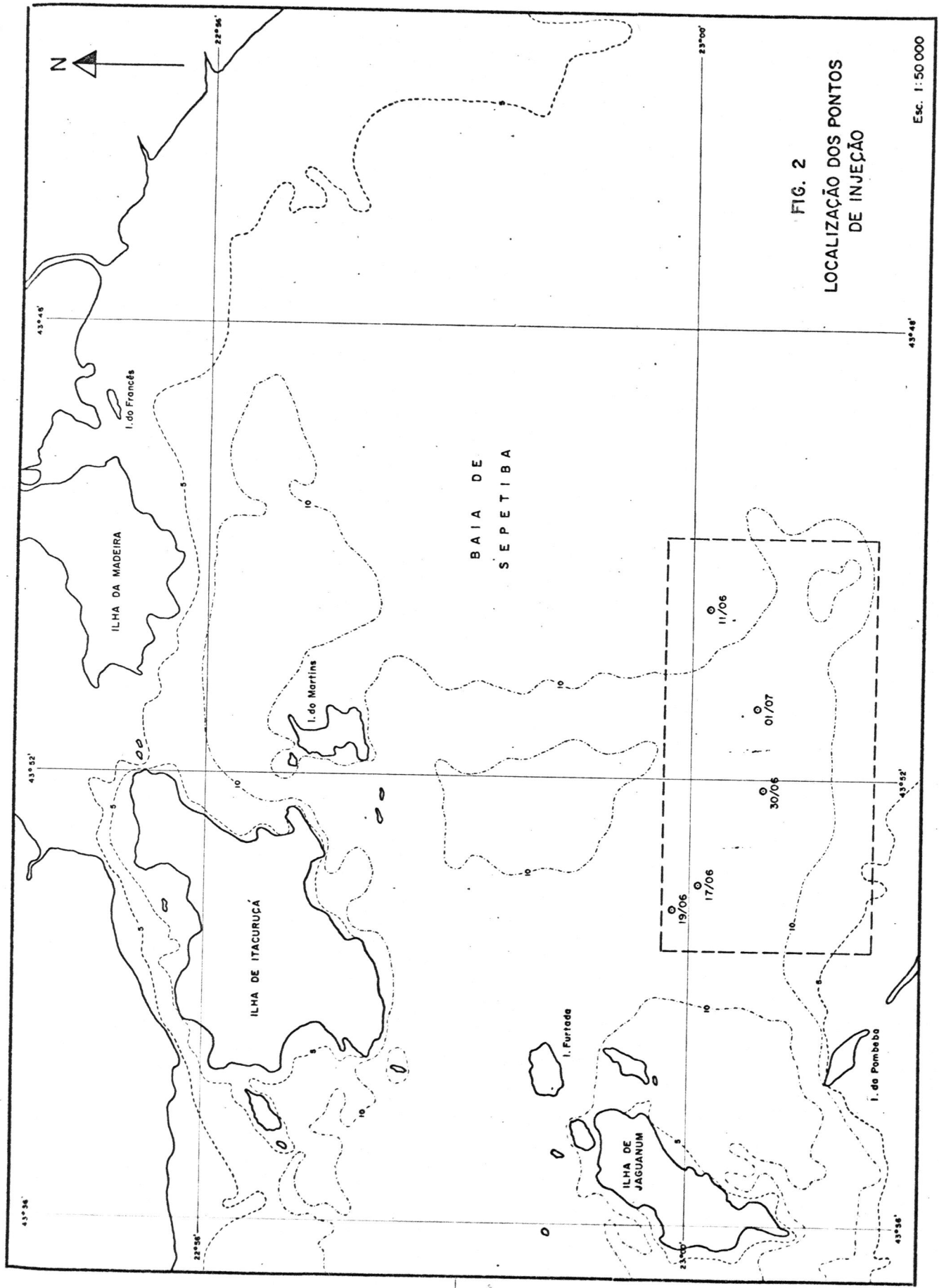


FIG. 2  
LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS  
DE INJEÇÃO

Esc. 1:50 000

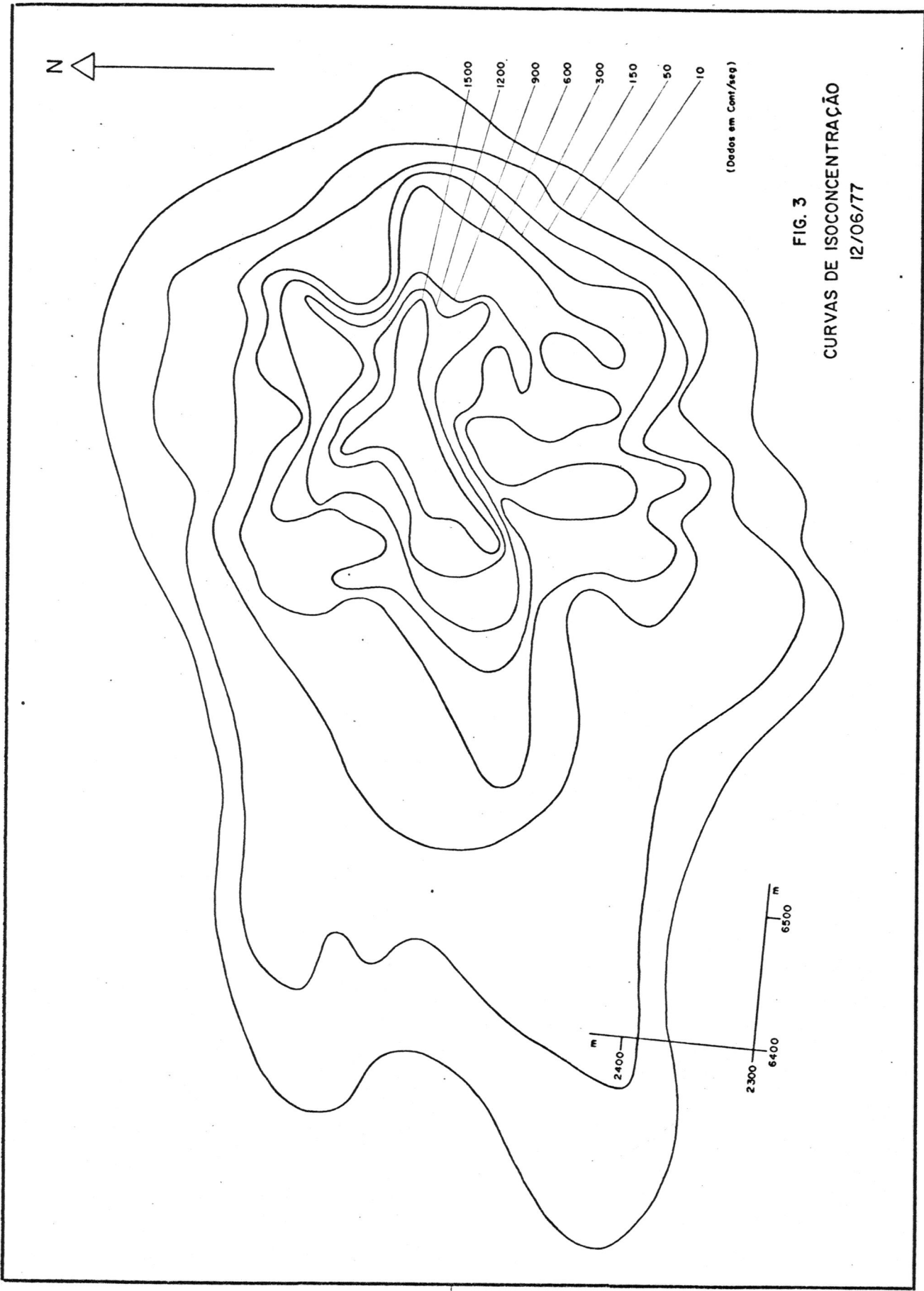


FIG. 3  
CURVAS DE ISOCONCENTRAÇÃO  
12/06/77

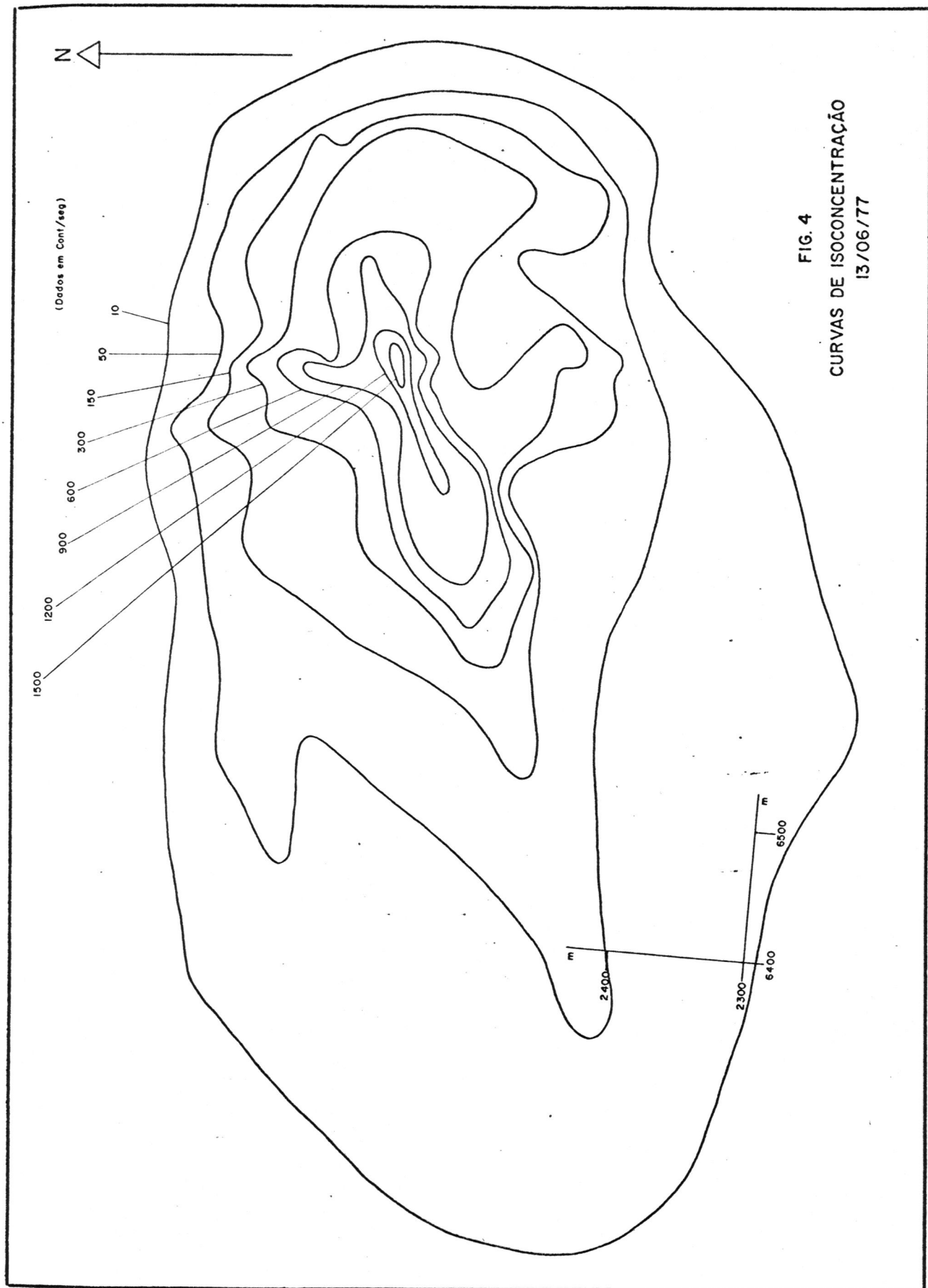
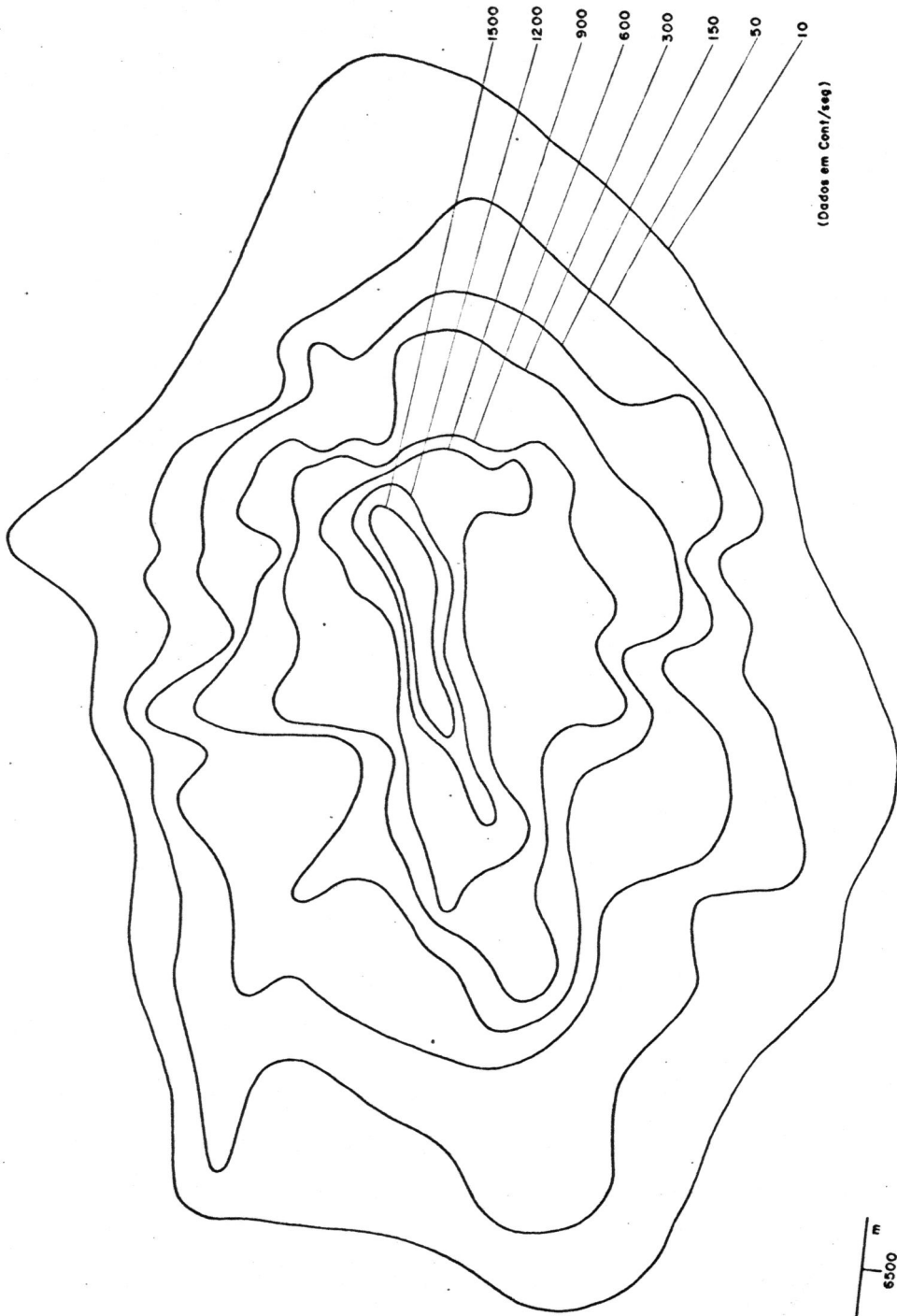


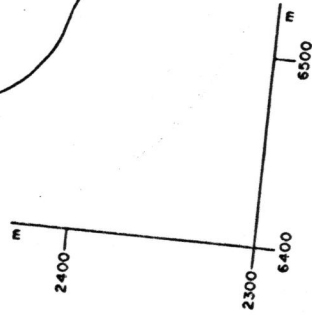
FIG. 4  
CURVAS DE ISOCONCENTRAÇÃO  
13/06/77





(Dados em Cont/seg)

FIG. 5  
CURVAS DE ISOCONCENTRAÇÃO  
14/06/77



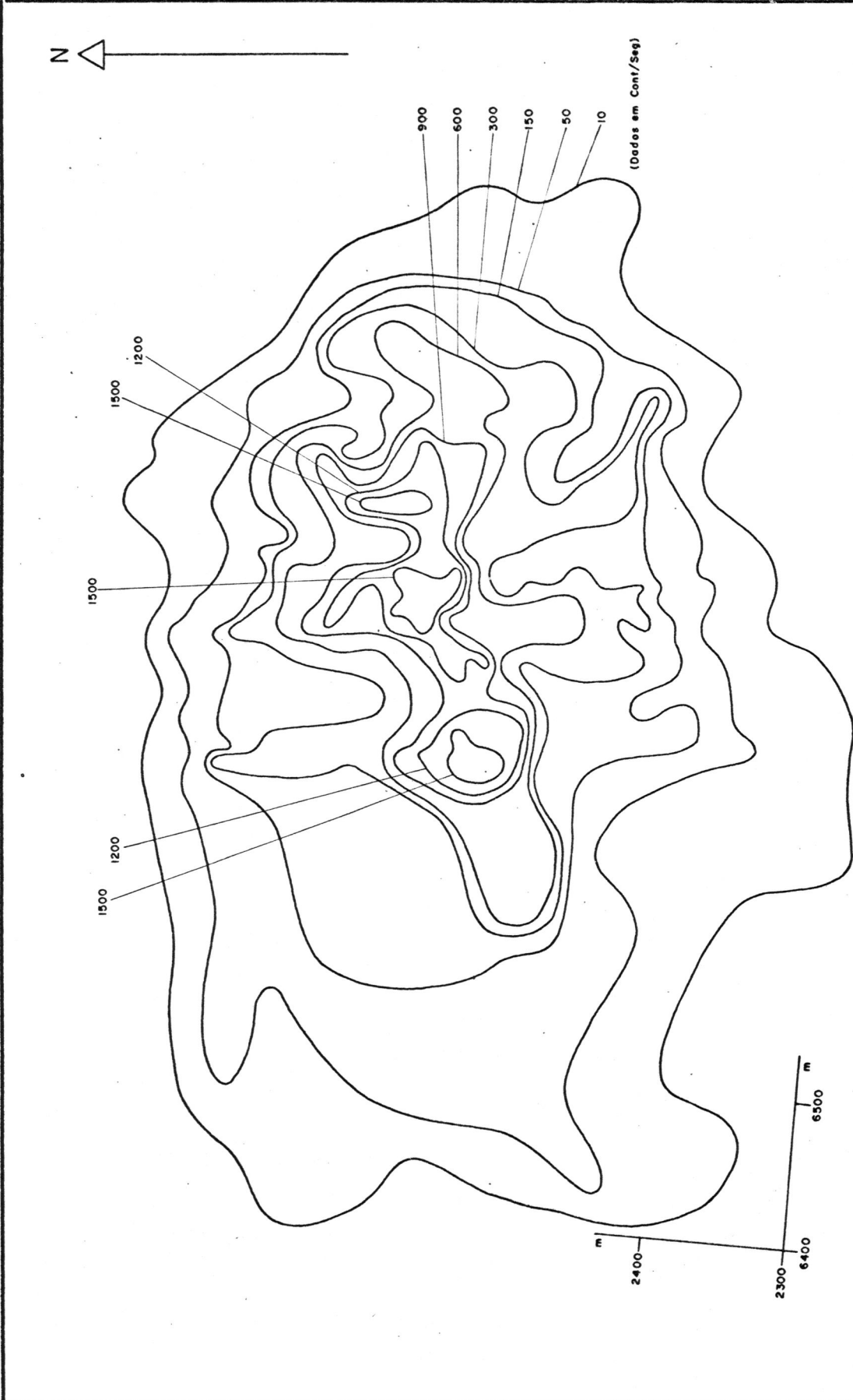


FIG. 6  
CURVAS DE ISOCONCENTRAÇÃO  
17/06/77

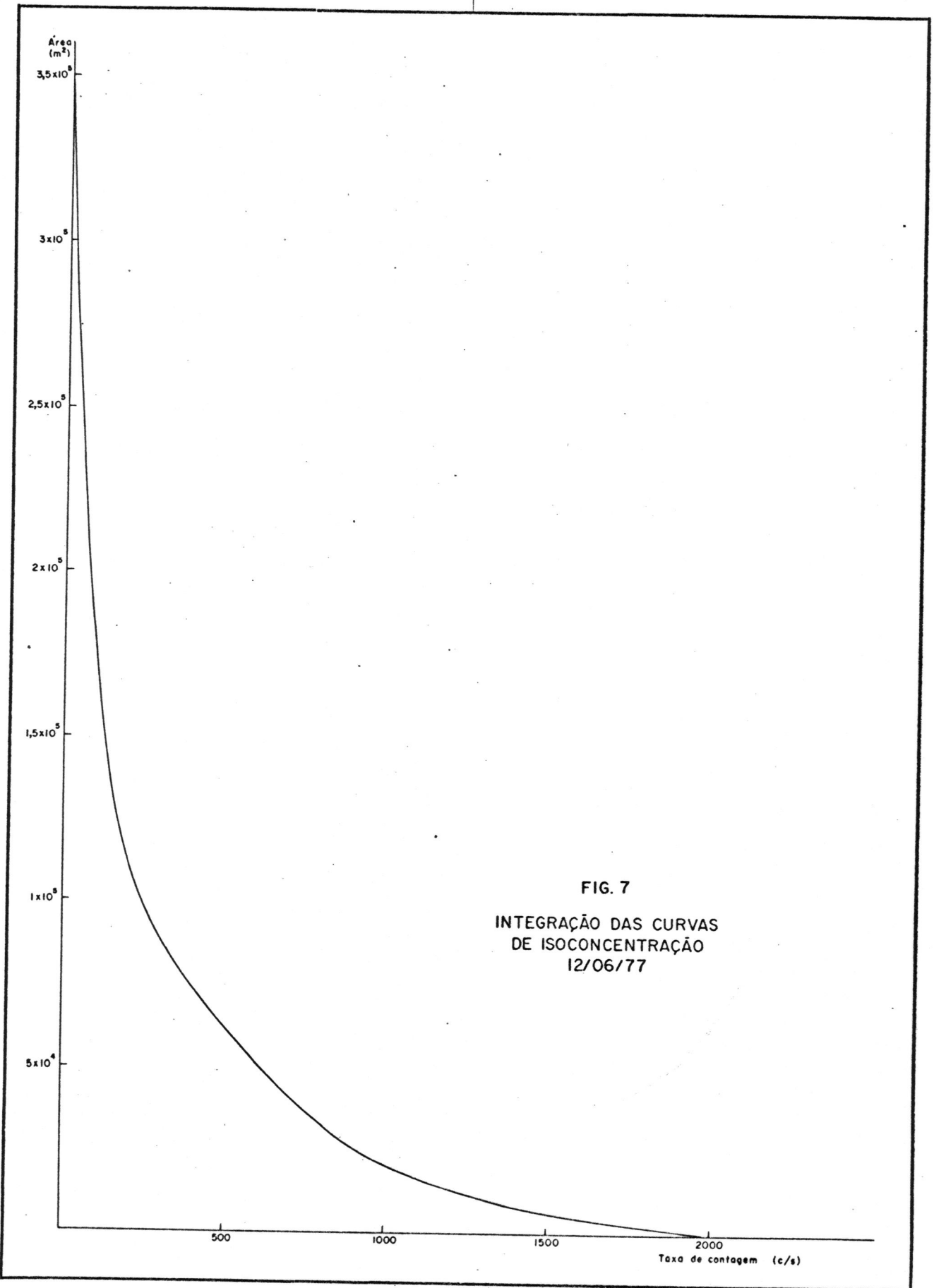


FIG. 7  
INTEGRAÇÃO DAS CURVAS  
DE ISOCONCENTRAÇÃO  
12/06/77

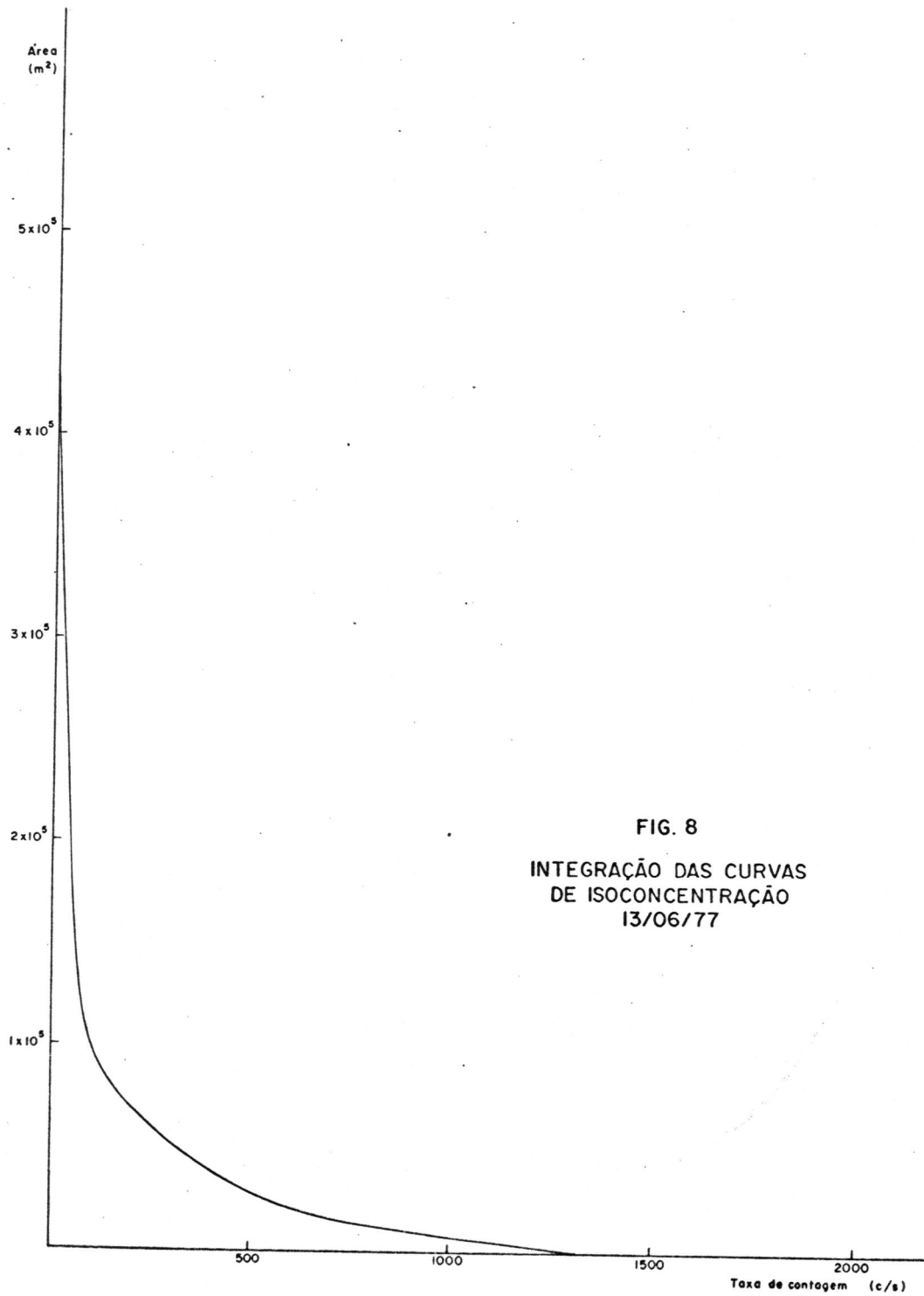


FIG. 8  
INTEGRAÇÃO DAS CURVAS  
DE ISOCONCENTRAÇÃO  
13/06/77

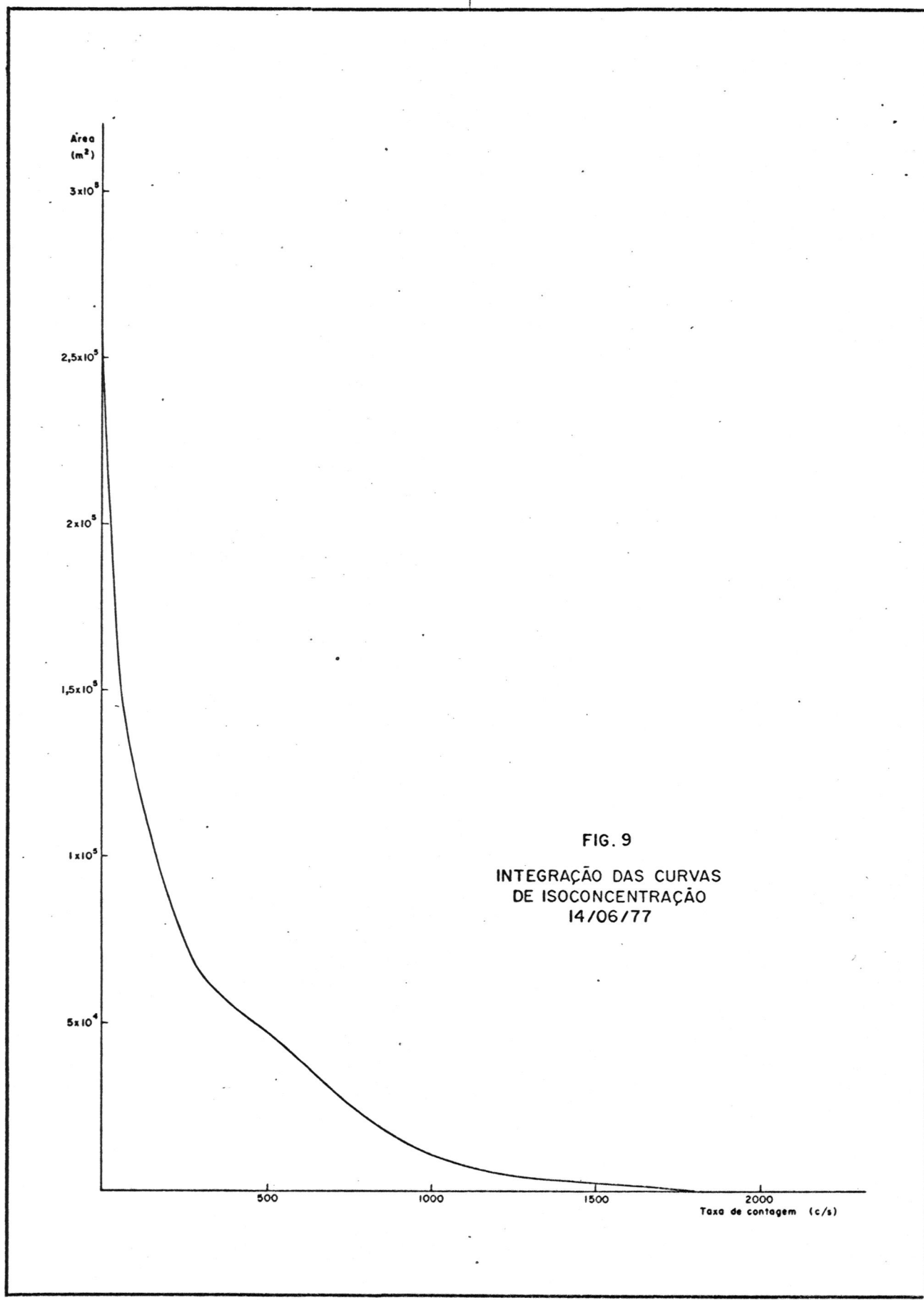


FIG. 9  
INTEGRAÇÃO DAS CURVAS  
DE ISOCONCENTRAÇÃO  
14/06/77

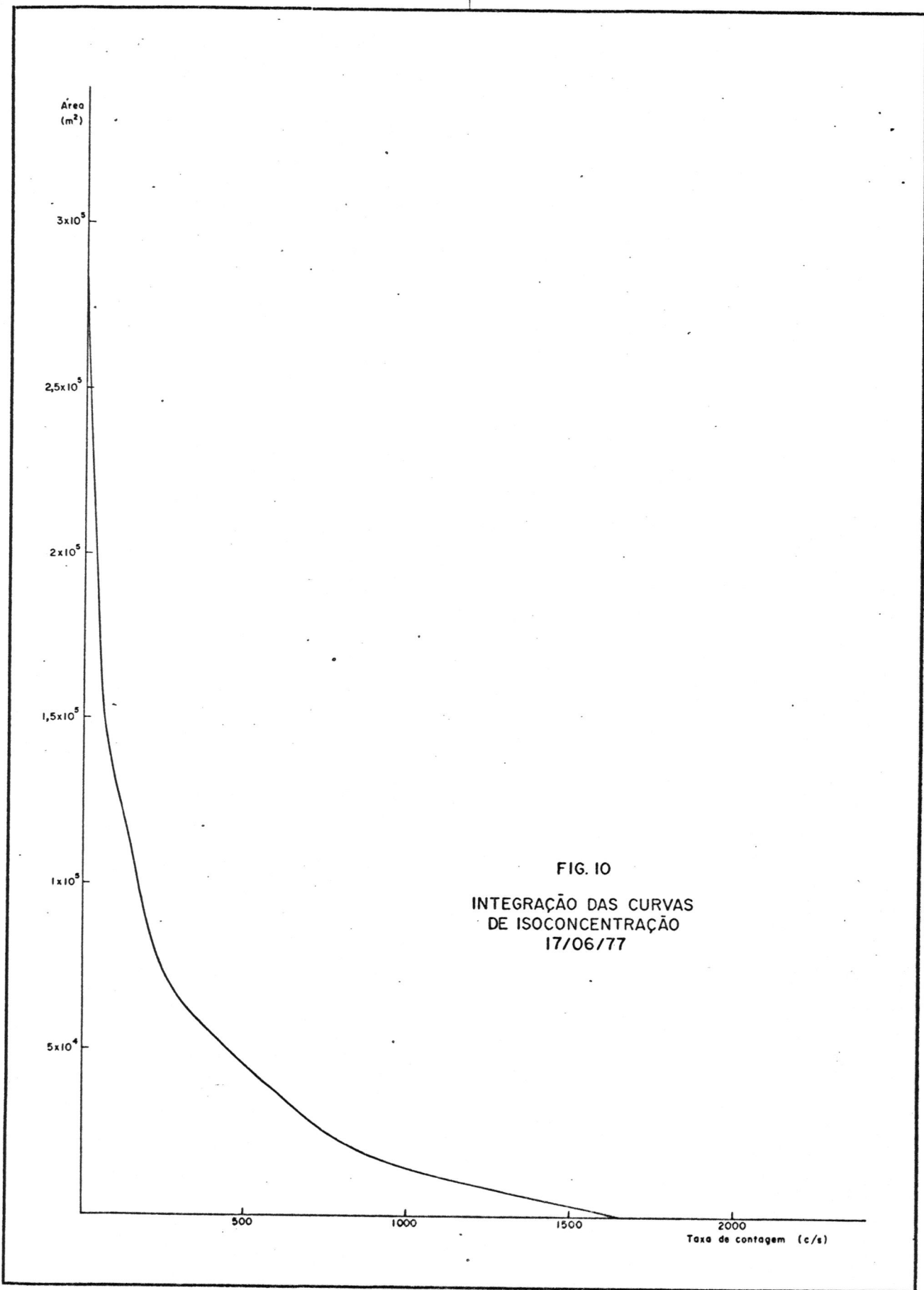


FIG. 10  
INTEGRAÇÃO DAS CURVAS  
DE ISOCONCENTRAÇÃO  
17/06/77

FIG. II  
EVOLUÇÃO DA CURVA DE 600 c/s NO TEMPO  
INJ. DE 11/06/77

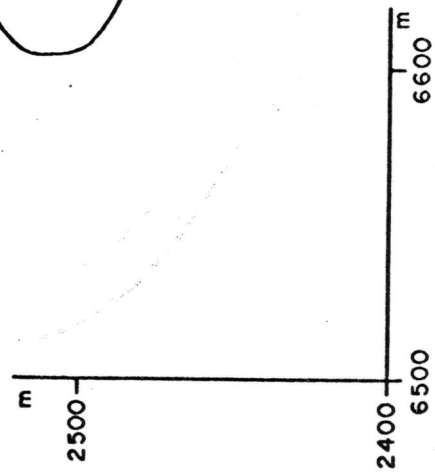
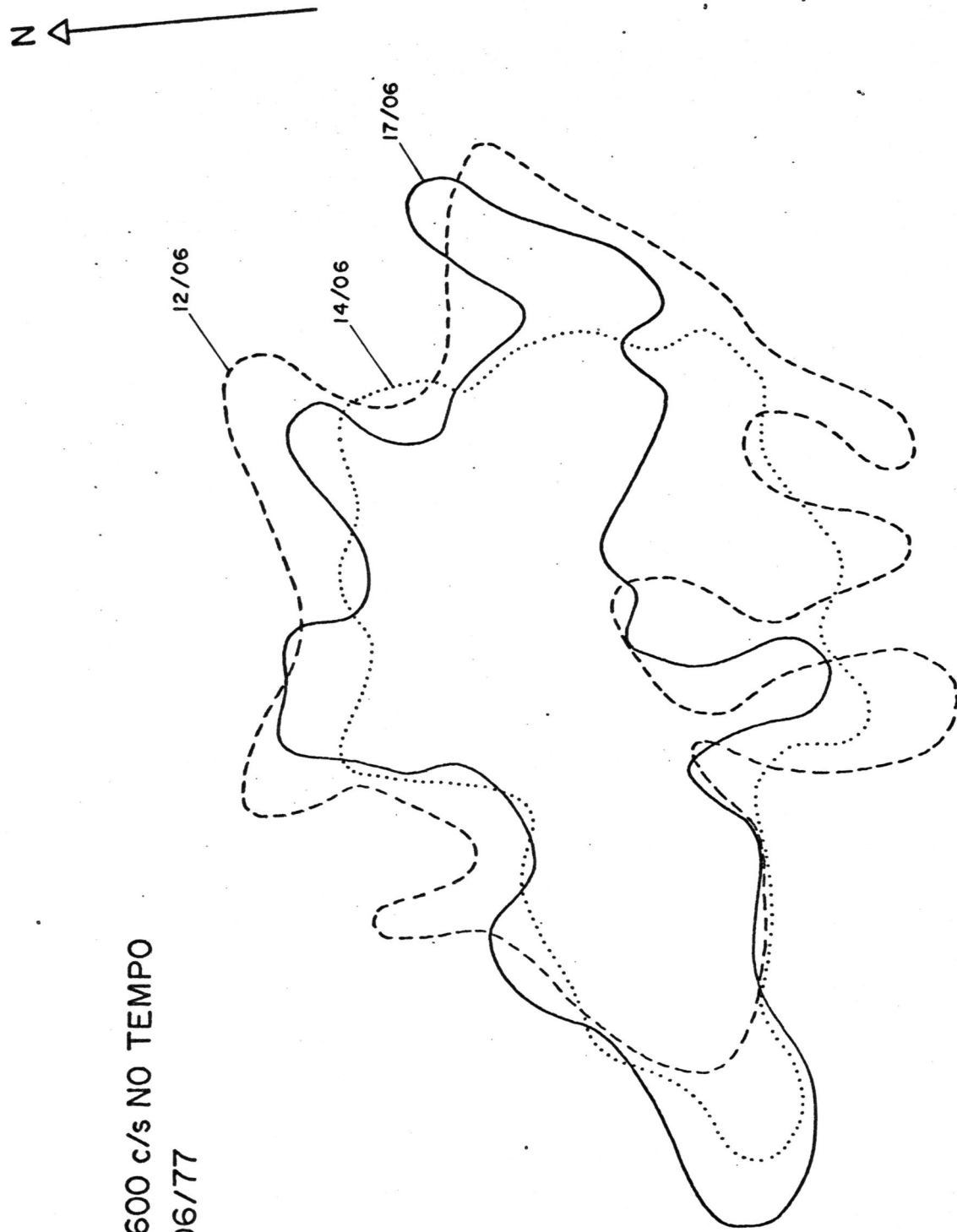


FIG. 12  
CORTE DAS CURVAS DE ISOCONTAGEM  
12, 14, 17/06/77

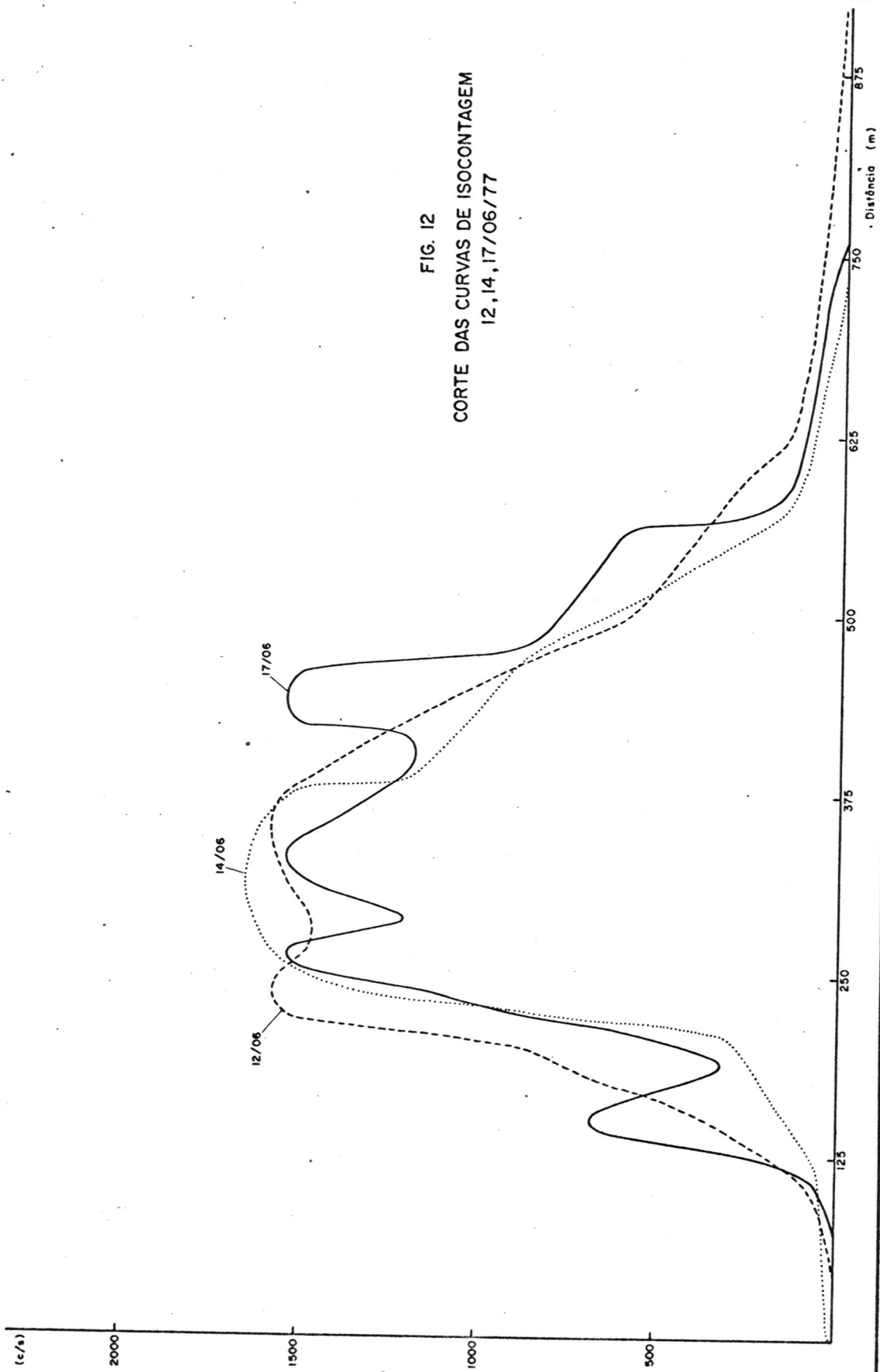
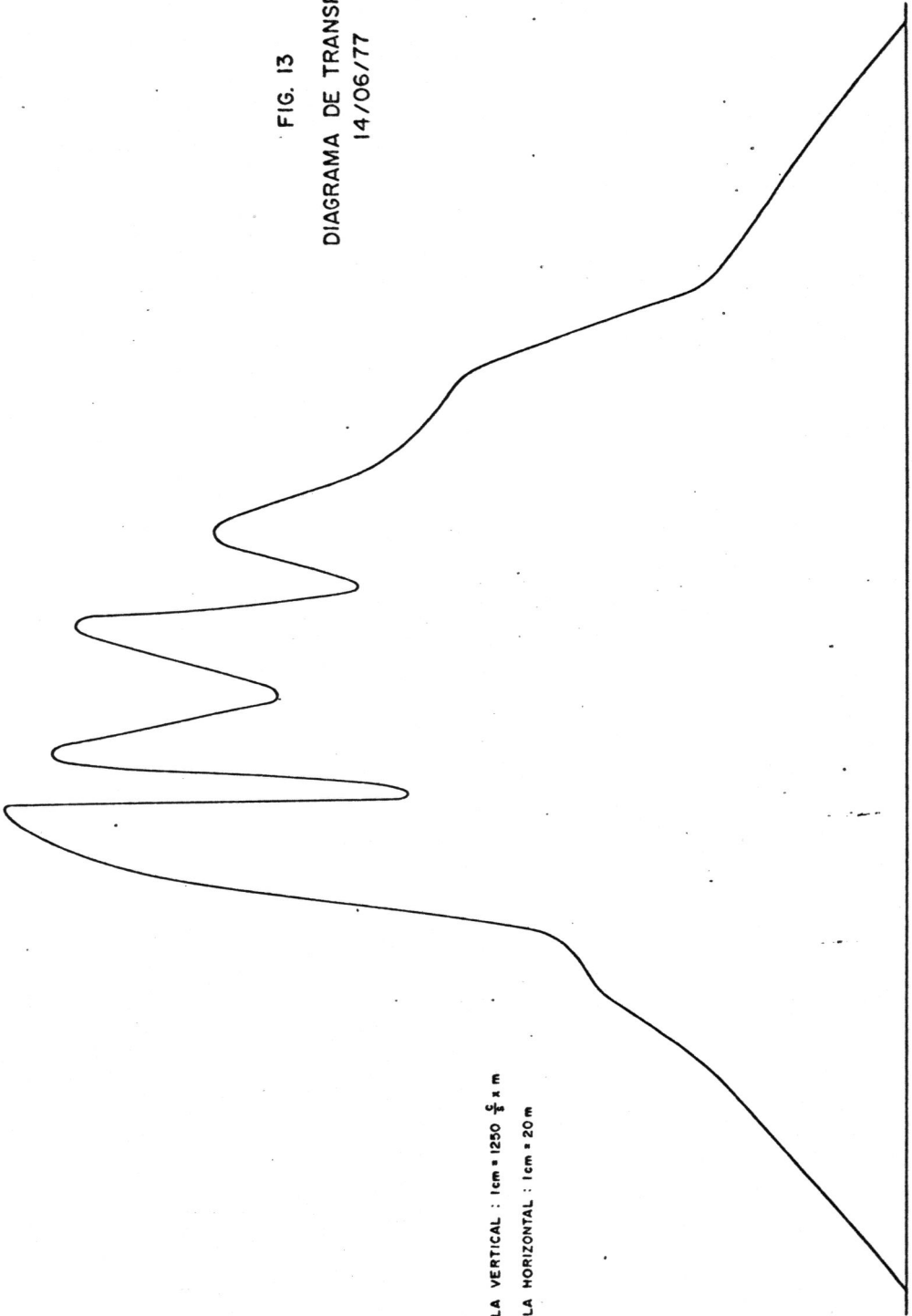




FIG. 13  
DIAGRAMA DE TRANSPORTE  
14/06/77



ESCALA VERTICAL : 1cm = 1250  $\frac{1}{2}$  x m  
ESCALA HORIZONTAL : 1cm = 20 m

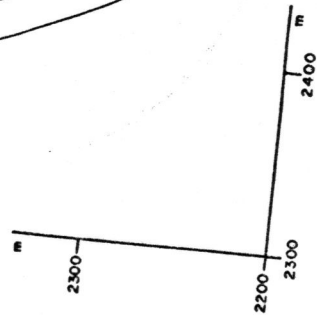
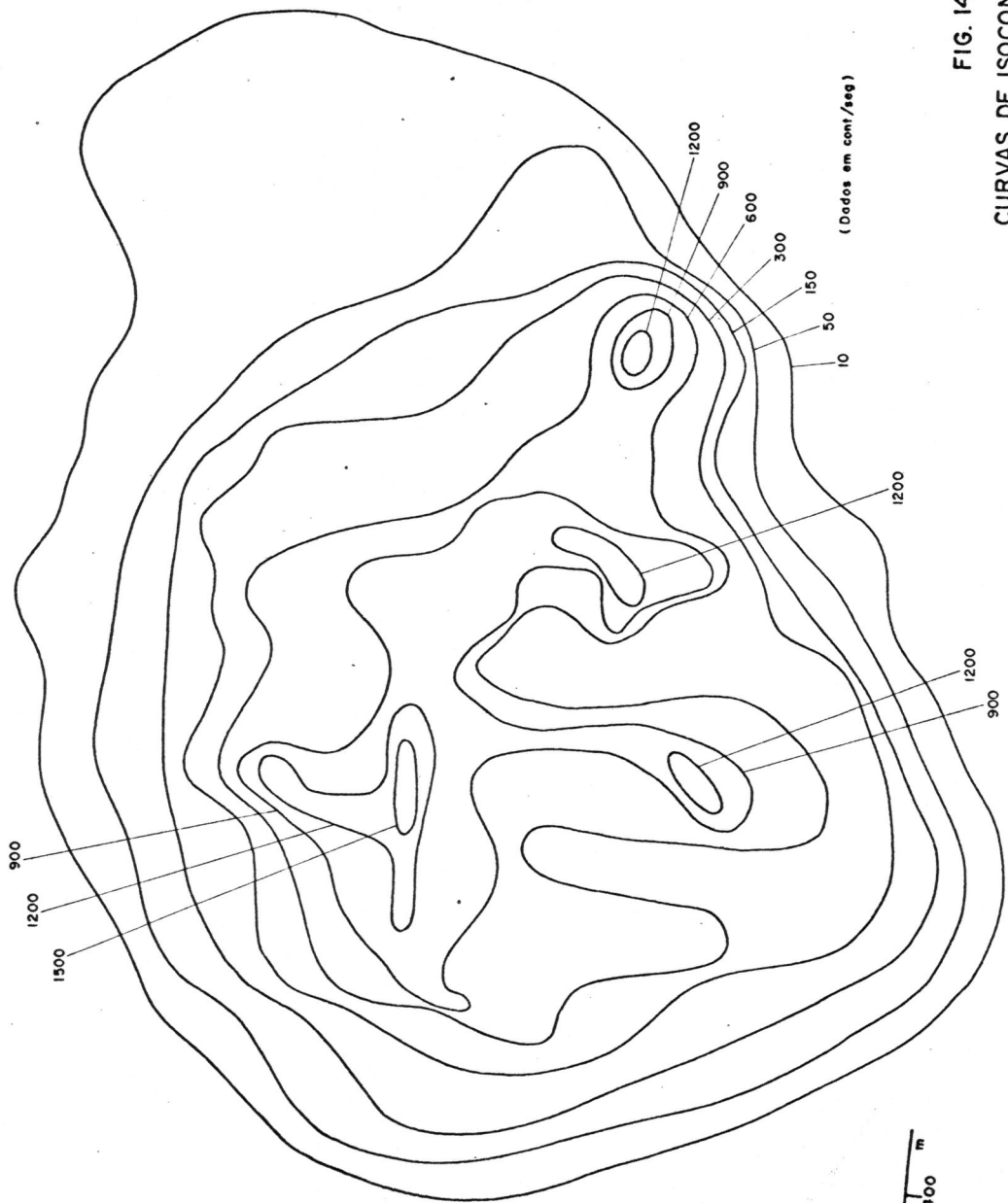
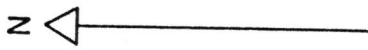


FIG. 14  
CURVAS DE ISOCONCENTRAÇÃO  
17/06/77 - 2a. INJ.

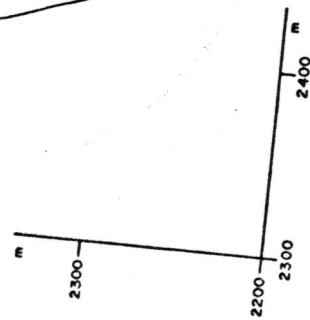
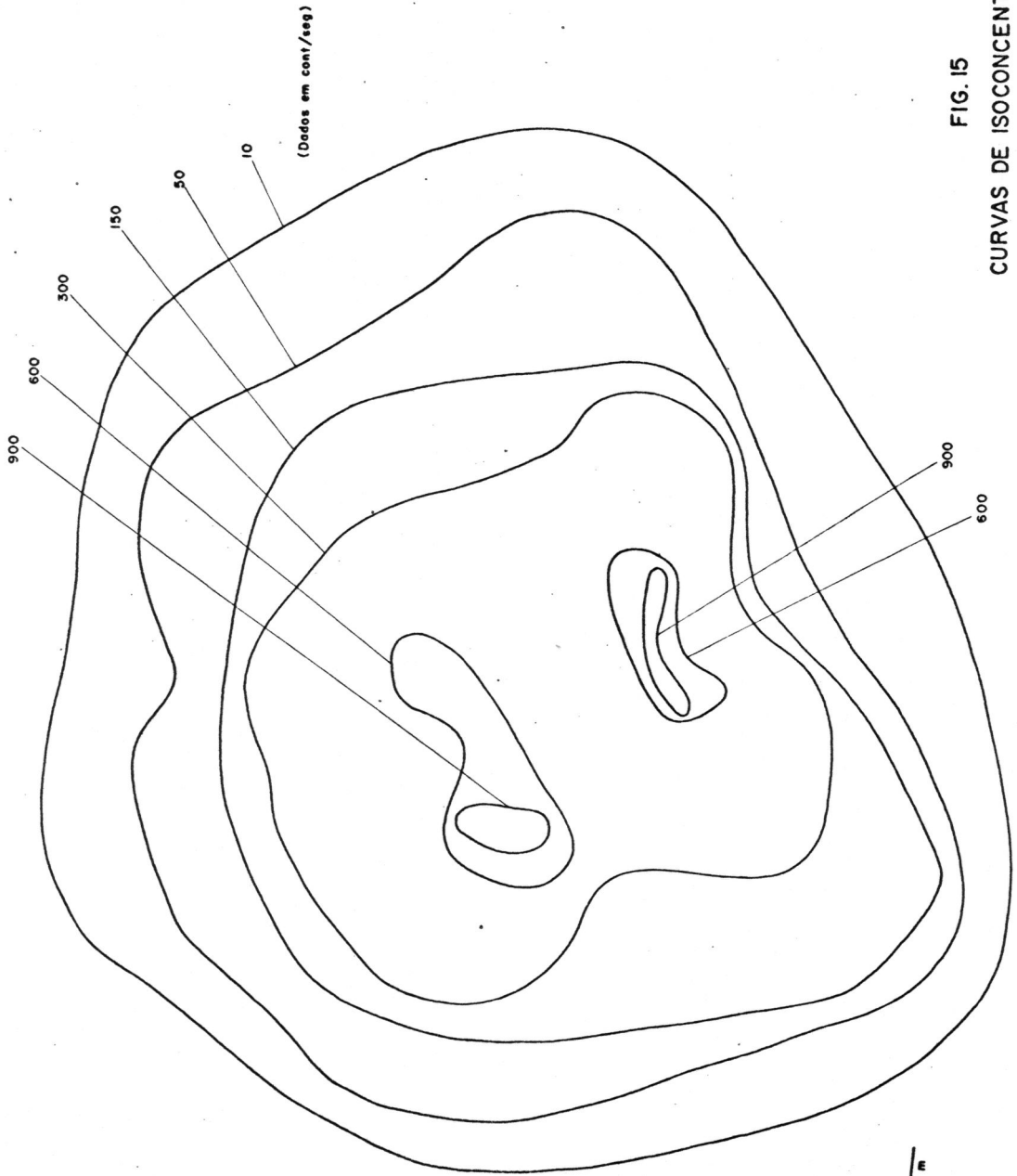


FIG. 15  
CURVAS DE ISOCONCENTRAÇÃO  
18/06/77 - 2a. INJ.

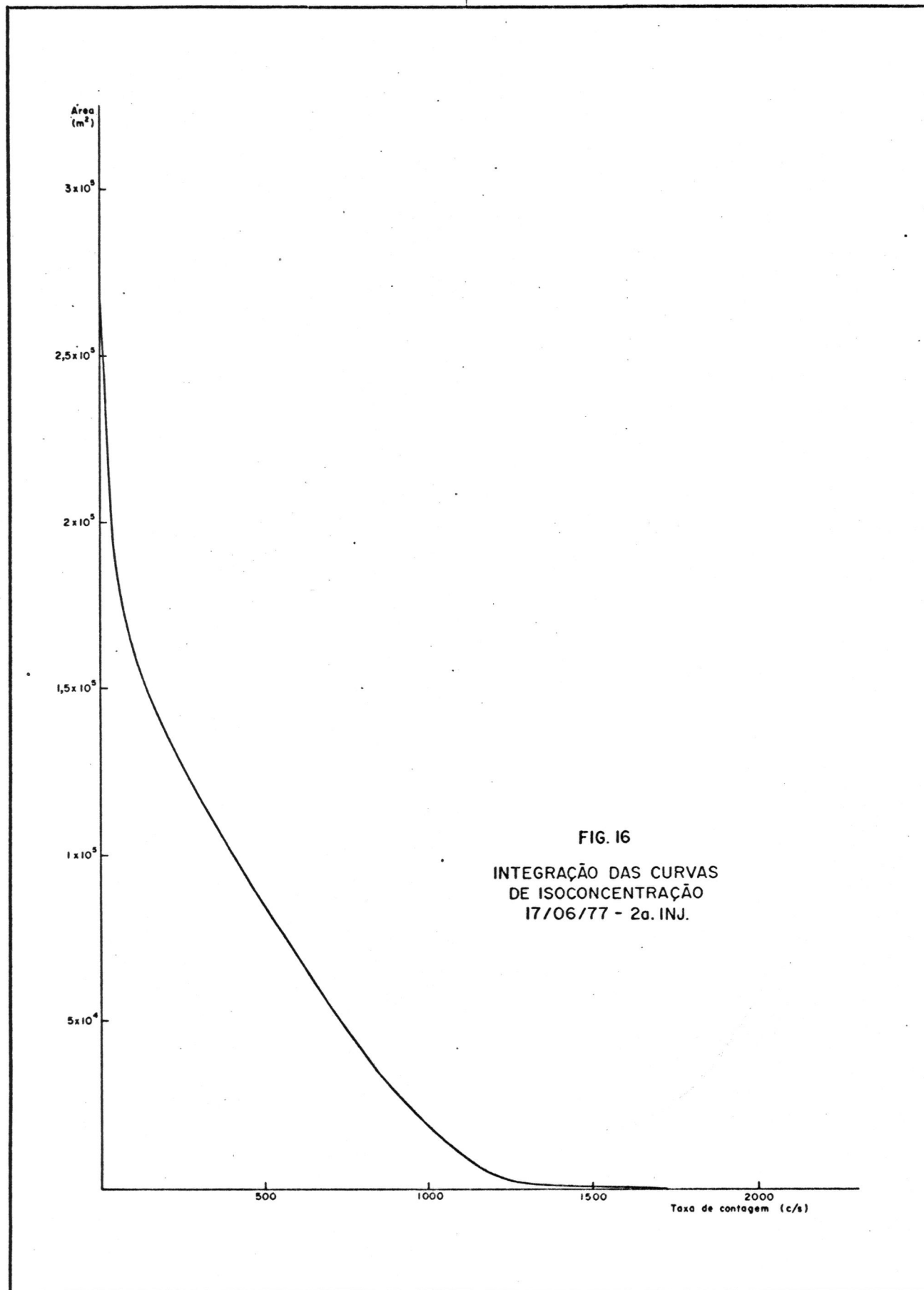
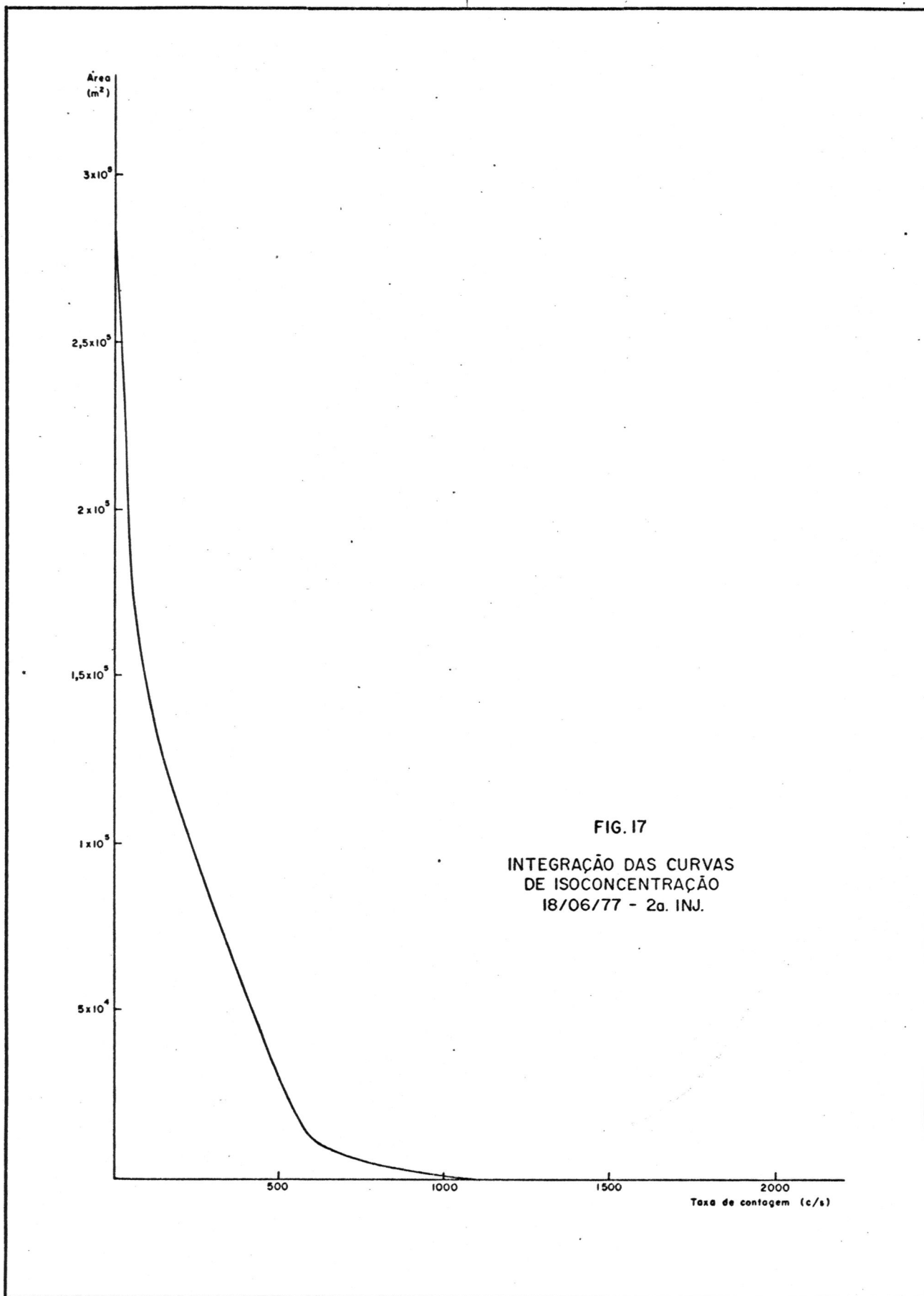


FIG. 16  
INTEGRAÇÃO DAS CURVAS  
DE ISOCONCENTRAÇÃO  
17/06/77 - 2a. INJ.



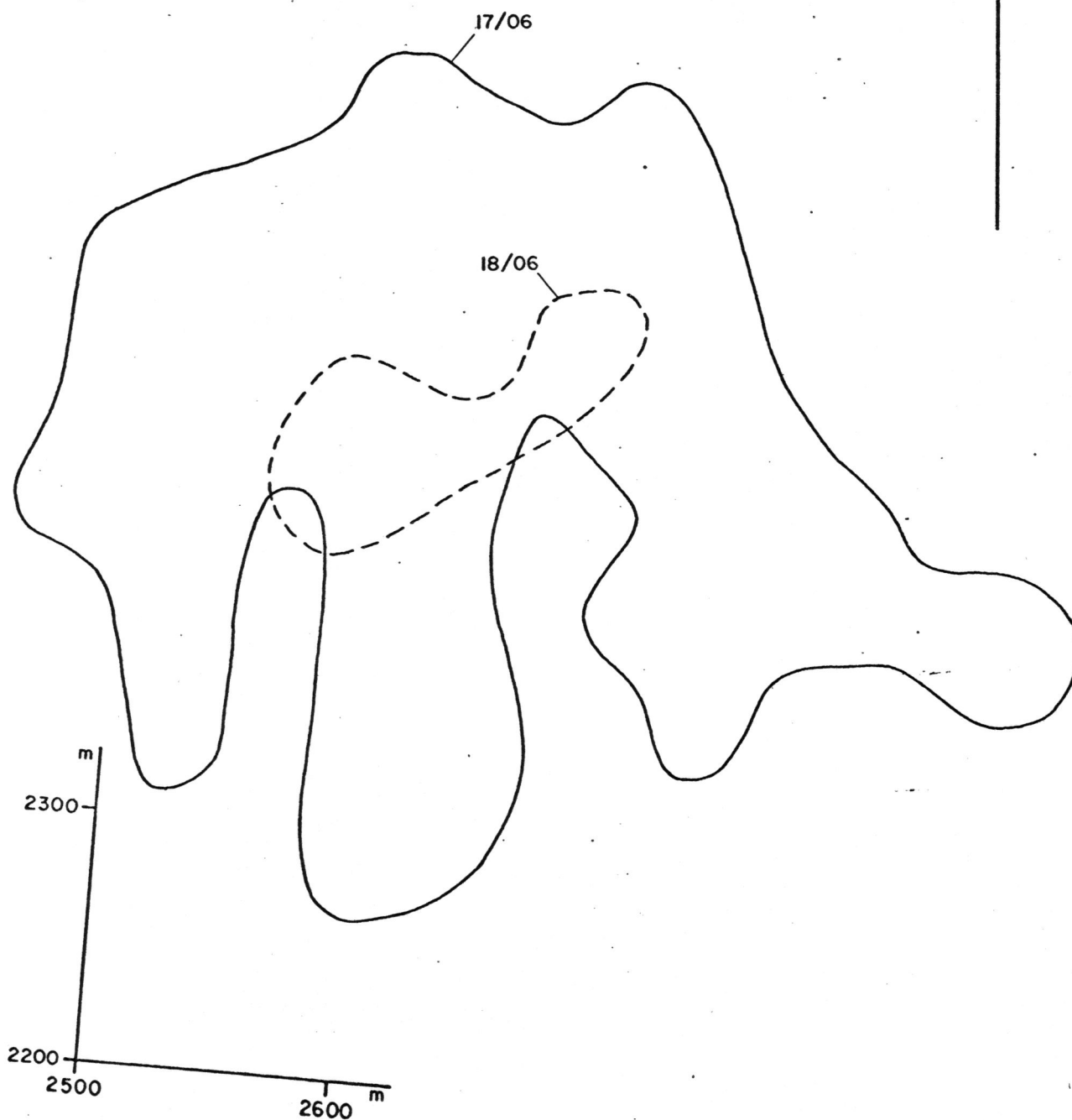
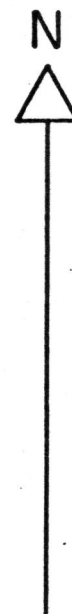


FIG. 18

EVOLUÇÃO DA CURVA DE 600 c/s NO TEMPO  
INJ. DE 17/06/77

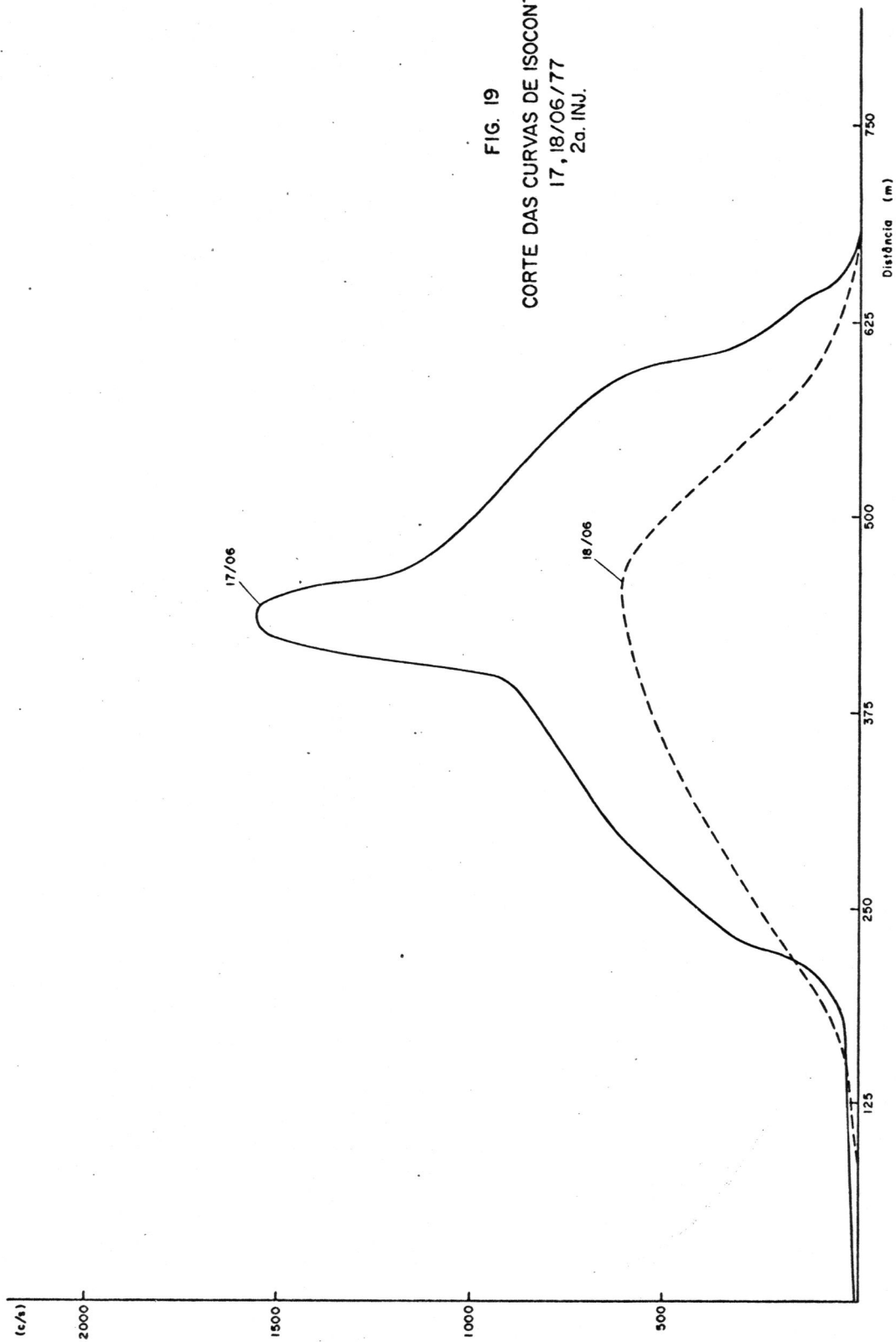


FIG. 19  
CORTE DAS CURVAS DE ISOCONTAGEM  
17, 18/06/77  
2a. INJ.

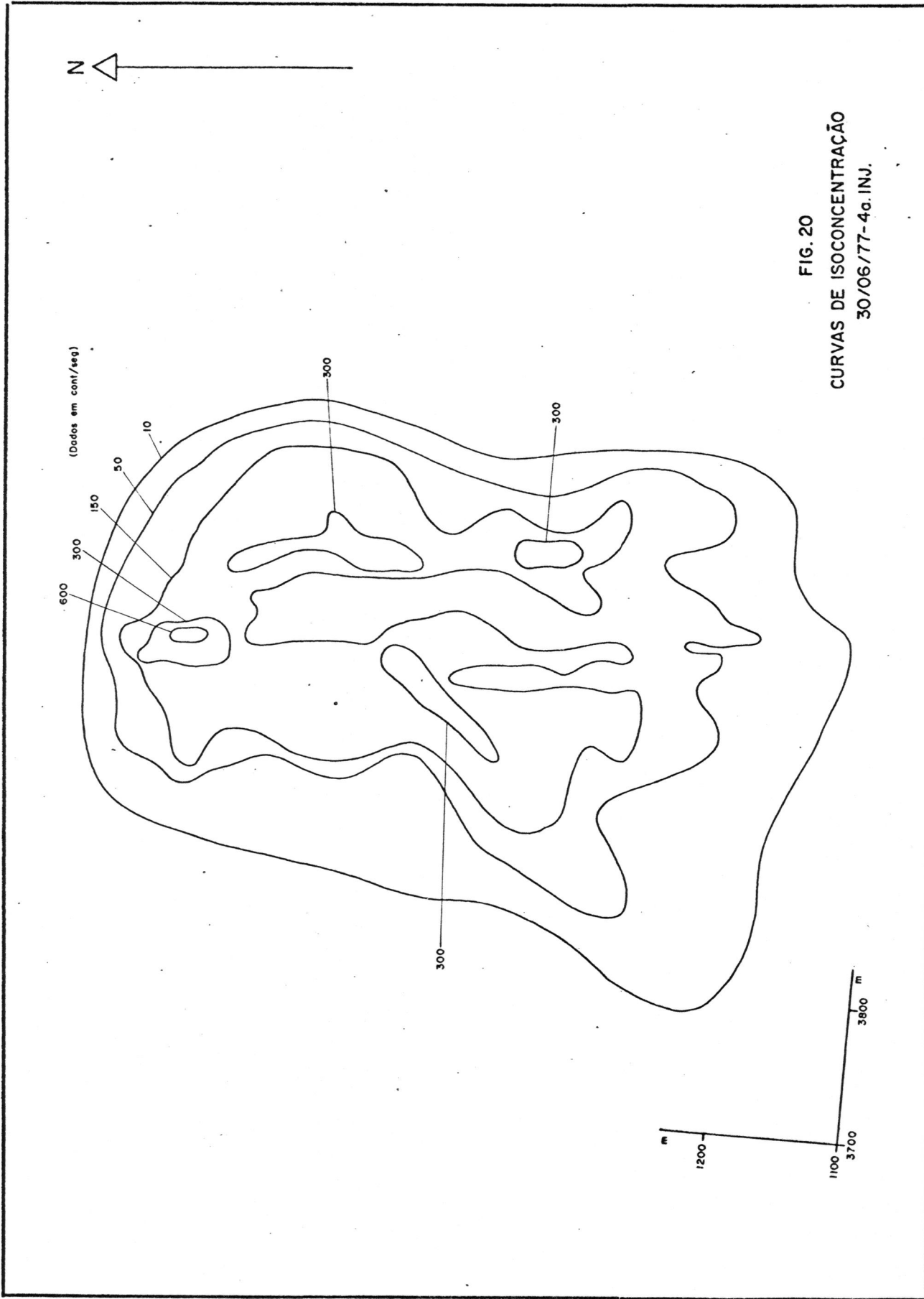


FIG. 20  
CURVAS DE ISOCONCENTRAÇÃO  
30/06/77-4a. INJ.



Área  
(m<sup>2</sup>)

2x10<sup>5</sup>

1,5x10<sup>5</sup>

1x10<sup>5</sup>

5x10<sup>4</sup>

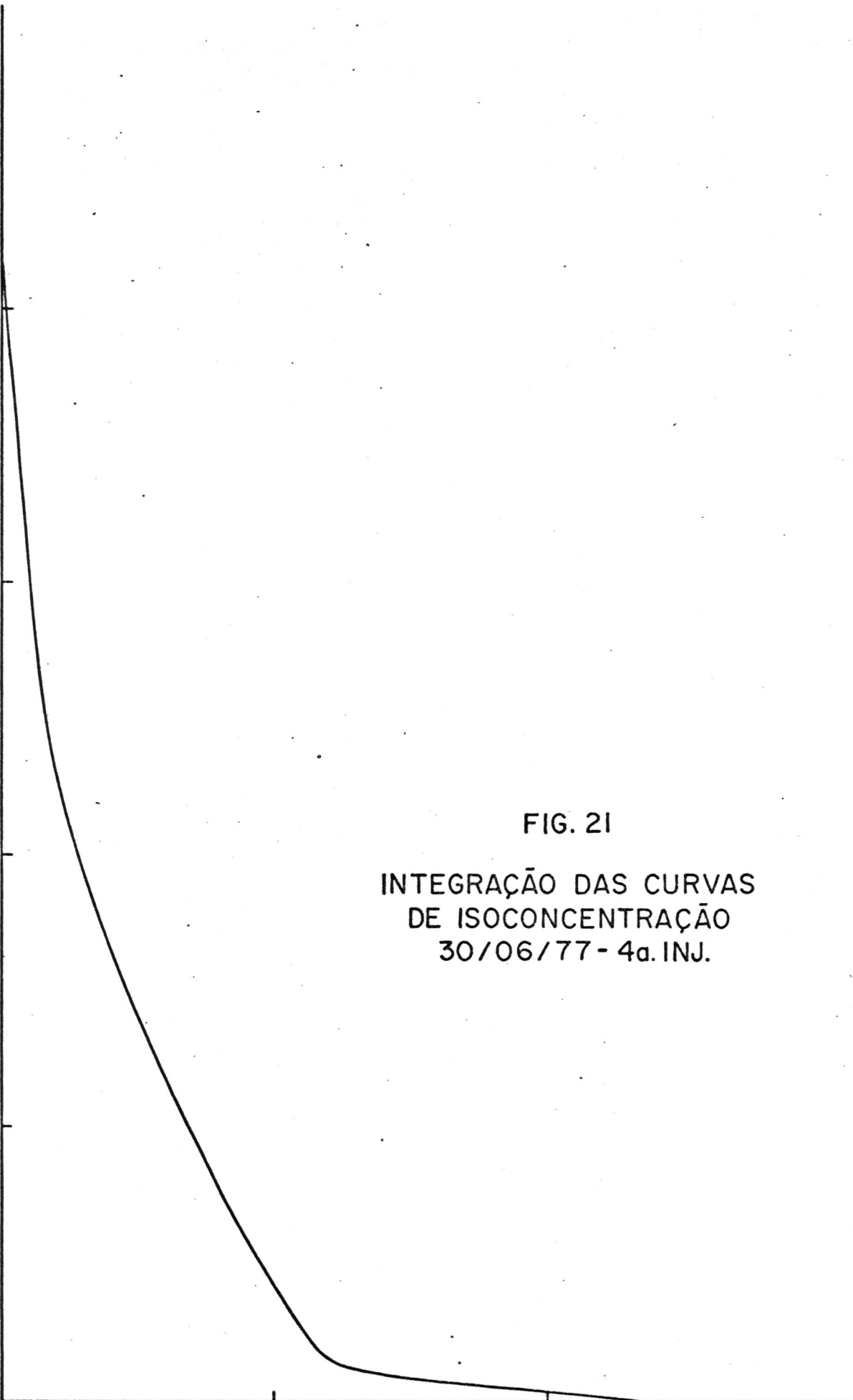
250

500

Taxa de contagem (c/s)

FIG. 21

INTEGRAÇÃO DAS CURVAS  
DE ISOCONCENTRAÇÃO  
30/06/77 - 4a. INJ.



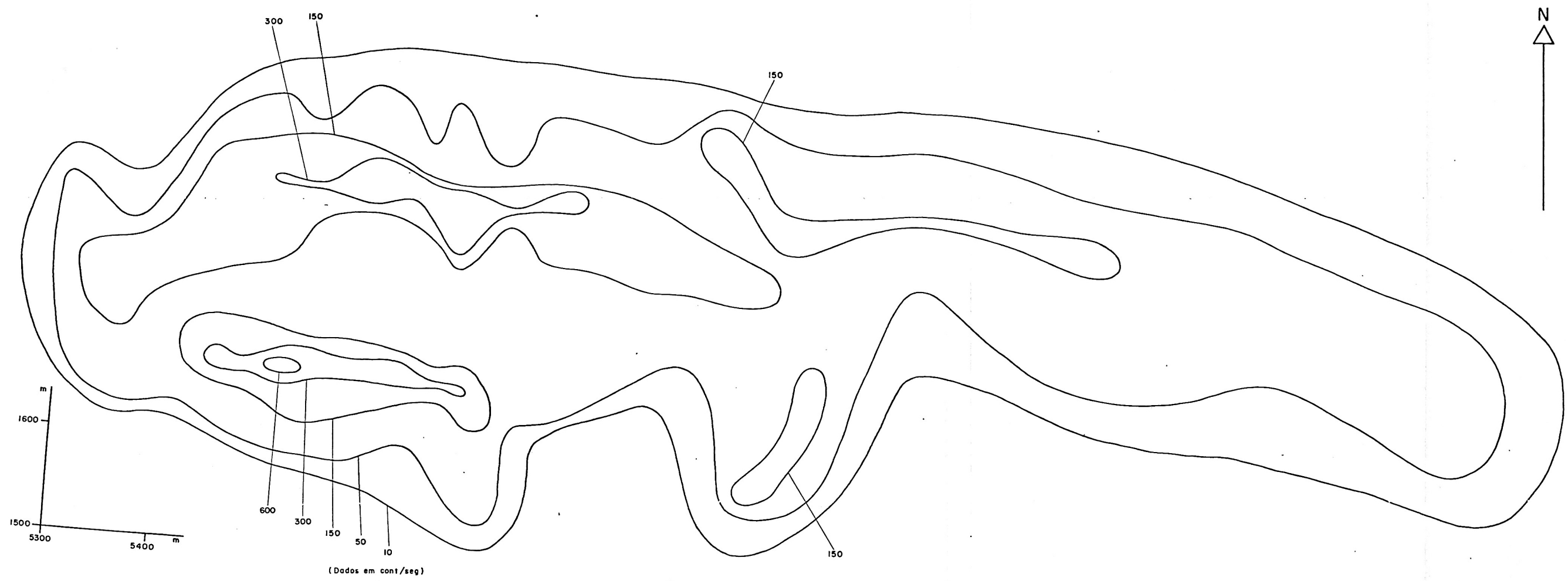


FIG. 22 - CURVAS DE ISOCONCENTRAÇÃO , DIA 01/07/77

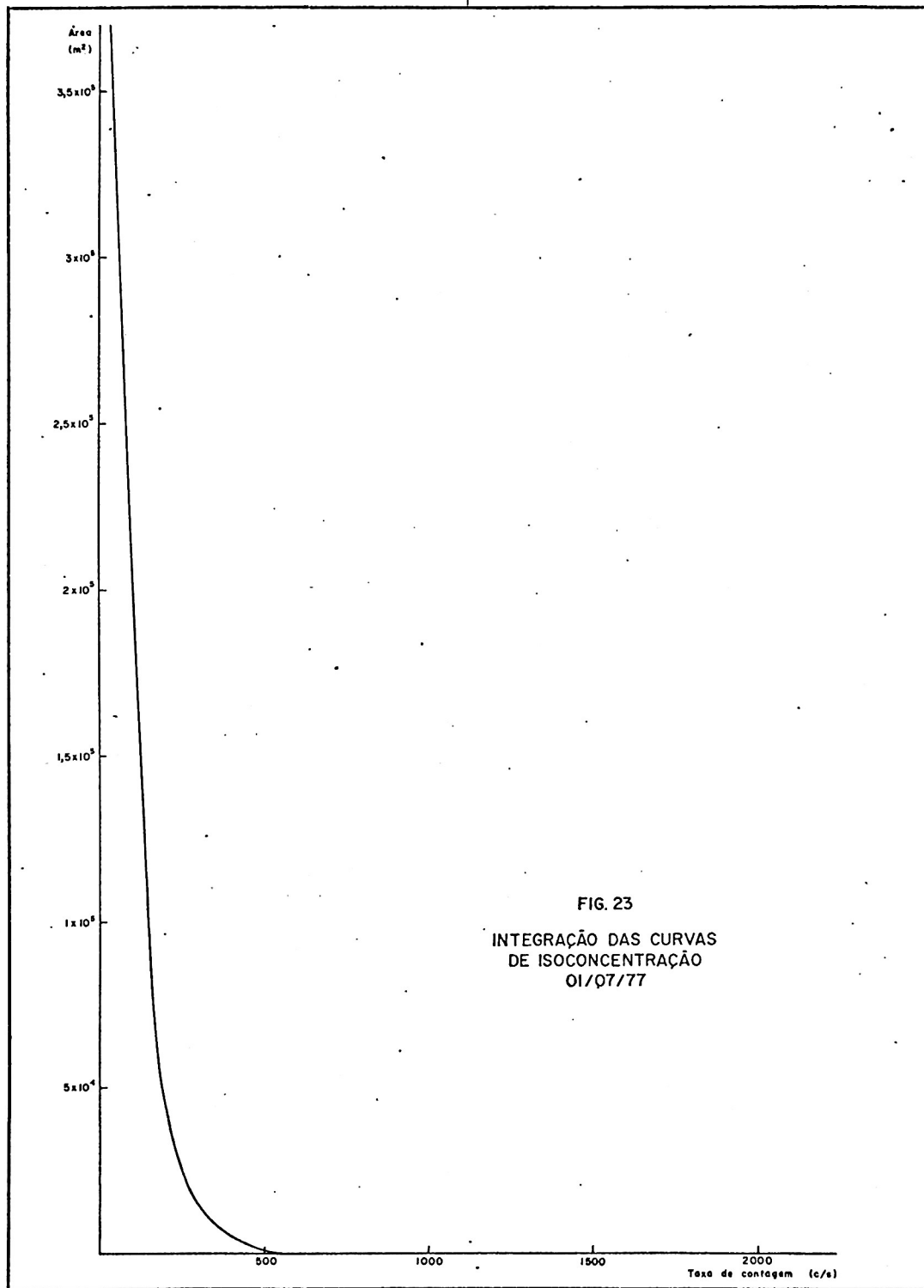


FIG. 23  
INTEGRAÇÃO DAS CURVAS  
DE ISOCONCENTRAÇÃO  
01/07/77