

**TEMPO DE TRÁNSITO DAS ÁGUAS DO RIO JUQUERI  
AO LONGO DO BRAÇO LESTE DA REPRESA PIRAPORA**

**A. PLATA BEDMAR, E. GARCIA AGUDO, A. MARTINS DE  
ALBUQUERQUE, W. SANCHEZ**

**PUBLICAÇÃO IEA N.º 388**  
Abril — 1975

**INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA**  
Caixa Postal 11049 (Pinheiros)  
CIDADE UNIVERSITÁRIA "ARMAANDO DE SALLES OLIVEIRA"  
SAO PAULO — BRASIL

**TEMPO DE TRÂNSITO DAS ÁGUAS DO RIO JUQUERI  
AO LONGO DO BRAÇO LESTE DA REPRESA PIRAPORA.**

**A. Plata Bedmar, E. Garcia Agudo, A. Martins de  
Albuquerque, W. Sanchez.**

**Coordenadoria de Aplicações de Radioisótopos e  
Radiações na Engenharia e na Indústria  
Instituto de Energia Atômica  
São Paulo - Brasil**

**Publicação IEA Nº 388  
Abril - 1975**

**Instituto de Energia Atômica**

**Conselho Superior**

Eng<sup>o</sup> Roberto N. Jafet - Presidente  
Prof.Dr.Emilio Mattar - Vice-Presidente  
Prof.Dr.José Augusto Martins  
Prof.Dr.Milton Campos  
Eng<sup>o</sup> Helcio Modesto da Costa

**Superintendente**

Rômulo Ribeiro Pieroni

# TEMPO DE TRÂNSITO DAS ÁGUAS DO RIO JUQUERI AO LONGO DO BRAÇO LESTE DA REPRESA PIRAPORA.

A. Plata Bedmar, E. Garcia Agudo, A. Martins de  
Albuquerque, W. Sanchez.

## RESUMO

Por meio de lançamentos instantâneos e pontiformes de solução radioativa ( $^{131}\text{I}$ ) diluído em solução de KI) determinaram-se o tempo de trânsito das águas do rio Juqueri, através do braço leste da Represa Pirapora e as variações de vazão desse rio, ao longo do período de trabalho.

Considerou-se o tempo de trânsito entre o local de lançamento e uma secção qualquer de controle, a jusante, como sendo o intervalo compreendido entre os instantes de lançamento e o da passagem do centro de gravidade da distribuição do traçador radioativo por essa secção de controle.

Simultaneamente, com as determinações de tempo de trânsito efetuaram-se seis (6) medições de vazão do rio Juqueri, em dias diferentes, utilizando-se o método da contagem total. Em cada medição lançaram-se 50 mCi de  $^{131}\text{I}$ , aproximadamente, ao longo da secção transversal do rio.

Discutem-se, ainda, os resultados das medições de tempo de trânsito efetuadas em regime variável e corrigidas para as condições estacionárias.

## Considerações Iniciais

O objetivo deste trabalho foi determinar o tempo de trânsito das águas que entrando pelo rio Juqueri, chegam ao corpo principal da Represa Pirapora. Este dado, de interesse da SABESP, Saneamento Básico do Estado de São Paulo, deve ser usado nos estudos de lançamento dos esgotos da cidade de São Paulo, no rio Juqueri.

Efetuu-se o ensaio, por meio de traçadores radioativos, em época de estiagem, estimando-se em  $10^7 \text{ m}^3$  o volume de água no braço leste da represa Pirapora.

Determinaram-se várias vezes as vazões do rio Juqueri, ao longo do período de trabalho.

Mostra-se, na figura 1, o local de estudo. Incluem-se na planta o ponto de injeção do traçador radioativo, e as quatro secções de controle onde se registrou a passagem da onda radioativa.

A largura do braço da represa, mostrado na figura 1, entre o ponto de injeção e o primeiro ponto de controle, corresponde a um nível de água superior ao encontrado em períodos de estiagem. A rigor, nesse trecho, a quantidade de água existente durante os ensaios era pequena, configurando-se uma rede de ribeirões de pequena largura que juntavam-se no ponto 1, sob a ponte.

Entre os pontos 1 e 2, a área estava totalmente inundada formando uma lagoa de pouca profundidade, porém com grande extensão.

A partir do ponto número 2 a situação mostrou-se diferente, com o sistema apresentando características mais confinadas, aumentando gradativamente a profundidade que chegou a atingir 10 metros, nas proximidades do ponto 4.

### Injeção do Traçador

Injetaram-se 6,0 Ci de  $^{131}\text{I}$ , às 12 horas do dia 22/07/74, diluídos em 5 litros de solução de KI a 10%.

Escolheu-se o  $^{131}\text{I}$  como traçador radioativo nos estudos do tempo de trânsito porque sua meia vida de 8 dias permite a medição "in situ", durante várias semanas.

Injetou-se a solução radioativa no centro da secção transversal do rio, durante 15 segundos, aproximadamente. A jusante do ponto de injeção existe uma corredeira que facilitou a homogeneização do traçador com a água.

A distância entre o ponto de injeção e a primeira secção de controle (ponto 1, figura 1) é de 3.500 m, aproximadamente.

### Deteção

Efetou-se a detecção do traçador nas diversas secções de controle, utilizando-se uma sonda com cristal de NaI(Tl), de 1" x 1", associada a um escalímetro e medidor de taxa de contagem marca "BASC".

Mediu-se, continuamente, a passagem da nuvem radioativa pelo ponto número 1, registrando-se a variação da taxa de contagem por meio de um registrador gráfico "RUSTRAK". Verificou-se que nesse ponto o traçador já estava uniformemente distribuído na secção transversal do rio.

Nas outras secções de controle, a medição da nuvem radioativa foi descontínua e a várias profundidades porque observou-se a existência de estratificação.

As curvas de passagem da nuvem de traçador pelas diversas secções de controle podem ser observadas nas figuras de números 2 a 5.

Quando o traçador radioativo ainda estava passando pelo último ponto de controle, entrou em operação a estação elevatória "Eduard de Souza, na Represa Pirapora e conseqüentemente parte da água da represa passou para o rio Tietê. A partir desse momento, a concentração do traçador no ponto 4 começou a cair mais rapidamente do que o esperado (figura 5). Não obstante, foi possível calcular a variação da concentração do traçador em função do tempo, considerando-se que as condições se mantiveram estacionárias. Para isso, admitiu-se o princípio de conservação do traçador e os conhecimentos da atividade total injetada e da vazão do rio Juqueri no período dos ensaios, (Vide Apêndice). Representa-se na figura 5, em linha descontínua, a curva assim obtida.

Mostram-se, nas figuras 6, 7 e 8, as curvas de passagem da nuvem de traçador pelo ponto número 2, em três profundidades diferentes. Observa-se que a maior quantidade de traçador passou a 2 metros de profundidade

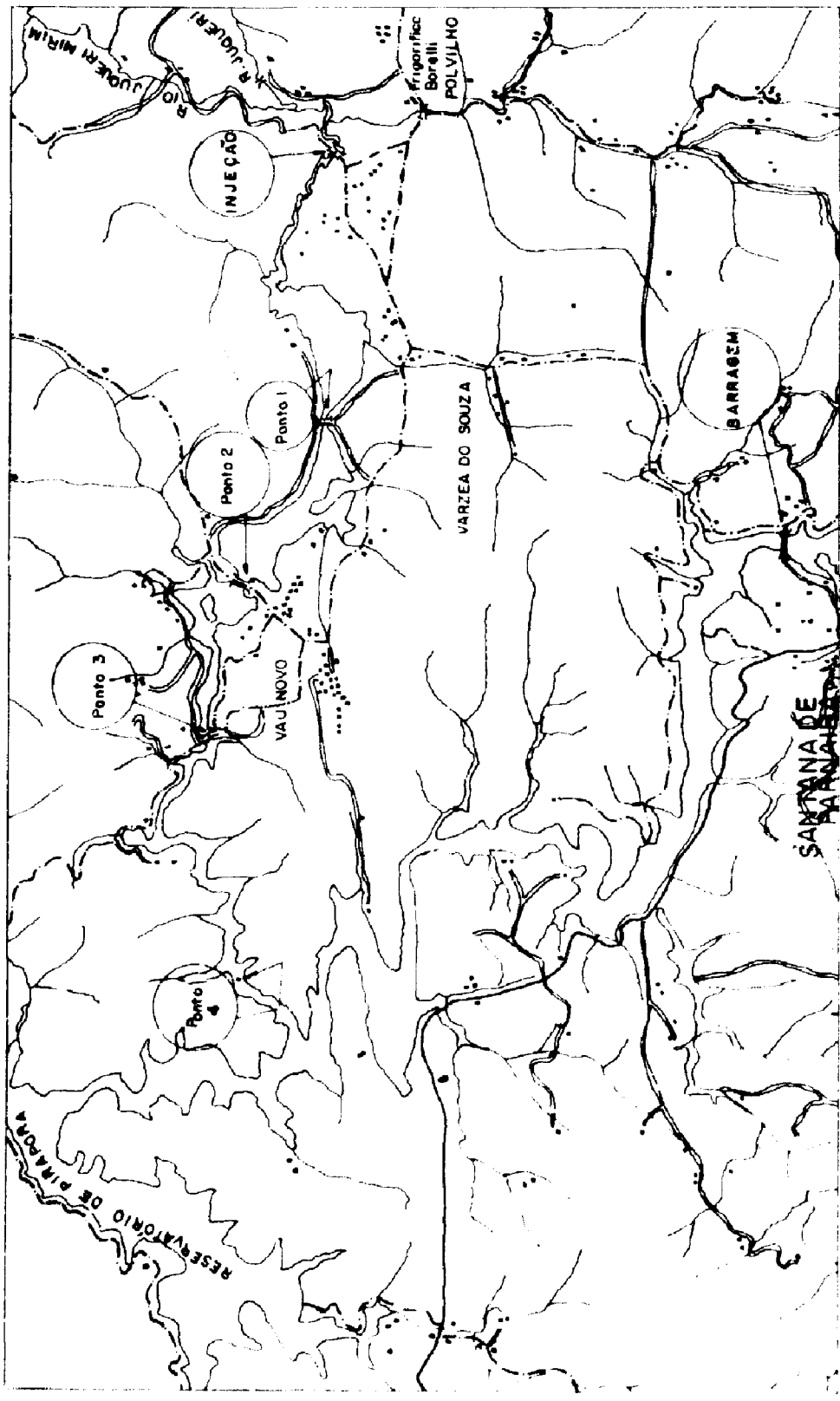


Fig 1 — Planta de local onde foram realizadas as ensaies.  
Escala 1:50.000

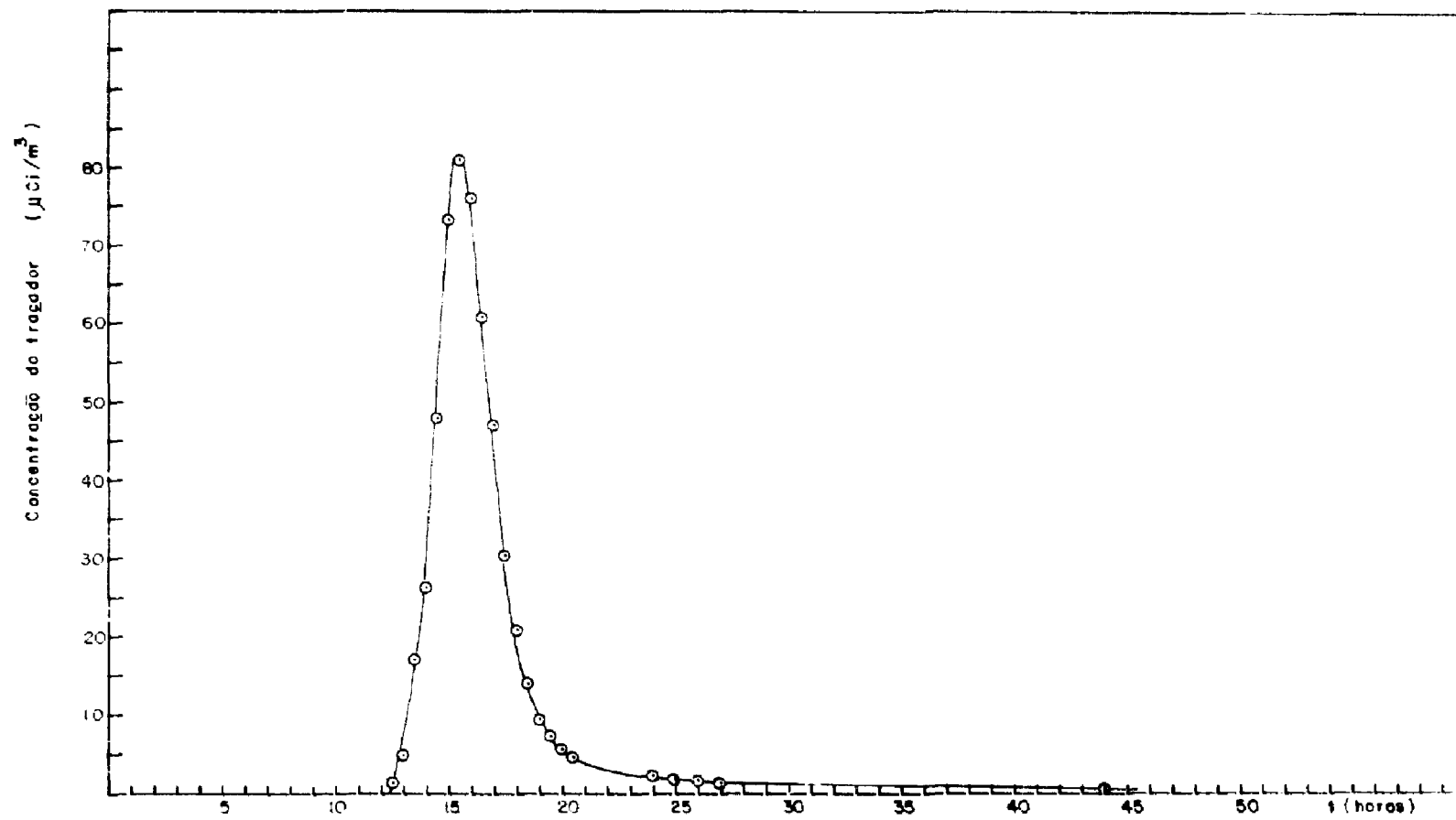


Figura 2 - Concentração média do traçador no ponto 1, em função do tempo transcorrido após a injeção.

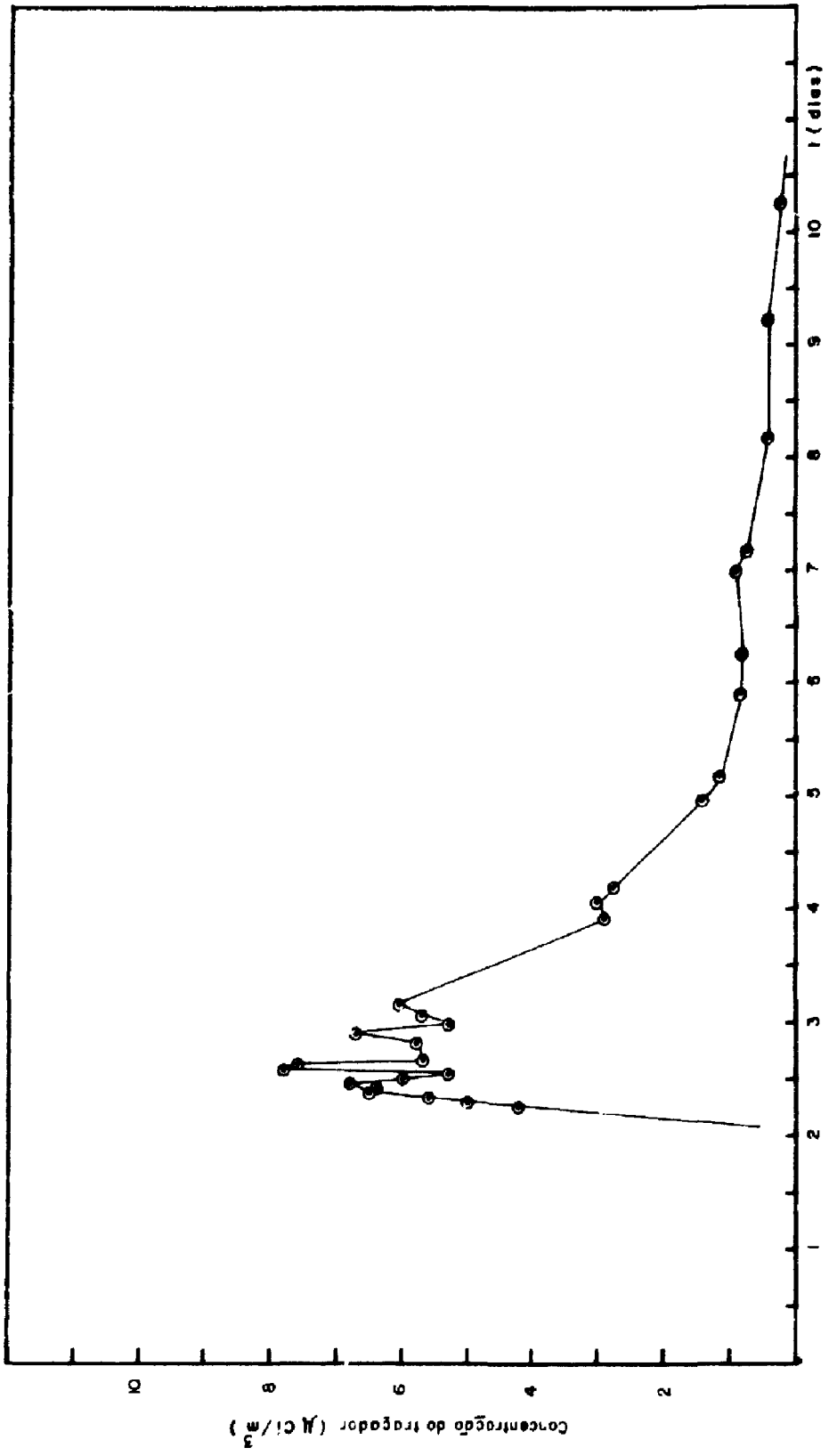


Figura 3 — Concentração média do traçador no ponto 2, em função do tempo transcorrido após o injeção.



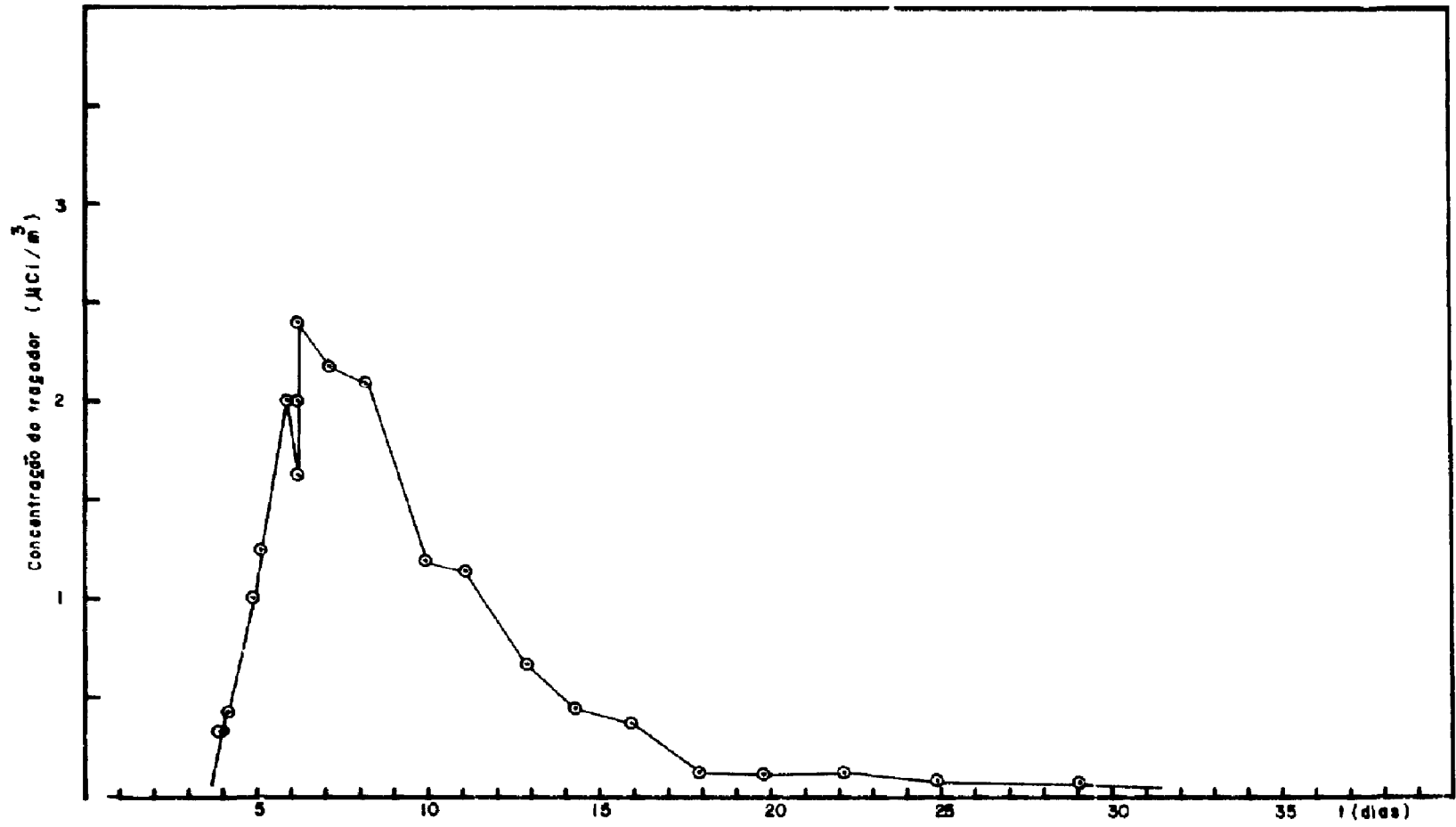


Figura 4 - Concentração média do traçador no ponto 3, em função do tempo transcorrido após a injeção.

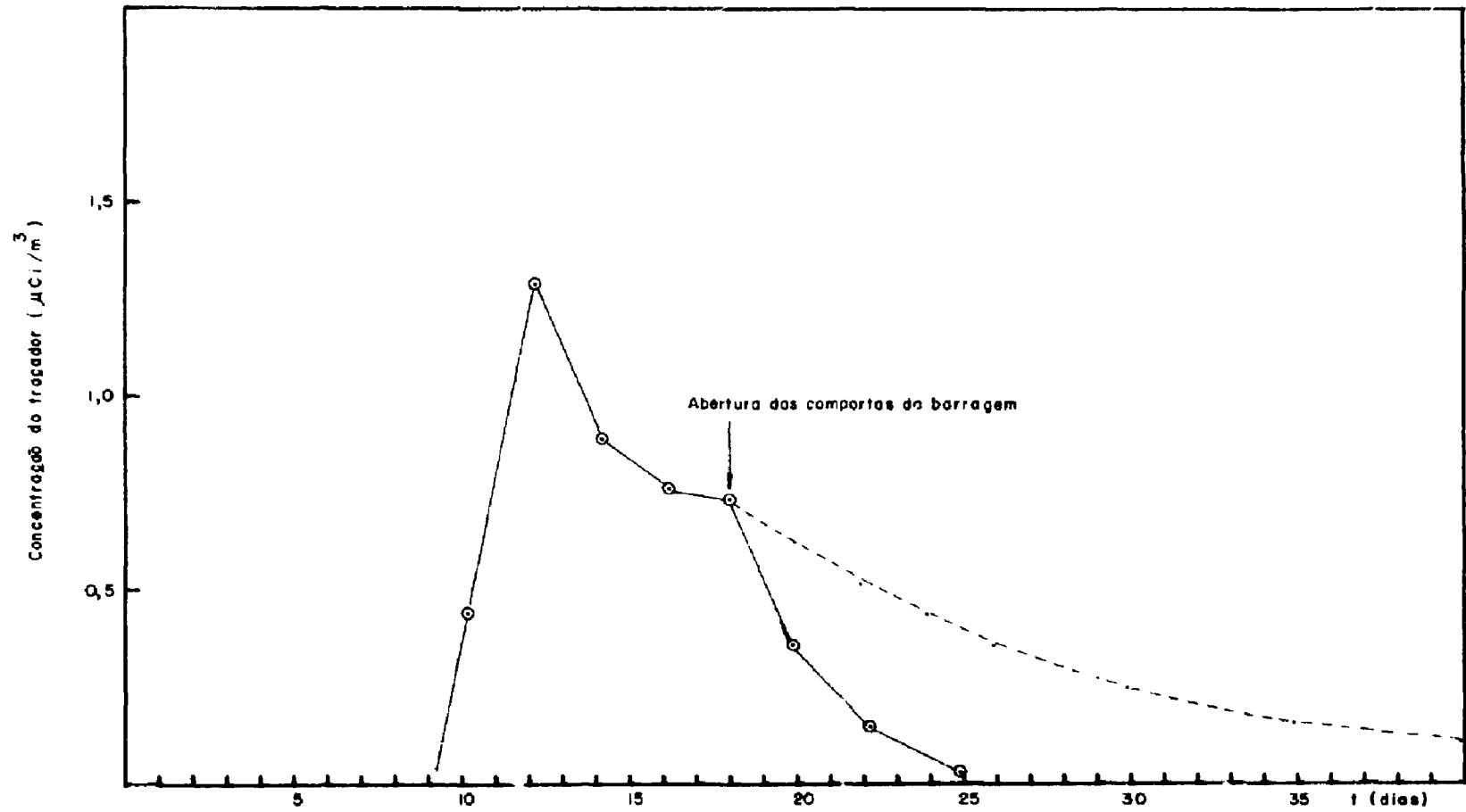


Figura 5 — Concentração média do traçador no ponto 4, em função do tempo transcorrido após a injeção. A curva descontinua representa a concentração calculada, considerando velocidade constante.

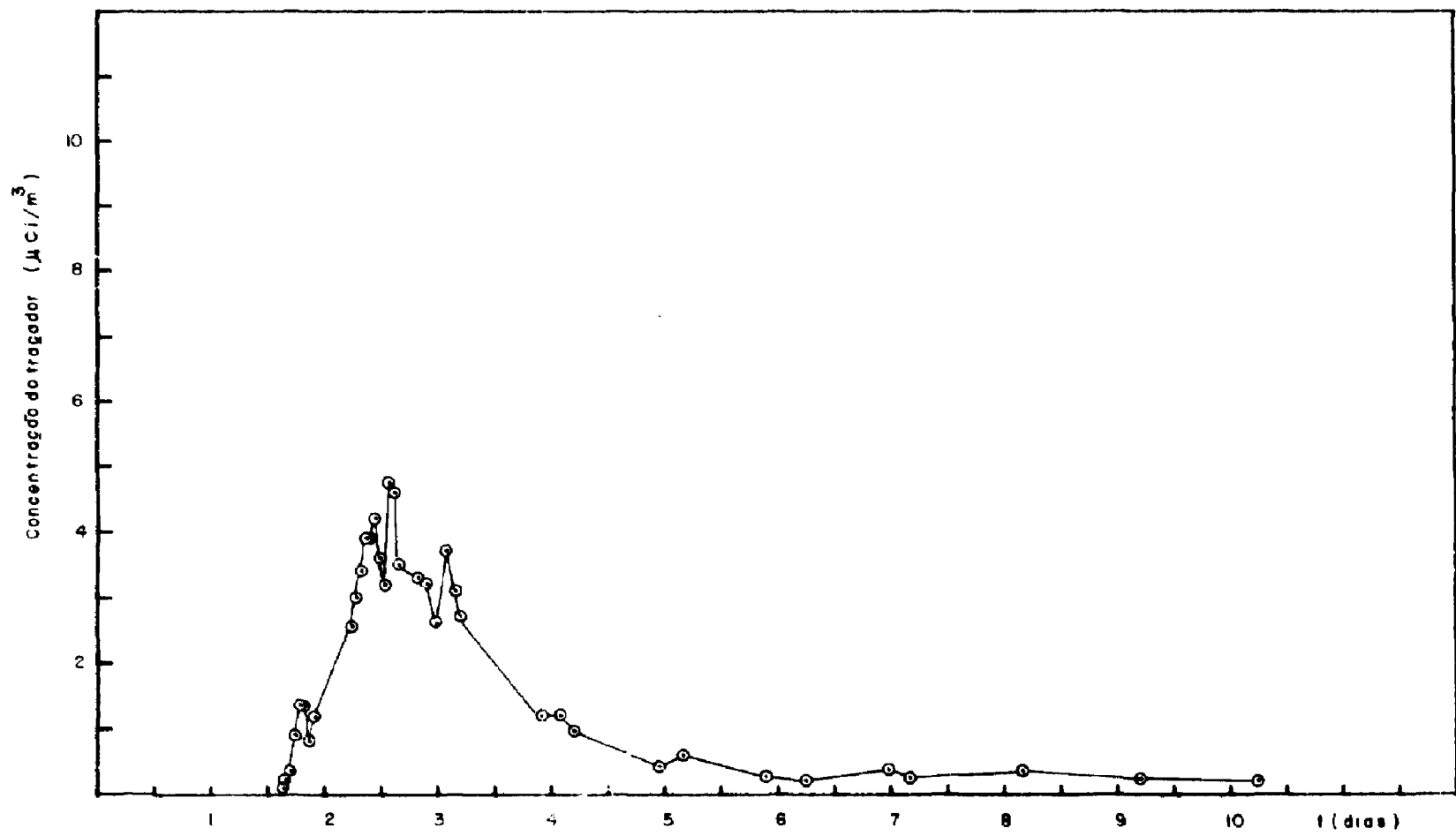


Figura 6 — Concentração do traçador a 0,5 m de profundidade, no ponto 2.

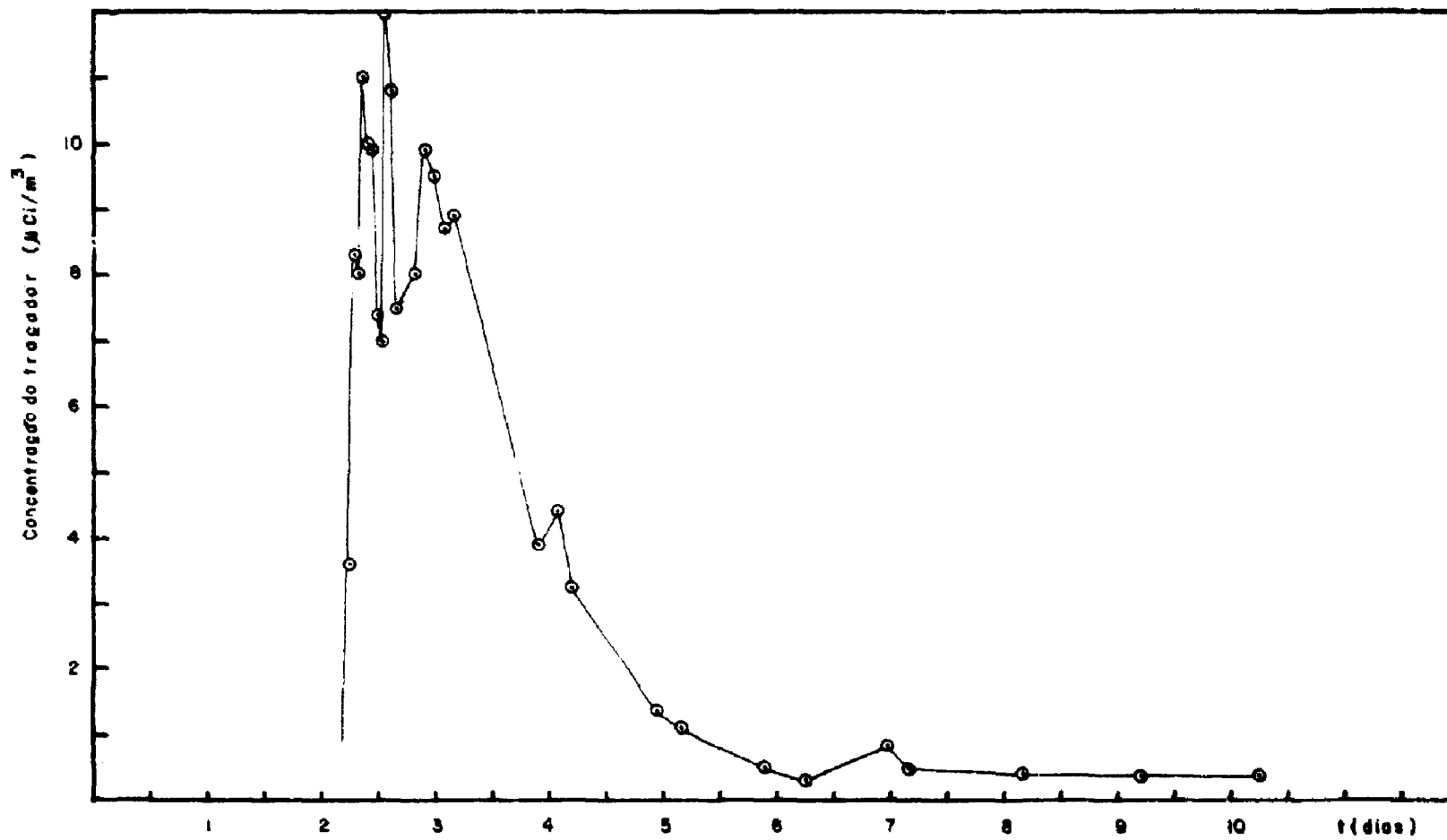


Figura 7 — Concentração do traçador a 2m de profundidade, no ponto 2

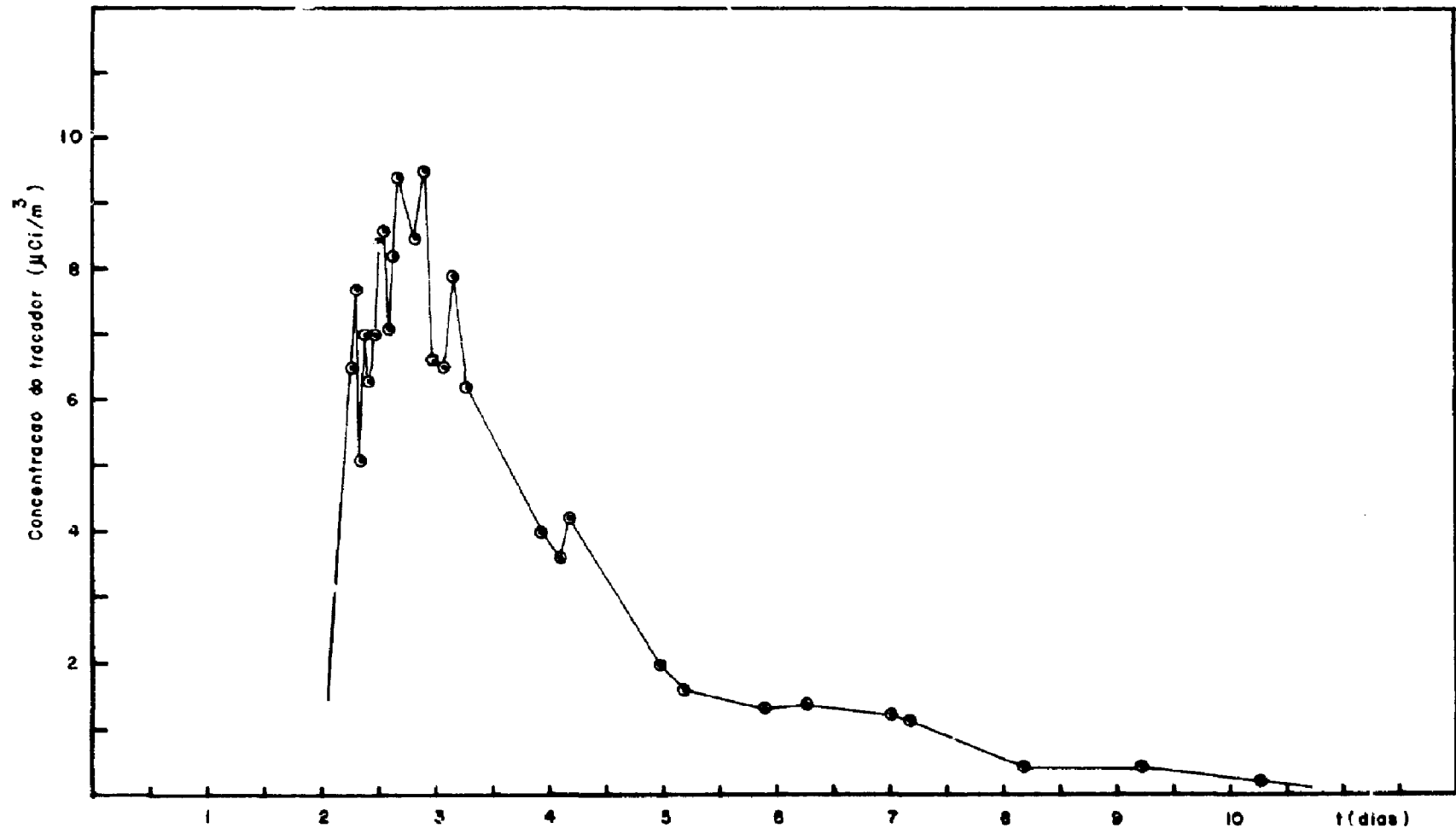


Figura 3 - Concentração do traçador a 3m de profundidade, no ponto 2

### Cálculo do Tempo de Trânsito

O tempo de trânsito entre o ponto de injeção e uma secção qualquer de controle é representado pelo intervalo entre o instante de injeção e o de passagem do centro de gravidade da nuvem do traçador pela secção de controle.

Representa-se o centro de gravidade de uma função  $C_i = f(t_i)$  pela equação:

$$G = \frac{\int_0^{\infty} C_i t_i dt}{\int_0^{\infty} C_i dt} \quad (1)$$

onde  $C_i$  é a concentração do traçador no tempo  $t_i$ .

Quando a origem do sistema de coordenadas coincidir com o instante de injeção, o valor de  $G$  representado pela equação 1, corresponde ao tempo de trânsito  $T$ .

Para resolver a equação 1, dividiram-se as curvas de passagem do traçador pela secção de controle em intervalos de tempo iguais ( $\Delta = 0,5$  horas para o ponto 1; 5 horas para o ponto 2; e 1 dia para os pontos 3 e 4) transformando-se as integrais em somatórias.

$$T = \frac{\sum_{i=0}^{\infty} C_i t_i \Delta t}{\sum_{i=0}^{\infty} C_i \Delta t} \quad (2)$$

ou

$$T = \frac{\sum_{i=0}^{\infty} C_i t_i}{\sum_{i=0}^{\infty} C_i} \quad (3)$$

onde  $C_i$  é a concentração média do traçador entre o intervalo de tempo  $t_i$  e  $t_i + \Delta t$ .

Calcularam-se os tempos de trânsito a partir do ponto de injeção até as secções de controle, utilizando-se da equação 3. Os valores obtidos constam da tabela I.

Calcularam-se também os tempos de trânsito parciais entre secções de controle sucessivas, constando os valores obtidos na tabela II.

Utilizando-se os valores de concentração de três profundidades diferentes, calcularam-se também os tempos de trânsito para as águas que fluem a essas profundidades (aproximadamente 1/3, 1/2 e 2/3 da profundidade total). Embora os resultados mostrem uma tendência definida em aumentar o tempo de trânsito com a profundidade, as diferenças são inferiores a 10% (ver tabelas III e IV)

Tabela I

Tempos de Trânsito entre o Ponto de Injeção e as  
Distintas Secções de Controle.

SECÇÃO DE CONTROLE	TEMPO DE TRÂNSITO
Ponto 1	16,5 horas
Ponto 2	3,96 dias
Ponto 3	9,54 dias
Ponto 4	15,13 dias
	(18,7 dias) *
OBS: (*) - Considerando-se condições estacionárias.	

Tabela II

Tempos de Trânsito entre Secções sucessivas.

TRECHOS	TEMPO DE TRÂNSITO PARCIAIS
injeção - Ponto 1	16,5 horas
Ponto 1 - Ponto 2	3,27 dias
Ponto 2 - Ponto 3	5,58 dias
Ponto 3 - Ponto 4	5,57 dias
	(9,2 dias) *
OBS: (*) - Considerando-se condições estacionárias.	

Tabela III

Tempos de Trânsito em Várias Profundidades, Ponto número 2

PROFUNDIDADE DA SECÇÃO	TEMPO DE TRÂNSITO
0,5 m	3,76 dias
2,0 m	4,02 dias
3,0 m	4,14 dias

Tabela IV

Tempos de Trânsito em Várias Profundidades, Ponto número 3

PROFUNDIDADE DA SECÇÃO	TEMPO DE TRÂNSITO
1,5 m	9,46 dias
3,0 m	9,51 dias
4,5 m	9,65 dias

#### Medidas da Vazão do Rio Juqueri

Simultaneamente com os estudos do tempo de trânsito, realizaram-se seis (6) medições da vazão do rio Juqueri, em dias diferentes, utilizando-se traçadores radioativos e o método da contagem total.

Em cada medição, injetaram-se 50 m Ci de  $^{131}\text{I}$ , aproximadamente, ao longo de uma secção transversal do rio, com auxílio de um pequeno barco com motor de popa e aproveitando-se a turbulência produzida pela hélice do motor para ajudar a mistura do traçador na água.

Efetuuou-se a detecção a 300 m, aproximadamente, do ponto de injeção, medindo-se a passagem do traçador com dois detectores localizados em pontos diferentes da secção.

A profundidade do rio, no ponto de medição foi bem superior a 1 metro, permitindo



realizar a detecção com geometria infinita. Os resultados obtidos constam da tabela V.

Mediu-se, simultaneamente, o nível da água do rio, no ponto de detecção. Como não existe régua limimétrica instalada no local, tomou-se um nível arbitrário como valor de referência, efetuando sempre medidas relativas a esse nível.

**Tabela V**

Valores de Vazão do Rio Juqueri

DATA	VAZÃO (m <sup>3</sup> /s)			NÍVEL DO RIO
	DETECTOR 1	DETECTOR 2	MÉDIA	
22/7/74	5,20		5,20	H <sub>0</sub> + 5 cm
23/7/74	5,62		5,62	H <sub>0</sub> + 8 cm
24/7/74	5,78	5,40	5,59	H <sub>0</sub> + 8 cm
26/7/74	5,17	5,11	5,14	H <sub>0</sub> + 5 cm
29/7/74	4,85	5,05	4,95	H <sub>0</sub> + 2 cm
07/7/74	4,40	4,31	4,35	H <sub>0</sub> + 2 cm

#### Apêndice

##### Cálculo do Tempo de Trânsito Corrigido para Condições Estacionárias

A atividade total do traçador que passa por uma secção de controle pode ser representada por:

$$A = \int_0^{\infty} Q_t C_t dt \quad (4)$$

A = atividade total do traçador

Q<sub>t</sub> = vazão do rio no instante t<sub>i</sub>

C<sub>t</sub> = concentração do traçador no tempo t<sub>i</sub>.

Quando a vazão permanece constante durante a passagem do traçador pelas secções de medição pode-se escrever:

$$A = Q \int_0^{\infty} C_t dt \quad (5)$$

ou

$$A = Q \Delta t \sum_{i=0}^{\infty} C_i \quad (6)$$

Utilizando-se as curvas de passagem do traçador pelas secções de controle números 1, 2 e 3, verificou-se a validade da equação (6) para o sistema em estudo

Obtiveram-se os seguintes valores de atividade:

- Ponto número 1: 5,5 Ci
- Ponto número 2: 6,5 Ci
- Ponto número 3: 6,6 Ci

Esses valores diferem em menos de 10% do valor da atividade injetada (6,0 Ci).

Considerando-se que essa mesma quantidade de traçador deverá passar pelo ponto 4, é possível calcular qual deveria ser o valor de  $\int_0^{\infty} C_i dt$  se a vazão tivesse permanecido constante em  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Comparado esse valor com o obtido na prática obteve-se uma diferença de  $8,1 \frac{\mu\text{Ci}}{\text{m}^3} \cdot \text{dia}$

Como a estação elevatória "Edgard de Souza" começou a operar depois da função  $C_i = f(t)$  ter atingido seu ponto máximo, a variação da concentração em função do tempo pode ser representada por uma exponencial:

$$C_i = a e^{-bt}; \quad (7)$$

Com os dados disponíveis, calcularam-se os coeficientes a e b; sendo os valores obtidos:

$$a = 3,97$$

$$b = 0,093$$

e desenhou-se a curva representativa das condições estacionárias (figura 5).

O tempo de trânsito calculado para essas condições foi de 18,7 dias.

Também foi possível calcular a vazão média efetiva no ponto número 4, necessária para produzir a diminuição da concentração observada no local.

$$A = Q_1 \int_{t_0}^{t_1} C_i dt + Q_2 \int_{t_1}^{\infty} C_i dt \quad (8)$$

- A = atividade total injetada;
- $t_1$  = instante de abertura das comportas;
- $Q_1$  = vazão média até a abertura das comportas;
- $Q_2$  = vazão média após a abertura das comportas.
- $C_i$  = concentração do traçador no tempo  $t_i$ .

O valor obtido para  $Q_1$  resultou de  $17,7 \text{ m}^3/\text{s}$ , em comparação com o valor de  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ , anterior à abertura das comportas.

## ABSTRACT

The time of travel of the Juqueri River water through the east branch of the Pirapora Reservoir was measured using radioactive tracers (6 Ci  $^{131}\text{I}$  in KI Solution). The changes in Juqueri River flow rate were also measured during the run.

The center of mass of the radioactive cloud was used for the time of travel calculations.

Six measurements of the Juqueri River flow rate were performed in different days, using the total count method. Fifty millicuries of  $^{131}\text{I}$  were used in each run.

The results of time of travel obtained under non-steady conditions, and their correction for steady state are also discussed.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DUARTE, U. *Métodos de determinação de vazão com o emprego de traçadores radioativos*. São Paulo, Instituto de Geociências, USP, 1973. (Dissertação de mestrado).
2. GARCIA AGUDO, E. et alii. *Estudos para o sistema de disposição oceânica de esgotos de Santos e São Vicente. relatório parcial nº 3 - Medição de vazão do esgoto*. São Paulo, Instituto de Energia Atômica, Dez. 1973. (IEA-319).
3. HULL, D. E. Dispersion and persistence of tracer in river flow measurements. *Int. J. appl. Radiat. Isotopes*, New York, 13: 63-73, 1962.
4. — The total count technique: a new principle in flow measurements. *Int. J. appl. Radiat. Isotopes*, New York, 4: 1-15, 1958.
5. PLATA BEDMAR, A. *Isótopos en hidrologia*. Madrid, Ed. Alhambra, 1972. 372p. (ZAIROS, 8 Sécción II. Control y aprovechamiento de las águas, 4).