

BR#ELUF5



**ESTUDOS DE DIFUSÃO TURBULENTA NA COSTA DO GUARUJÁ,
SÃO PAULO, POR MEIO DE TÉCNICAS RADIOISOTÓPICAS**

**Edmundo Garcia Agudo, Wladimir Sanchez, J. Leomax dos Santos,
Augusto Merighi Jr. e Antonio Martins de Albuquerque**

**PUBLICAÇÃO IEA 452
CARREI 23**

DEZEMBRO/1976

**ESTUDOS DE DIFUSÃO TURBULENTA NA COSTA DO GUARUJÁ,
SÃO PAULO, POR MEIO DE TÉCNICAS RADIOISOTÓPICAS**

**Edmundo Garcia Agudo, Wladimir Sanchez, J. Leomax dos Santos,
Augusto Merighi Jr e Antonio Martins de Albuquerque**

**COORDENADORIA DE APLICAÇÕES DE RADIOISÓTOPOS E RADIAÇÕES NA
ENGENHARIA E NA INDÚSTRIA
(CARREI)**

**INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA
SÃO PAULO – BRASIL**

APROVADO PARA PUBLICAÇÃO EM MAIO/1976

CONSELHO DELIBERATIVO

Dr. Klaus Reinach – Presidente
Dr. Roberto D'Utra Vaz
Eng^o Hélcio Modesto da Costa
Eng^o Ivano Humbert Marchesi
Prof. Admar Cervellini

SUPERINTENDENTE

Prof. Dr. Rômulo Ribeiro Pieroni

INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA
Caixa Postal 11.049 (Pinheiros)
Cidade Universitária "Armando de Salles Oliveira"
SÃO PAULO – BRASIL

NOTA: Este trabalho foi conferido pelo autor depois de composto e sua redação está conforme o original, sem qualquer correção ou mudança.

ESTUDOS DE DIFUSÃO TURBULENTO NA COSTA DO GUARUJÁ, SÃO PAULO, POR MEIO DE TÉCNICAS RADIOISOTÓPICAS

Edmundo Garcia Agudo*, Wladimir Sanchez*, J. Leomax dos Santos*,
Augusto Merighi Jr.* e Antonio Martins de Albuquerque*

RESUMO

Analisaram-se os resultados obtidos nas investigações oceanográficas para o estudo do lançamento submarino de esgotos na cidade de Guarujá, SP., por meio de técnicas radioisotópicas. Determinaram-se as leis que regem os fenômenos de diluição física e turbulenta de uma solução radioativa (^{82}Br) injetada como fonte puntiforme e instantânea, levando em conta as diferentes condições oceanográficas. A análise dos dados experimentais baseou-se na teoria de difusão proposta por OKUBO. Em cada experiência comprovou-se que o tamanho da "nuvem" radioativa, representado pela sua variância σ_{rc} , é função das condições oceanográficas existentes na área de estudo.

I – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Efetuaram-se estudos de difusão turbulenta ao longo da costa do Guarujá, SP., baseando-se na teoria de OKUBO⁽⁴⁾, discutida pormenorizadamente na publicação IEA. 301, referente às investigações oceanográficas para o estudo do lançamento submarino de esgotos das cidades de Santos e São Vicente.

Em cada campanha, utilizou-se a atividade de 1,0 Ci de ^{82}Br , aproximadamente, irradiado na forma de NH_4Br e dissolvido em solução de tiosulfato de sódio a 10%, perfazendo o volume de um litro. Transportou-se esse volume primário até o porto de Santos transferindo-o para um injetor montado na pôpa do Barco "Emília", completando-se com água doce até atingir 5 litros. Para facilitar a localização visual da nuvem do traçador e orientar seu cruzamento pelo barco, nos primeiros momentos do ensaio, introduziu-se no injetor certa quantidade de corante (fluoresceína ou rodamina), suficiente para produzir uma solução saturada. Mostra-se, na figura 1, a operação de lançamento da solução radioativa em um dos locais estudados.

O lançamento das soluções radioativa-corante aproxima-se tanto quanto possível de uma fonte puntiforme injetada instantaneamente. O corante permite estimar as dimensões iniciais da mancha no instante de lançamento e a direção da trajetória. Decorridos 60 minutos, aproximadamente, do instante de lançamento iniciava-se o cruzamento da nuvem radioativa.

O barco utilizado nas campanhas tem as seguintes características:

dimensões: – comprimento: 15,40 m;

boca: 3,52 m;

pontal: 1,65 m;

contorno: 5,53 m;

velocidade: – máxima: 12 nós;

econômica: 8 nós.

(*) Atualmente membros da Superintendência de Tecnologia de CETESB.

A distribuição horizontal das soluções radioativa-corante é normalmente assimétrica, sendo maior no sentido da corrente. Assim, consideram-se duas variâncias, σ_x^2 e σ_y^2 , para representar com mais realidade o fenômeno de difusão. Por facilidade de cálculo e por ser um procedimento normalmente utilizado transformam-se as manchas assimétricas em manchas equivalentes, com distribuição de concentração radialmente simétrica^(2,3).

Verifica-se, na prática que a distribuição radial é melhor representada pela equação,

$$C(t, r_e) = C(t, 0) e^{-\left(\frac{r_e}{\sigma_{rc}(t)}\right)^m} \quad (1)$$

$$\sigma_r^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2$$

$\sigma_{rc}(t)$ – variância da distribuição radialmente simétrica;

r_e – raio equivalente da distribuição radialmente simétrica;

m – expoente real e positivo;

$C(t, 0)$ – concentração máxima de traçador no centro da distribuição inicial;

$C(t, r_e)$ – concentração de traçador, no tempo da distribuição de raio equivalente r_e .

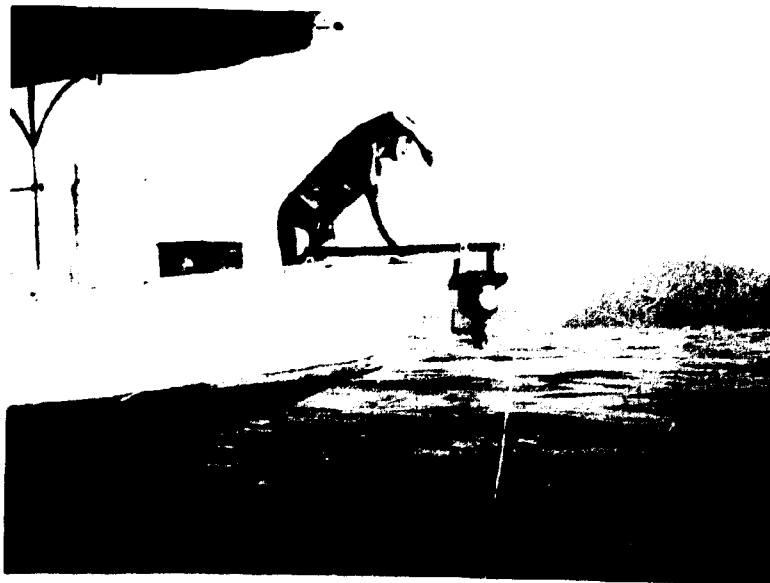


Figura 1 – Lançamento da Solução Radioativa

II – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

No decorrer do ano de 1973 efetuaram-se 13 campanhas de investigações oceanográficas com a finalidade de determinar os coeficientes de difusão turbulenta ao longo da costa do Guarujá. Os resultados de duas delas não foram aproveitáveis e por isso não estão incluídos neste relatório. Representam-se, na figura 2, as áreas de estudo, caracterizadas pelas regiões das ilhas das Cabras e da Moela.

O tempo de lançamento das soluções radioativa-corante em cada campanha, foi da ordem de 30 segundos. Gericamente, a mancha inicial tinha a forma elíptica, com tamanhos variáveis, dependendo das condições de vento e de corrente predominantes no local. No instante do lançamento colocava-se um corpo a deriva no centro da mancha de corante para servir de indicador visual na localização da área onde se deslocava a mancha radioativa.

Determinaram-se as concentrações radioativas por meio de um detector de cintilação, com cristal de NaI(Tl), de 1,0" ϕ x 1,0" H, posicionado na borda de boreste do barco, a um (1) metro de profundidade.

Decorridos 60 minutos, aproximadamente, do lançamento das soluções radioativa-corante, iniciavam-se os cruzamentos da nuvem.

Ocorria, muitas vezes que a diluição da solução de corante no mar era muito grande, impedindo a localização visual da área onde se encontrava a nuvem radioativa para o primeiro cruzamento. Nessas ocasiões tomava-se por referência a posição do corpo a deriva, para início das trajetórias.

As medições feitas mostraram que o corpo à deriva sofre influência da ação do vento durante seu deslocamento no meio da massa líquida. Ele foi usado no sentido de facilitar a localização visual do deslocamento da mancha radioativa. Em todos os cruzamentos o barco aproximava-se da mancha em direção oposta ao deslocamento da corrente, cruzando-a no sentido do "núcleo" para o da "cauda". As trajetórias descritas pelo barco eram aproximadamente perpendiculares à linha de direção da corrente.

Determinavam-se por meio de dois sextantes os pontos inicial e final correspondentes a cada trajetória, tomando-se por referência as pirâmides de uma rede de triangulação especialmente estabelecida na costa. Mantinha-se constante a direção do barco durante as trajetórias.

Por meio de um estaciógrafo foram desenhados em um mapa do litoral do Guarujá os pontos correspondentes das máximas atividades de cada configuração da nuvem radioativa.

III – ANÁLISE DE DADOS

Para o processamento dos dados utilizou-se uma calculadora HP 9810-A. O programa utilizado encontra-se descrito na publicação IEA-349.

III.1 – Formulação Matemática

A partir das curvas de isoatividade, desenhadas nas figuras de números 3 a 13, transforma-se cada nuvem radioativa em outra equivalente, radialmente simétrica. Determina-se por planimetria a área total interna de cada curva de isoatividade e calcula-se o raio correspondente a uma mancha circular de igual área (raio equivalente, r_e).

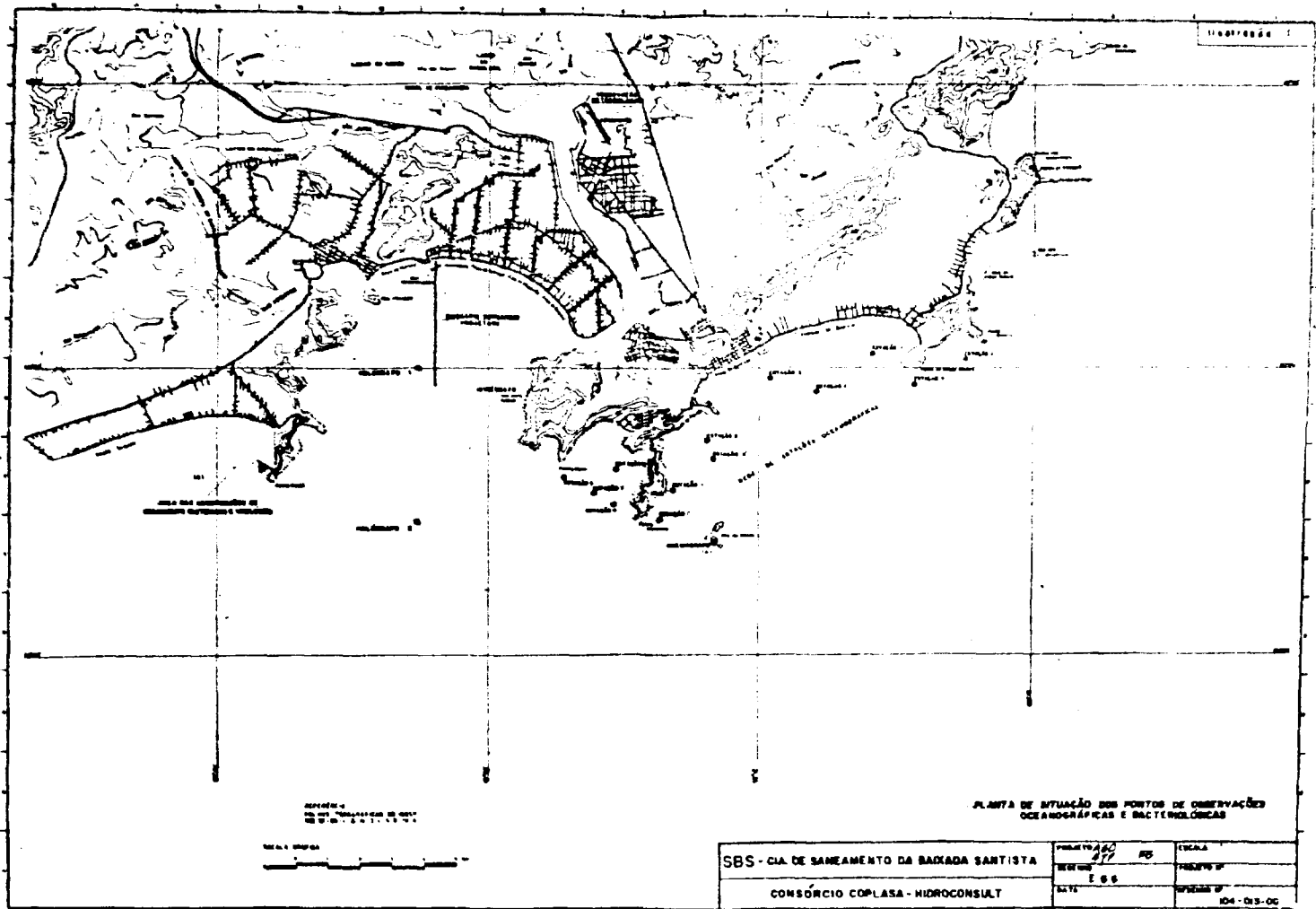


Figura 2

Levando-se em conta a equação (1) constroem-se curvas de correlação de $\log C(t, r_e) = f(r_e^2)$ que extrapoladas para $r_e = 0$ permitem determinar $C(t, 0)$. Em alguns casos a distribuição de atividades é representada por uma curva definida que permite uma extrapolação segura.

A equação (1) colocada sob a forma,

$$\log \left| \frac{\ln \frac{C(t, 0)}{C(t, r_e)}}{C(t, r_e)} \right| = m \log r_e - m \log \sigma_{rc}(t) = f(\log r_e) \quad (2)$$

permite representar graficamente a curva $\log \left| \frac{\ln \frac{C(t, 0)}{C(t, r_e)}}{C(t, r_e)} \right| = f(\log r_e)$ cujo coeficiente angular é m , sendo $m \log \sigma_{rc}(t)$ a ordenada na origem. Dai calcula-se a variância $\sigma_{rc}^2(t)$ cuja dependência com o tempo de difusão é da forma:

$$\sigma_{rc}^2(t) = a \cdot t^b \quad (3)$$

$$b > 1;$$

$$\sigma_{rc} \text{ em cm}^2;$$

$$t \text{ em segundos.}$$

Representando-se $\log(\sigma_{rc}^2) = f(t)$ e utilizando-se o método dos mínimos quadrados determinam-se os valores de a e b na equação (3).

Define-se a difusividade aparente pela equação;

$$K_a = \frac{1}{4} \cdot \frac{\sigma_{rc}^2}{t} \quad (4)$$

Correlaciona-se a escala de difusão ℓ com a difusividade aparente por meio da relação;

$$K_a = \alpha \ell^\beta \quad (5)$$

$$\text{onde } \ell = 3 \sigma_{rc} \quad (6)$$

$\log K = f(\ell)$ e ajustando-se a reta pelo método dos mínimos quadrados.

III.2 – Estudo do Comportamento das Nuvens Radioativas.

Agruparam-se as campanhas levando-se em conta as condições oceanográficas existentes nas regiões próximas às Ilhas da Moela e das Cabras.

Efetuarão-se sete (7) lançamentos de solução radioativa em locais próximos à ilha das Cabras e seis (6) lançamentos nas proximidades da Ilha da Moela. Duas campanhas feitas na região da Ilha das Cabras não foram computadas na análise de dados por terem sido interrompidas antes do fim, em decorrência de mau tempo reinante no mar.

III.2.1 – Região próxima à ilha da Moela.

Campanha do dia: 23/02/73

Hora do lançamento: 07,49

Condições oceanográficas: vento N com velocidade de 5,0 m/s; tempo bom, céu claro, mar calmo

Forma inicial da mancha: circular, 2 m de diâmetro, aproximadamente.

Evolução da nuvem radioativa: O movimento superficial da primeira mancha e a ação predominante do vento norte, com velocidade de 5,0 m/s são, a nosso ver, os responsáveis por essa primeira configuração geométrica. (figura 3).

Observa-se, pela configuração número 3 que a nuvem assume a forma de um elipsóide, com alongação predominante na direção da corrente, depois de transcorridas 7,30 horas, aproximadamente, do lançamento. Nessa oportunidade, o vento era calmo e sua influência na corrente superficial e na forma geométrica da nuvem pôde ser desprezada. A tendência da nuvem é deslocar-se paralelamente à costa, na direção da Ponta Grossa

Entre as configurações números 1 e 2, a nuvem possui uma alongação mais complexa, parecendo indicar um pequeno desvio da corrente ou que a ação do vento norte já não era predominante.

Campanha do dia: 10/05/73

Hora do Lançamento: 07,31

Condições oceanográficas: vento W-NW com velocidade de 2,6 m/s, tempo bom, céu claro.

Forma inicial da mancha: elipsóide com 15 metros de eixo maior por 1,5 metro de eixo menor, aproximadamente

Evolução da nuvem radioativa: Estão representadas na figura número 4, as evoluções da nuvem radioativa durante seu deslocamento e transporte por meio da massa d'água. Observa-se que a configuração geométrica número 1 indica influência do vento sobre a mancha pois a alongação coincide com a direção do vento W-NW, indicando que existe um transporte quase superficial da solução radioativa.

A partir das 9,45 horas o vento mudou sua direção para W-SW e a velocidade para 6,5 m/s. Os efeitos combinados da corrente e do vento contribuíram para a forma que a nuvem apresenta na configuração número 2

A distribuição espacial da mancha na configuração número 3, obtidas 6 horas depois do lançamento mostra que a alongação coincide com a direção da corrente e que a ação do vento W-SW, de 7,7 m/s influiu muito pouco na sua configuração geométrica.

Campanha do dia: 31/05/73

Hora do lançamento: 07,12

Condições oceanográficas: vento N-NW com velocidade de 1,9 m/s, mar calmo, céu encoberto com visibilidade moderada

Forma inicial da mancha: circular, 3,0 metros de diâmetro, aproximadamente.

Evolução da nuvem radioativa: Representam-se na figura número 5 as evoluções da nuvem radioativa. A configuração número 1 é elíptica, com alongação coincidente com a direção da corrente.

As configurações números 2, 3 e 4 indicam uma trajetória em direção a praia das Tartarugas. A partir da configuração do estágio número 2 observou-se uma mudança na direção e intensidade do vento. Ele passou para SW às 10:25 horas, com velocidade de 4,0 m/s aproximadamente, mantendo-se nestas condições até o final do cruzamento do estágio número 4, às 15:00 horas.

Campanha do dia: 03/08/74

Hora do lançamento: 07,32

Condições oceanográficas: vento sul de 3,0 m/s e corrente 0,54 nos E-NE, céu encoberto e mar relativamente calmo.

Forma inicial da mancha: circular, com diâmetro de 2,0 metros aproximadamente.

Evolução da nuvem radioativa: A configuração número 1 (figura 6) mostra que a mancha tem um sentido de deslocamento inicial W-E. Mediu-se a distribuição espacial dessa mancha depois de decorridas 2 horas de lançamento. Parece não haver influência do vento SE em seu deslocamento.

As configurações dos estágios números 2 e 3 indicam que a mancha radioativa mudou sua trajetória caminhando em direção a Ponta das Galhetas, parecendo sentir a influência do vento SE que ainda sopra com velocidade de 3,6 m/s. Essas duas configurações revelam comportamento que parece ser característico do período inicial de difusão, na presença de ventos moderados. A solução radioativa lançada superficialmente em forma puntiforme e instantânea segue inicialmente a corrente que vai sendo influenciada pela ação dos ventos locais. Parece que a posição geométrica da ilha da Moela em relação ao ponto de lançamento da solução radioativa influencia a linha de fluxo d'água, em superfície. Mediu-se a direção e intensidade dos ventos locais por meio de um anemômetro de mão.

Essa campanha mostrou que a nuvem radioativa quase não sofreu deslocamento, havendo simplesmente difusão.

Campanha do dia: 01/11/73

Hora do lançamento: 07,21

Condições oceanográficas: vento NW com velocidade de 2 m/s, corrente 1,50 nó, E-NE, mar calmo, tempo chuvoso.

Forma inicial da mancha: elíptica com eixos de 15 x 2 metros, aproximadamente.

Evolução da nuvem radioativa: A configuração referente ao estágio número 2, mostrado na figura 7 indica que a mancha caminha em direção a praia das Tartarugas, ao passo que o vento de 3,20 m/s sopra na direção N-NW. Nessa região de estabilidade vertical fraca as águas relativamente calmas e pouco profundas podem ter contribuído para o comportamento da nuvem radioativa.

III.2.2 – Região próxima à ilha das Cabras

Campanha do dia: 02/03/73

Hora do lançamento: 07,55

Condições oceanográficas: mar calmo, sem vento, céu claro.

Forma inicial da mancha: circular, com diâmetro da ordem de 2,0 metros, aproximadamente.

Evolução da nuvem radioativa: A configuração número 2 (figura 8) indica que a mancha está sofrendo mudança de trajetória parecendo girar no sentido anti-horário. Essa hipótese pode ser reafirmada observando-se a configuração geométrica número 3.

Campanha do dia: 17/05/73

Hora do lançamento: 07,41

Condições oceanográficas: vento N, com velocidade de 4,3 m/s, mar calmo e céu claro.

Forma inicial da mancha: circular de 3,0 metros de diâmetro aproximadamente.

Evolução da nuvem radioativa: A mancha radioativa desloca-se no sentido da corrente mas as configurações números 3 e 4 mostram que o vento E-SE, 5,0 m/s, aproximadamente, ainda influi na distribuição espacial. Na turbulência oceânica existem numerosas turbulências menores, com dimensões variáveis, distribuídas ao acaso, no espaço e no tempo que podem ser responsáveis pela configuração geométrica da mancha. Entretanto, a "cauda" da configuração número 5, detectada cerca de 5 horas depois do lançamento indica claramente que sua forma sofreu influência do vento. (figura 9).

Campanha do dia: 24/05/73

Hora do lançamento: 08,23

Condições oceanográficas: vento N-NW, com velocidade de 2,0 m/s, mar calmo, tempo bom e céu claro.

Forma inicial da mancha: elíptica, com eixos de 15 x 1,5 metro aproximadamente.

Evolução da nuvem radioativa: No início do primeiro cruzamento da mancha (19,25 horas) determinou-se a direção e velocidade do vento, como sendo W e 1,80 m/s, respectivamente.

No início do segundo cruzamento da mancha (11,42 horas) verificou-se nova mudança na direção e na velocidade do vento que passaram a ser S-SW e 1,2 m/s respectivamente.

Iniciou-se o terceiro cruzamento às 13,10 horas, com novas condições de vento que passaram a ser direção SE e velocidade de 2,7 m/s.

A variação da direção e da velocidade do vento influencia na configuração geométrica superficial da mancha, mas sua trajetória manteve-se na direção média de deslocamento da corrente. (figura 10)

Campanha do dia: 27/07/73

Hora do lançamento: 07,35

Condições oceanográficas: vento W, com velocidade de 1,75 m/s, mar calmo, tempo bom, céu claro.

Forma inicial da mancha: circular, com 2,0 metros de diâmetro, aproximadamente.

Evolução da nuvem radioativa: A configuração número 1, (figura 11) mostra que a mancha deslocando-se superficialmente sofre influência acentuada do vento, durante as primeiras horas de difusão. Neste mesmo local, a corrente na profundidade de 1,0 metro tinha direção W e velocidade de 0,52 nó.

A configuração número 3, obtida 5 horas após o lançamento mostra que o vento SW de 5,20 m/s ainda atua sobre a mancha produzindo uma mudança na direção de propagação.

Campanha do dia: 10/08/73

Hora do lançamento: 07,55

Condições oceanográficas: vento SW, com velocidade de 2,3 m/s, mar calmo, céu claro.

Forma inicial da mancha: circular de 2,0 metros de diâmetro, aproximadamente

Evolução da nuvem radioativa: Sob influência da corrente a mancha caminhou rapidamente em direção à praia das Tartarugas. A configuração número 2, (figura 12) obtida 3,5 horas após o lançamento mostra que a mancha já havia atingido região pouco profunda junto à praia e, portanto, sujeita às condições de relevo do fundo que influem acentuadamente no fenômeno de difusão.

Campanha do dia: 13/09/73

Hora do lançamento: 07,51

Condições oceanográficas: vento W, com velocidade de 2,55 m/s, céu encoberto, forte neblina e mar calmo

Forma inicial da mancha: elíptica com 15 x 1 metro, aproximadamente

Evolução da nuvem radioativa: A configuração número 1 (figura 13) mostra que a mancha caminha na direção do vento W sofrendo alongação no mesmo sentido

Às 10,25 horas, quando se iniciou o segundo cruzamento da mancha, o vento havia se alterado para N-NW, com velocidade de 3,50 m/s, porém a corrente tinha direção N-NE

III.3 – Diluição por Misturação Oceânica

A diluição física de um campo de esgoto, por misturação oceânica, pode ser simulada a partir do lançamento puntiforme e instantâneo de uma solução radioativa⁽¹⁾

Nessa técnica consideram-se:

- 1) o lançamento instantâneo e puntiforme da solução radioativa como representativo de uma fração do lançamento contínuo de esgoto;
- 2) as condições oceanográficas estacionárias, para permitir que as diferentes frações do lançamento contínuo de esgoto tenham um destino idêntico, nas águas receptoras;
- 3) que a posição e extensão de cada fração do lançamento contínuo podem ser conhecidas desde que seja medido o destino de uma fração, por longo período

As figuras 14 a 24 mostram os fatores de diluição correspondentes às campanhas, com lançamentos efetuados junto a ilha da Moela e ilha das Cabras. Calcularam-se os fatores de diluição em uma posição qualquer do corpo d'água receptor por meio da equação⁽⁷⁾,

$$FD = \frac{C_o}{C} = \frac{v}{Q} \frac{A}{\int_{-\infty}^{+\infty} c \, dx} \quad (7)$$

FD – fator de diluição;

C_o – concentração inicial de um poluente específico lançado continuamente no corpo d'água receptor (p. ex. coliformes/ml);

C – concentração do poluente em um ponto qualquer do corpo da água receptor (p. ex. coliformes/ml);

v – velocidade de convecção (m/s);

A – atividade do traçador lançado instantaneamente (μCi);

Q – vazão de poluente lançado no corpo d'água receptor (m^3/s);

c – concentração do traçador radioativo ($\mu\text{Ci}/\text{m}^3$);

x – coordenada na direção do transporte (m).

III.4 – Leis de Difusão

Em consequência dos lançamentos na região próxima à ilha da Moela calculou-se a relação entre a variância σ_{rc}^2 e o tempo de difusão. Ajustando-se a curva pelo método dos mínimos quadrados obteve-se:

$$\sigma_{rc}^2 = 0,052 t^{2,36} \quad (\text{figura 25})$$

Nos lançamentos efetuados próximo à ilha das Cabras obteve-se a lei:

$$\sigma_{rc}^2 = 0,011 t^{2,39} \quad (\text{figura 26})$$

Observa-se que os dois expoentes de t são superiores à unidade, comprovando que a lei de Fick não é adequada para explicar o fenômeno de difusão turbulenta no mar, junto à costa do Guarujá.

Os coeficientes de difusividade aparente K_g , para os dois locais de lançamento e seu correlacionamento com a escala de difusão são:

$$\text{Região da ilha da Moela: } K_g = 0,0041 \ell^{1,29} \quad (\text{figura 27})$$

$$\text{Região da ilha das Cabras: } K_g = 0,0033 \ell^{1,28} \quad (\text{figura 28})$$

Sendo o expoente de ℓ inferior a 4/3, não se verifica a comprovação dessa lei de difusão oceânica na região litorânea próxima do Guarujá.

Considerando-se como um todo os dados das onze campanhas aproveitáveis efetuadas ao longo da costa do Guarujá (região próxima à ilha da Moela e região próxima à ilha das Cabras) obtiveram-se as leis:

$$\sigma_{rc}^2 = 0,123 t^{2,17} \quad (\text{figura 29})$$

$$K_g = 0,0018 \ell^{1,35} \quad (\text{figura 30})$$

A figura 29 que representa a dependência de σ_{rc}^2 com o tempo de difusão mostra uma dispersão acentuada dos pontos que definem a reta, com baixo coeficiente de correlação ($r^2 = 0,756$).

Nas tabelas I e II encontram-se os parâmetros de difusão, calculados para a região da ilha da Moela e região da ilha das Cabras, respectivamente, baseados na teoria de OKUBO.

V – CONCLUSÕES

No decorrer de um ano de campanha, em diferentes condições oceanográficas, avaliaram-se os níveis de turbulência associados ao processo de mistura oceânica, junto à Costa do Guarujá. Verificações:

a) a lei de variação de σ_{rc}^2 , em função do tempo de difusão, indica que as manchas que se deslocam na região próxima à ilha das Cabras apresentam níveis de turbulência comparáveis aos que se obtêm em mar aberto. A lei de variação do coeficiente de difusividade lateral aparente é semelhante a que apresenta OKUBO. O expoente β é inferior a 4/3 e o coeficiente α é cerca de 25% superior ao obtido por OKUBO.

Sendo o coeficiente de proporcionalidade superior ao valor apresentado por OKUBO, pode admitir-se que a difusão inicial da mancha é superior à esperada, talvez em conseqüência da ação acentuada do vento quando o traçador radioativo ainda se encontra quase na superfície da água. As observações feitas, tomando por base as configurações geométricas das manchas, mostram que tempos inferiores a 1,5 hora, depois do lançamento, não devem ser bem adequados para evidenciar o comportamento real da difusão turbulenta.

b) na região próxima à ilha da Moela obteve-se um coeficiente de difusividade lateral aparente semelhante ao da região próxima à ilha das Cabras. O coeficiente α é 50%, aproximadamente, superior ao valor que OKUBO obteve, caracterizando uma difusão inicial diferente.

ABSTRACT

The objective of this work was to determine the laws that govern the dilution and turbulent diffusion phenomena by means of the behavior of a radioactive solution (^{82}Br) instantaneously injected as a point source, in the littoral of Guarujá city, SP., under different oceanographic conditions. The analysis of the data was based on the diffusion theory proposed by OKUBO. It was confirmed in all experiments, that the size of the radioactive "cloud", indicated by its variance σ_{rc}^2 , is a function of the local oceanographic conditions.

Tabela I

Lançamento de Solução Radioativa nas
proximidades da ilha de Moela

Campanha	Mancha nº	t(seg)	σ_{rc}^2 (cm ²)	σ_{rc} (cm)	K_d (cm ² /seg)	l (cm)
23.02.73	I	6420	$2,4 \times 10^7$	$4,9 \times 10^3$	934	$1,5 \times 10^4$
	II	12720	$4,3 \times 10^8$	$2,1 \times 10^4$	8451	$6,2 \times 10^4$
	III	23220	$1,6 \times 10^9$	$4,0 \times 10^4$	17226	$1,2 \times 10^5$
10.05.73	*I	6000	$7,2 \times 10^6$	$2,7 \times 10^3$	300	$8,0 \times 10^3$
	II	9060	$4,7 \times 10^7$	$6,9 \times 10^3$	1296	$2,1 \times 10^4$
	III	20460	$4,4 \times 10^8$	$2,1 \times 10^4$	5376	$6,3 \times 10^4$
31.05.73	I	4950	$1,6 \times 10^7$	$4,0 \times 10^3$	858	$1,2 \times 10^4$
	II	13980	$3,0 \times 10^8$	$1,7 \times 10^4$	5364	$5,2 \times 10^4$
	*III	21700	$2,5 \times 10^8$	$1,6 \times 10^4$	2900	$4,8 \times 10^4$
	*IV	26220	$2,6 \times 10^8$	$1,6 \times 10^4$	2500	$4,8 \times 10^4$
03.08.73	I	7815	$4,3 \times 10^7$	$6,5 \times 10^3$	1375	$2,0 \times 10^4$
	II	13620	$6,9 \times 10^7$	$8,3 \times 10^3$	1266	$2,5 \times 10^4$
	III	19450	$2,9 \times 10^8$	$5,4 \times 10^4$	3727	$5,1 \times 10^4$
01.11.73	I	4380	$3,4 \times 10^7$	$5,8 \times 10^3$	1940	$1,7 \times 10^4$
	*II	6420	$2,0 \times 10^8$	$1,4 \times 10^4$	7800	$4,2 \times 10^4$
	*III	11100	$5,4 \times 10^7$	$7,3 \times 10^3$	1216	$2,2 \times 10^4$

* Não computada para difusão.

Tabela II

Lançamento de Solução Radioativa na Região
Próxima a ilha das Cabras

Campanha	Mancha nº	t(seg)	σ_{rc}^2 (cm ²)	σ_{rc} (cm)	K_a (cm ² /seg)	l (cm)
02.03.73	I	5040	$1,2 \times 10^7$	$3,5 \times 10^3$	595	$1,03 \times 10^4$
	II	10950	$2,6 \times 10^7$	$5,1 \times 10^3$	594	$1,5 \times 10^4$
	III	17940	$2,9 \times 10^8$	$1,7 \times 10^4$	4041	$5,1 \times 10^4$
	IV	26280	$1,02 \times 10^9$	$3,2 \times 10^4$	9703	$9,6 \times 10^4$
17.05.73	I	6960	$2,6 \times 10^7$	$5,1 \times 10^3$	930	$1,5 \times 10^4$
	II	12030	$4,3 \times 10^7$	$6,5 \times 10^3$	893	$2,0 \times 10^4$
	III	22200	$2,2 \times 10^8$	$1,5 \times 10^4$	2477	$4,4 \times 10^4$
	IV	26700	$5,6 \times 10^8$	$2,4 \times 10^4$	5243	$7,1 \times 10^4$
27.07.73	I	5880	$1,5 \times 10^7$	$3,8 \times 10^3$	637	$1,2 \times 10^4$
	II	12000	$3,0 \times 10^7$	$5,4 \times 10^3$	625	$1,6 \times 10^4$
	III	20280	$7,2 \times 10^7$	$8,5 \times 10^3$	887	$2,5 \times 10^4$
10.08.73	I	6540	$1,1 \times 10^7$	$3,3 \times 10^3$	416	$9,9 \times 10^3$
	II	12600	$9,1 \times 10^7$	$9,6 \times 10^3$	1805	$2,9 \times 10^4$
13.09.73	I	7020	$1,4 \times 10^7$	$3,8 \times 10^3$	498	$1,1 \times 10^4$
	II	13260	$9,3 \times 10^7$	$9,6 \times 10^3$	1753	$2,9 \times 10^4$
	III	19860	$1,4 \times 10^8$	$1,2 \times 10^4$	1762	$3,5 \times 10^4$
	IV	24420	$4,1 \times 10^8$	$2,0 \times 10^4$	4197	$6,1 \times 10^4$

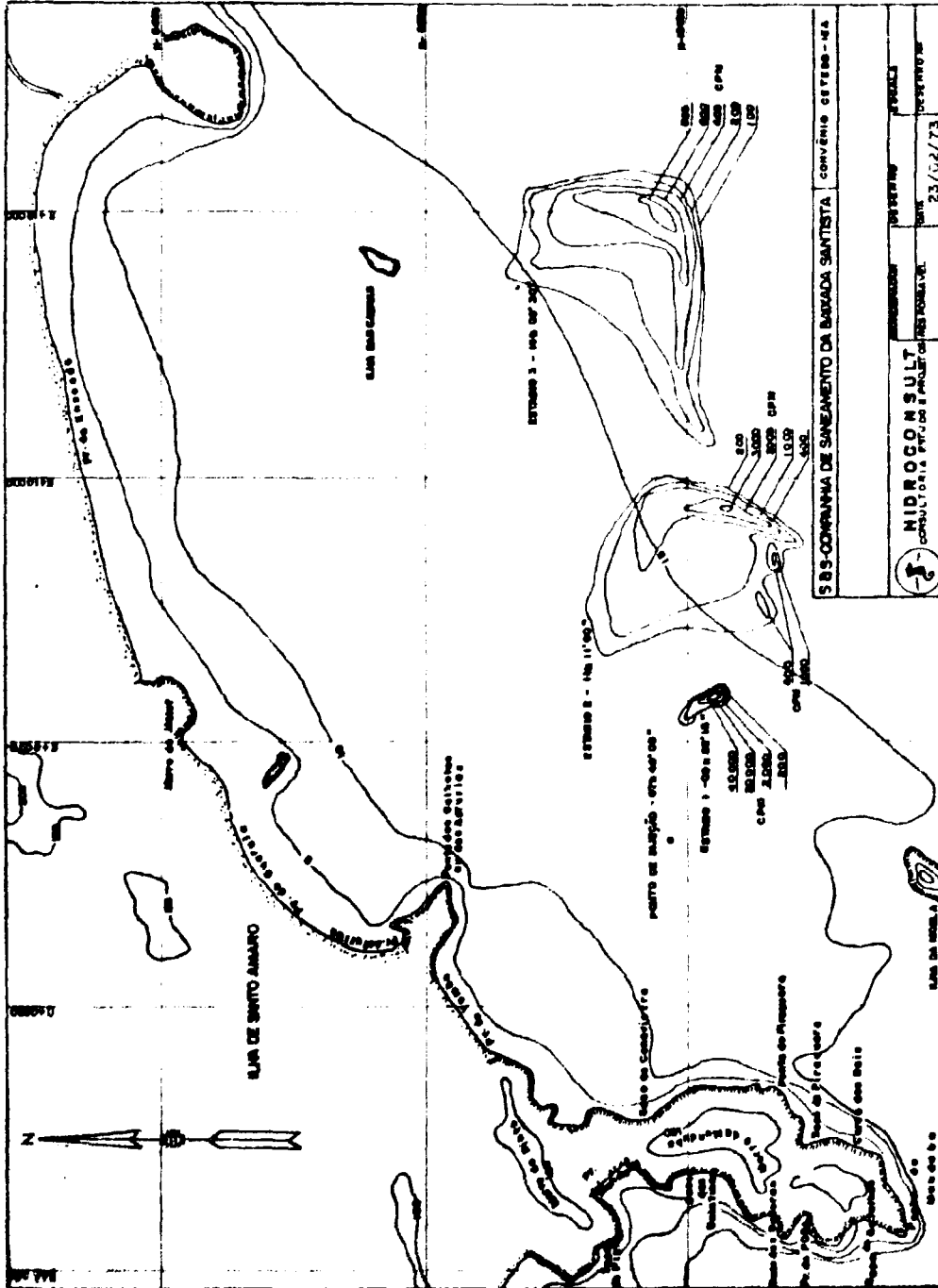


Figura 3

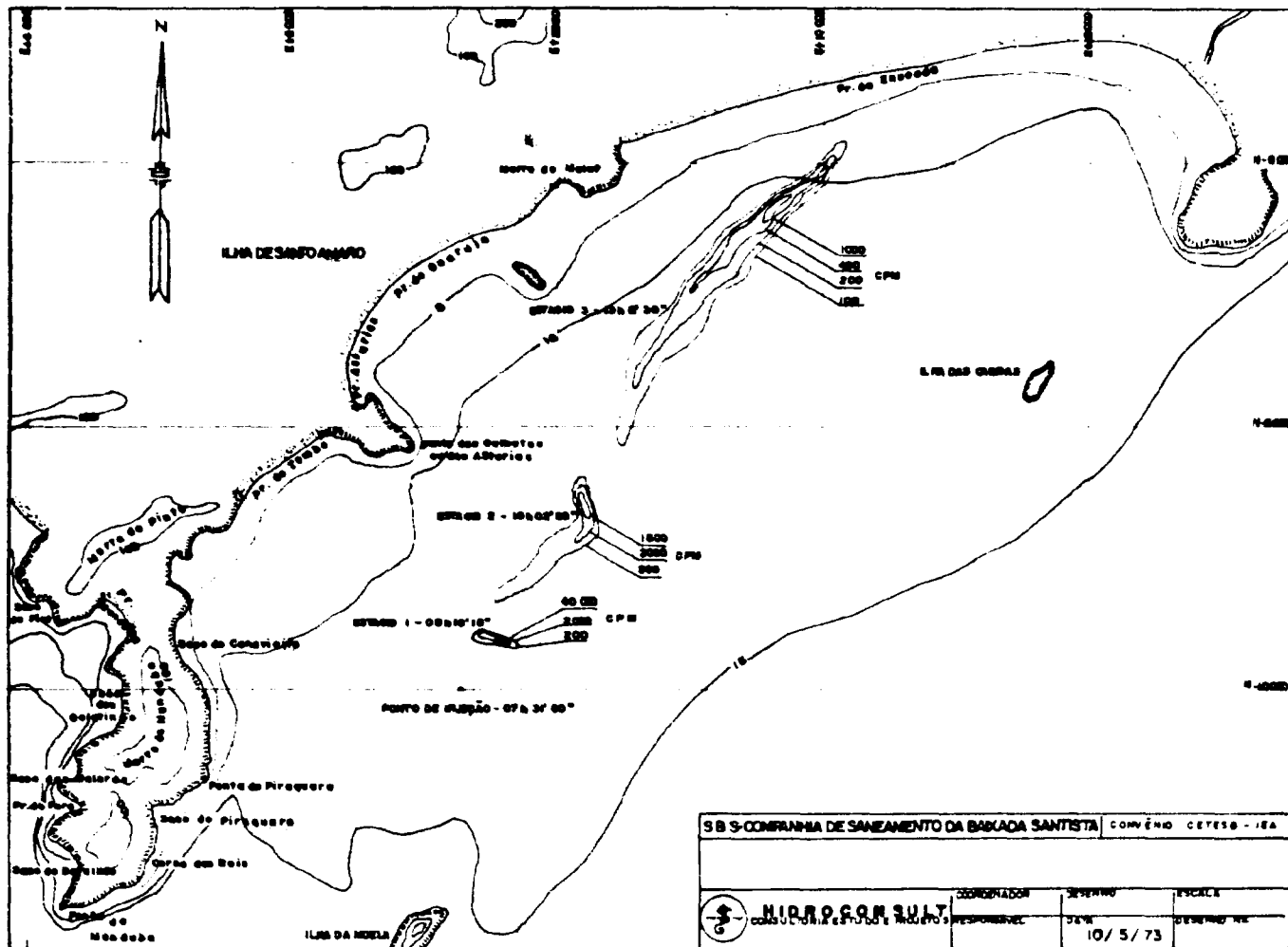


Figura 4

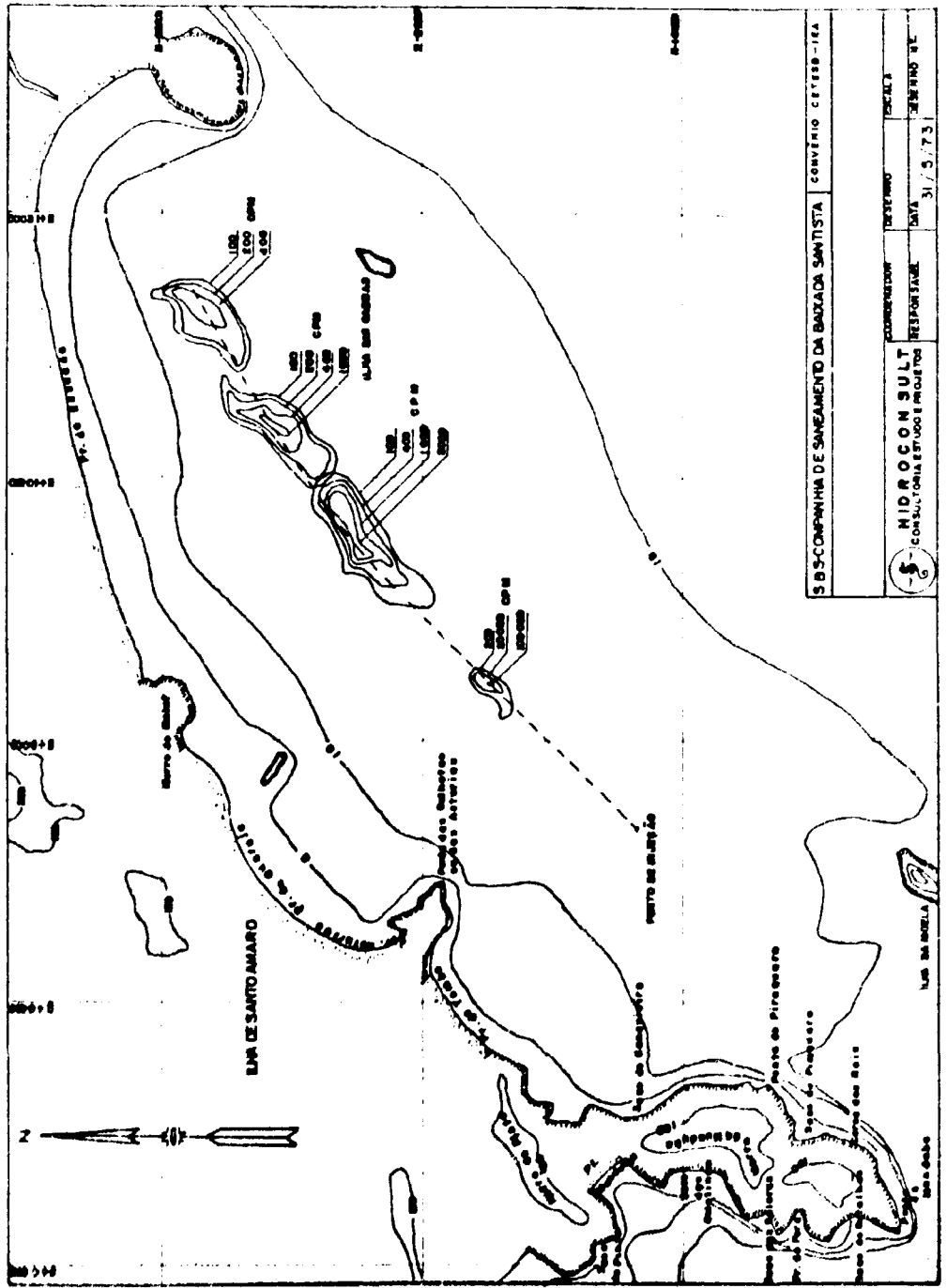


Figura 5

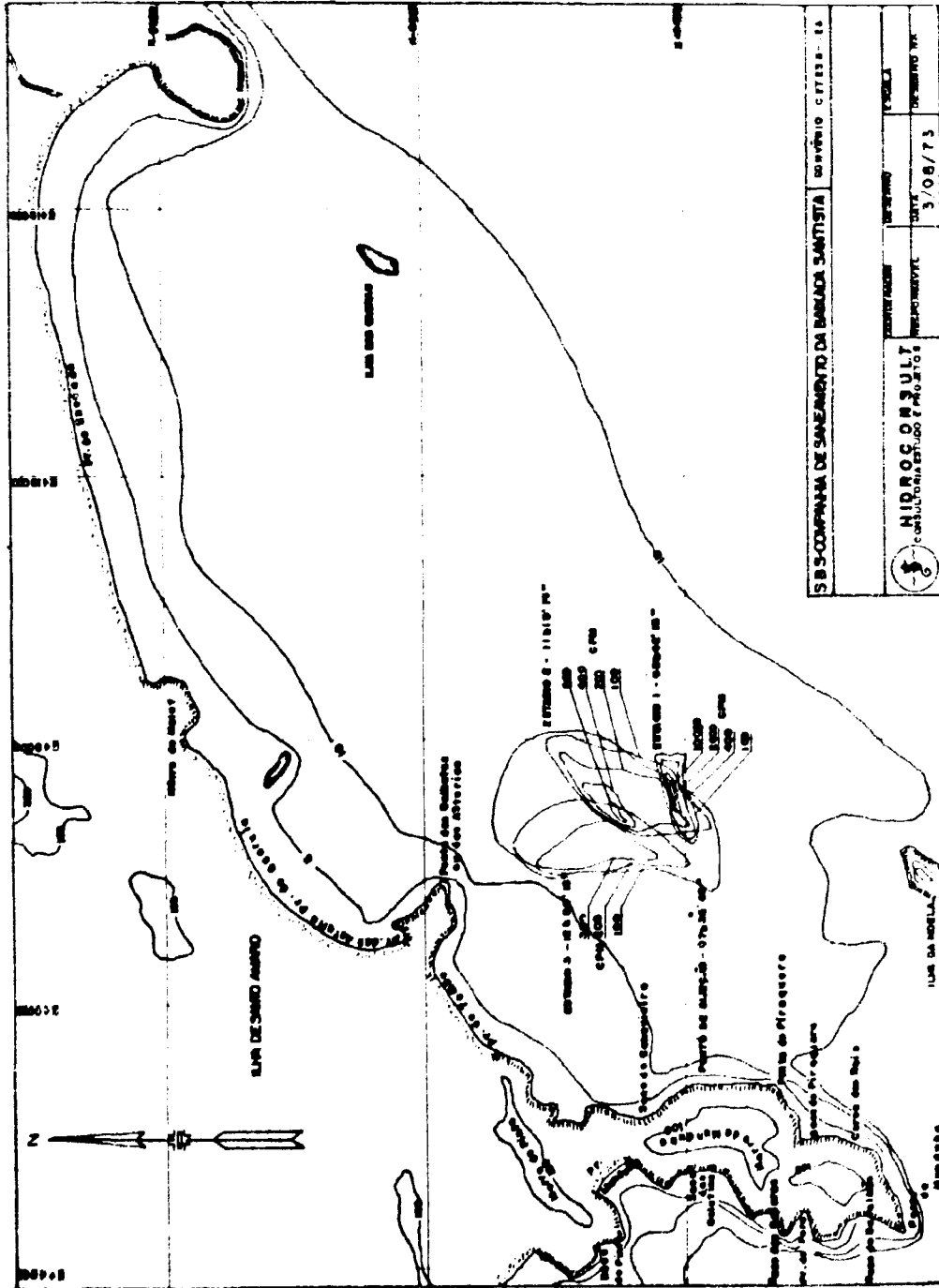


Figura 6

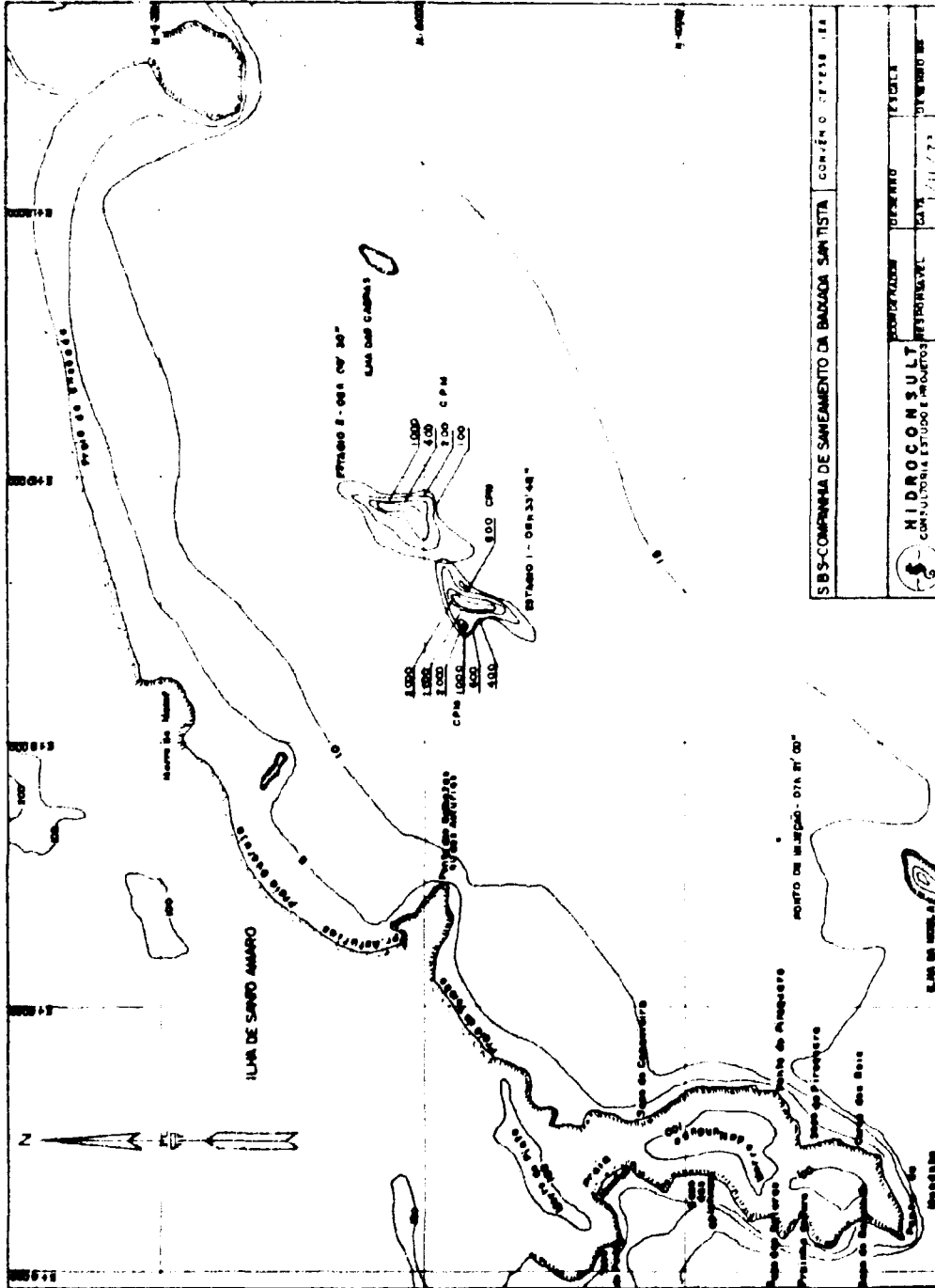


Figura 7

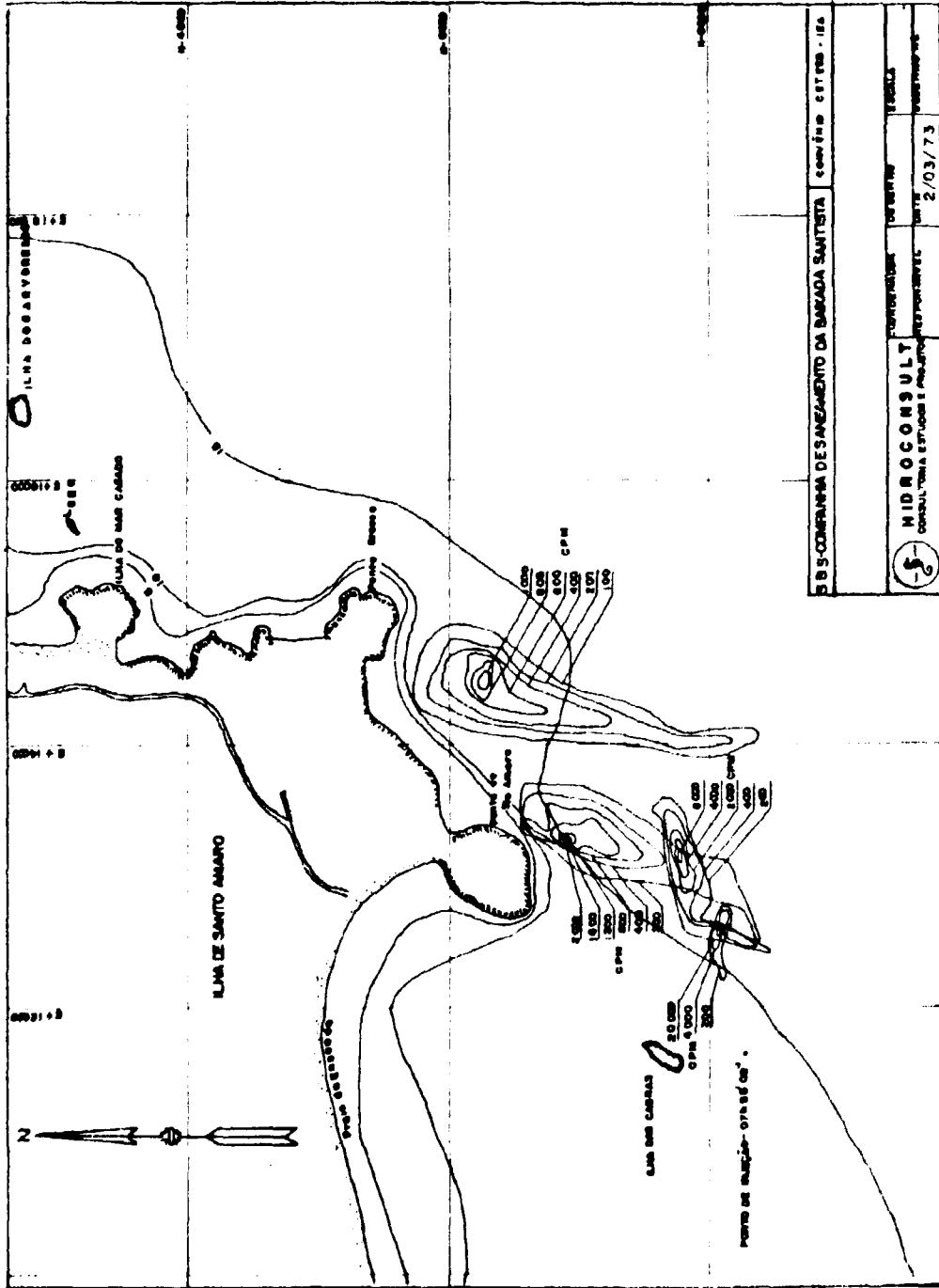


Figura 8

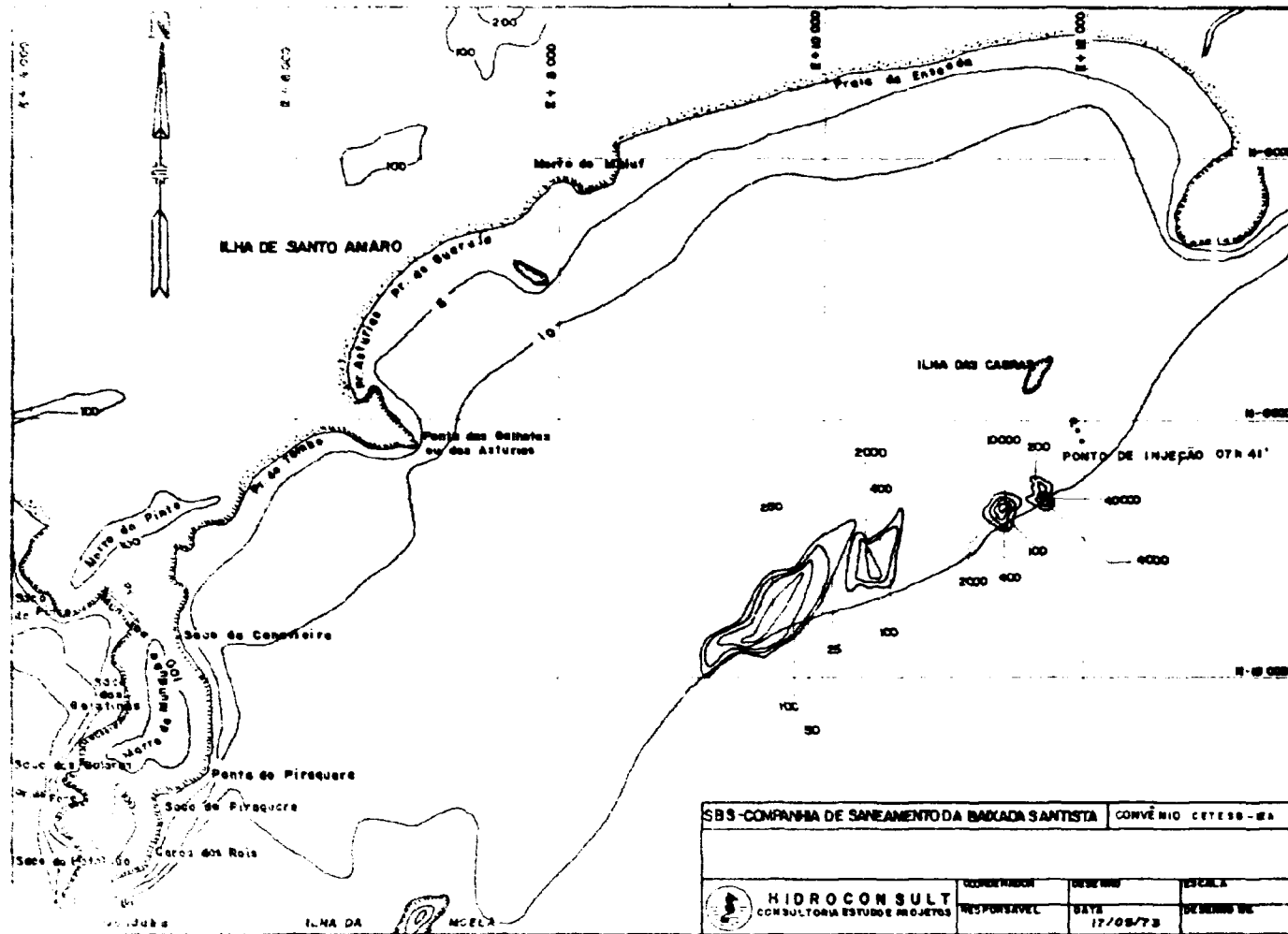


Figura 9

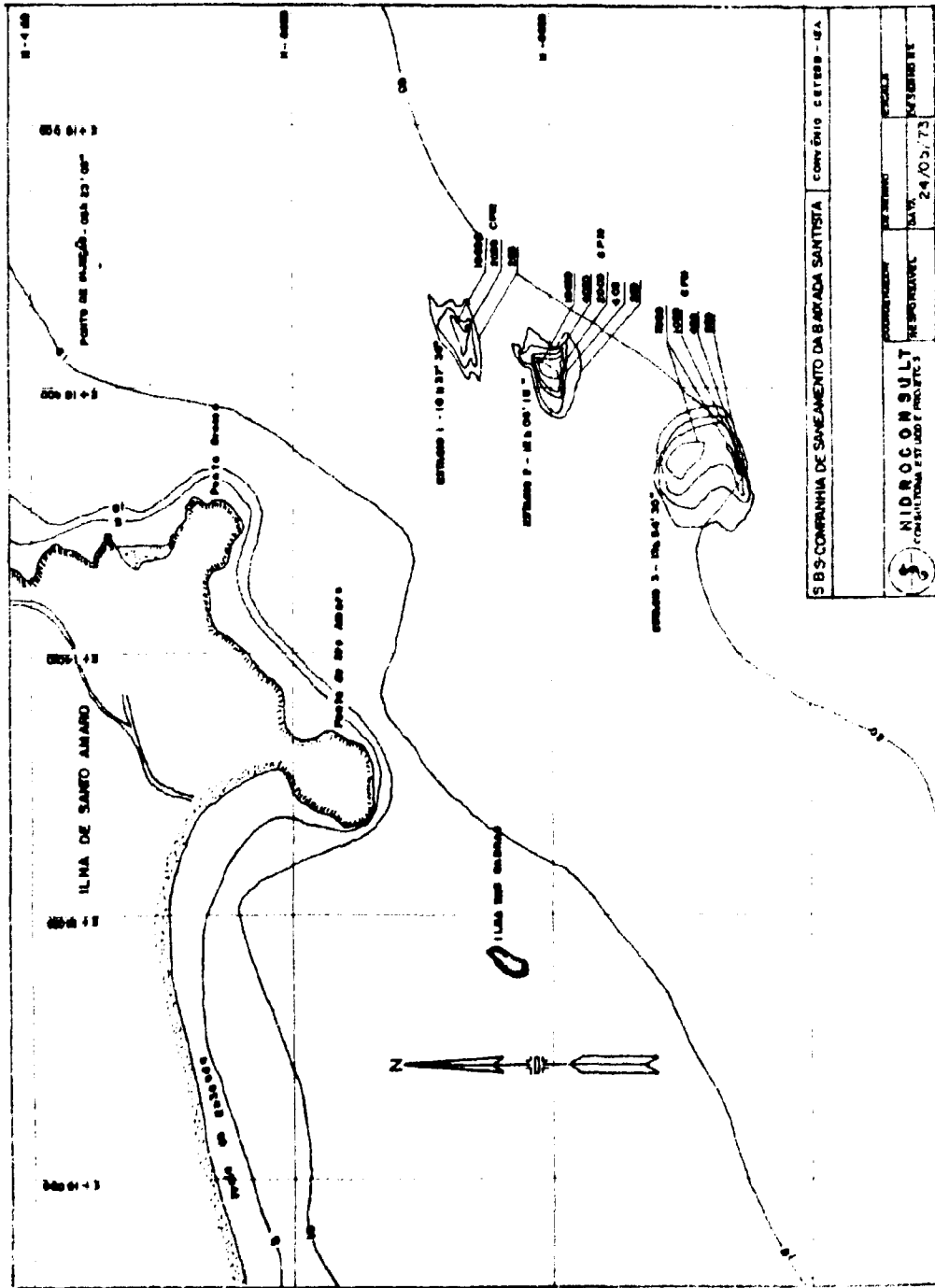


Figura 10

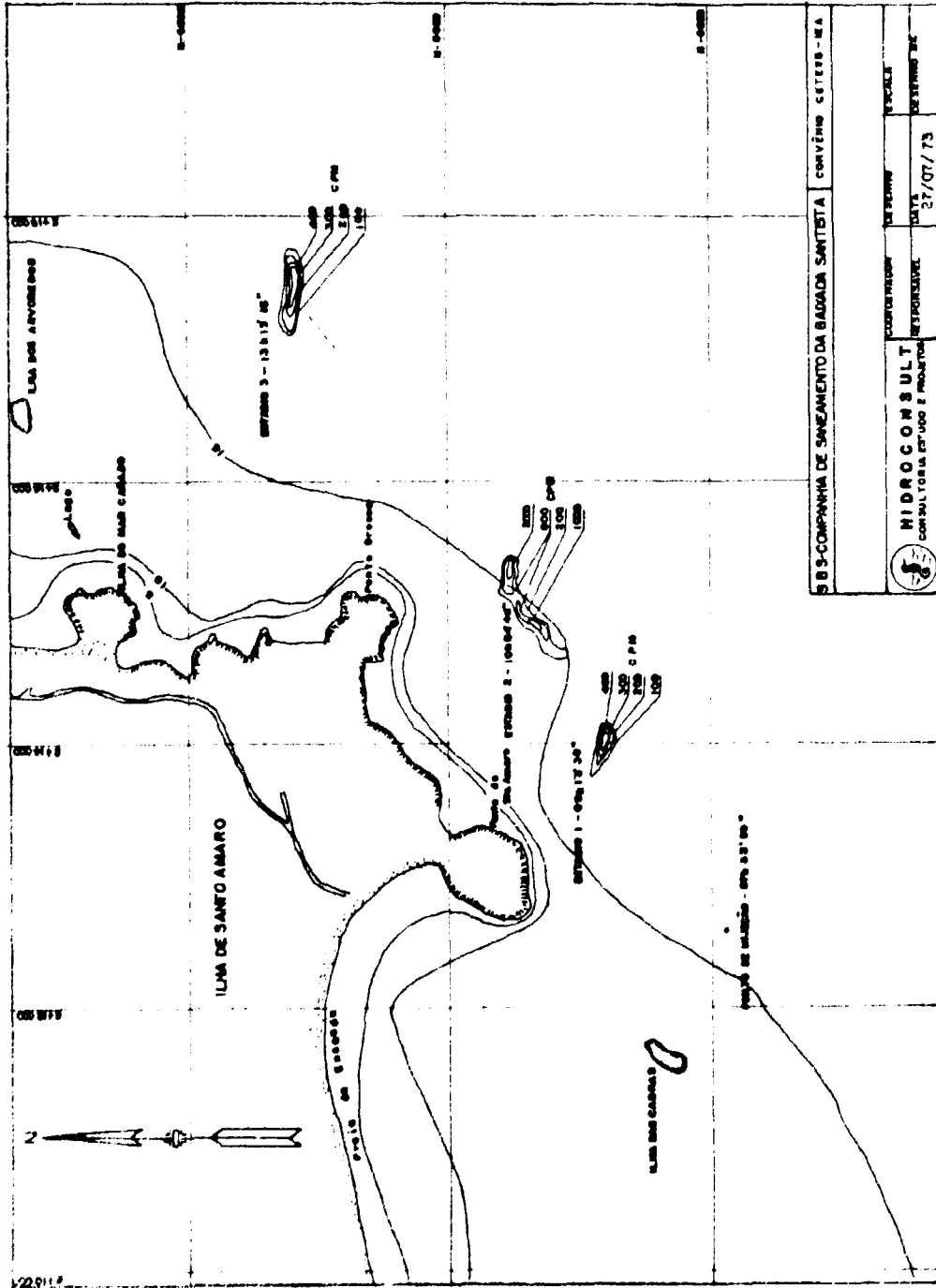


Figura 11

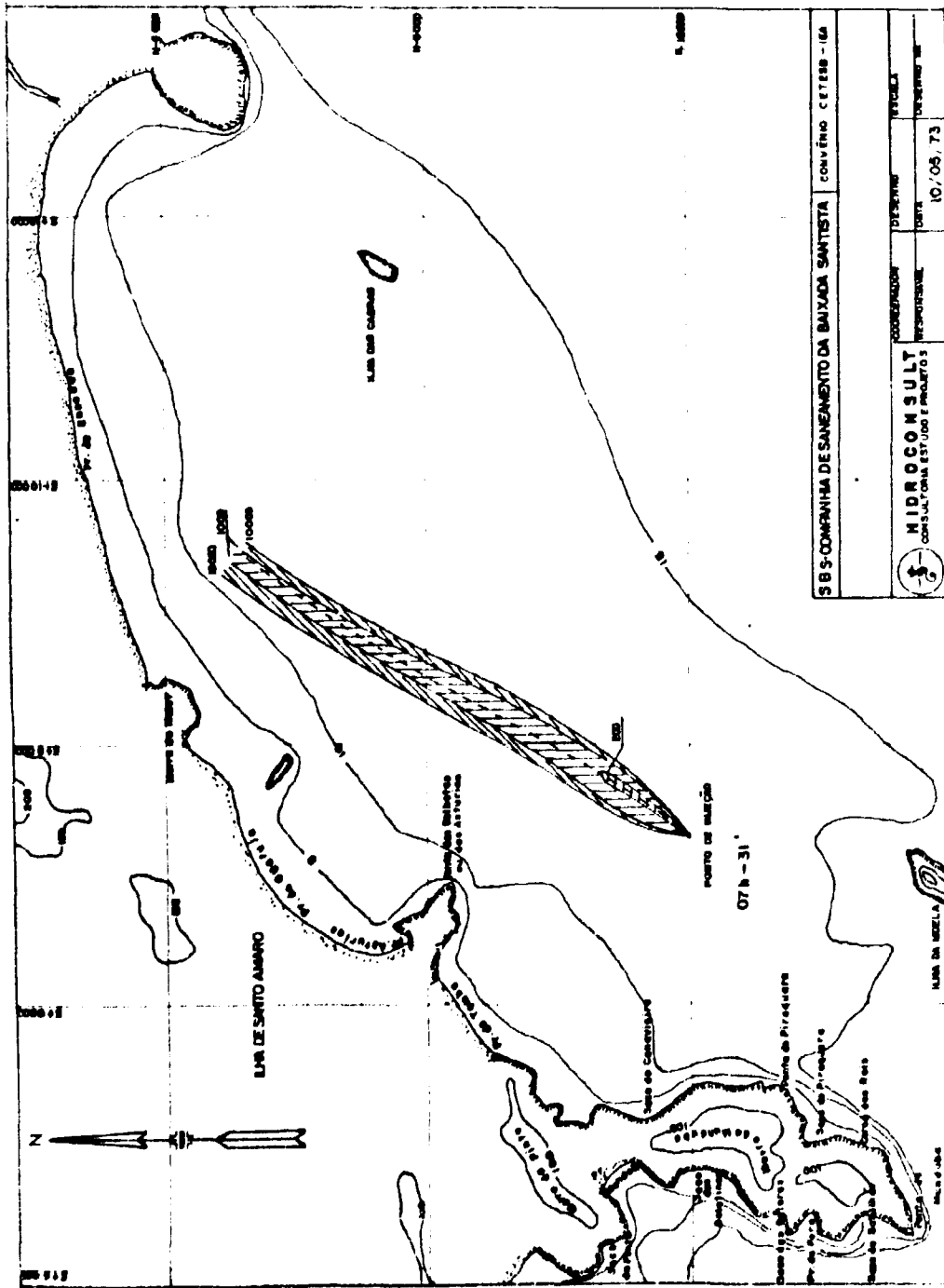


Figure 15

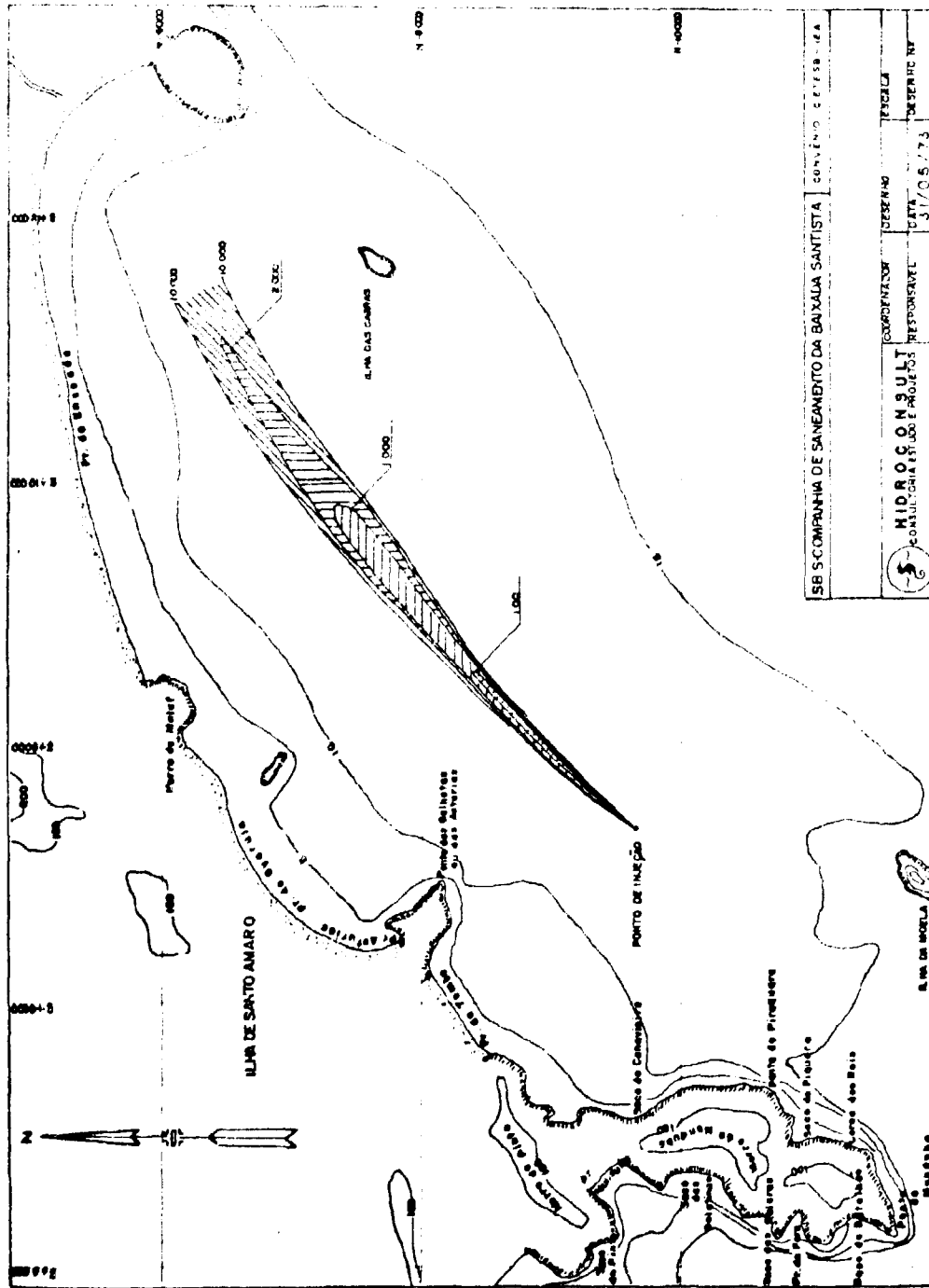


Figura 16

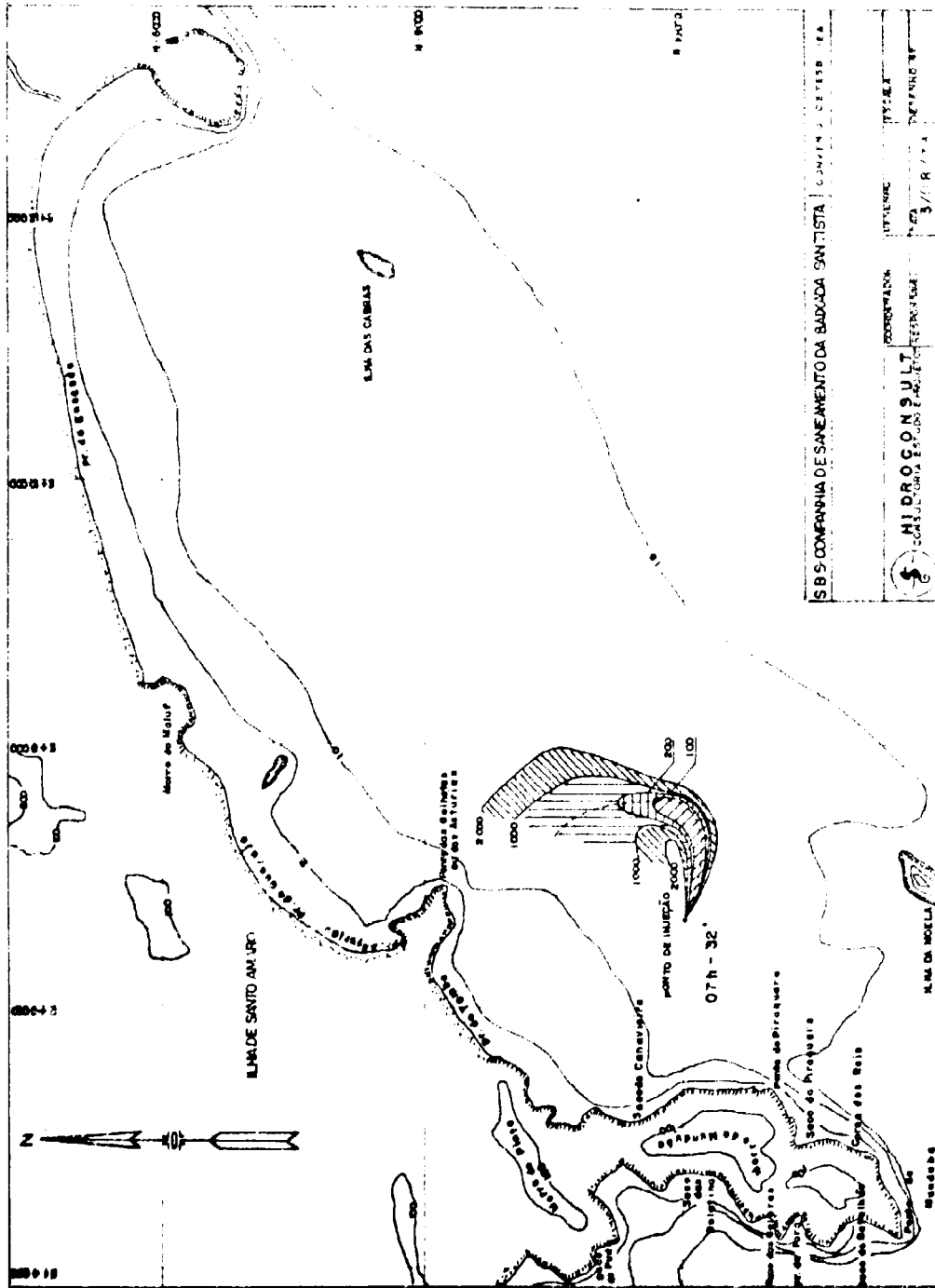


Figura 17

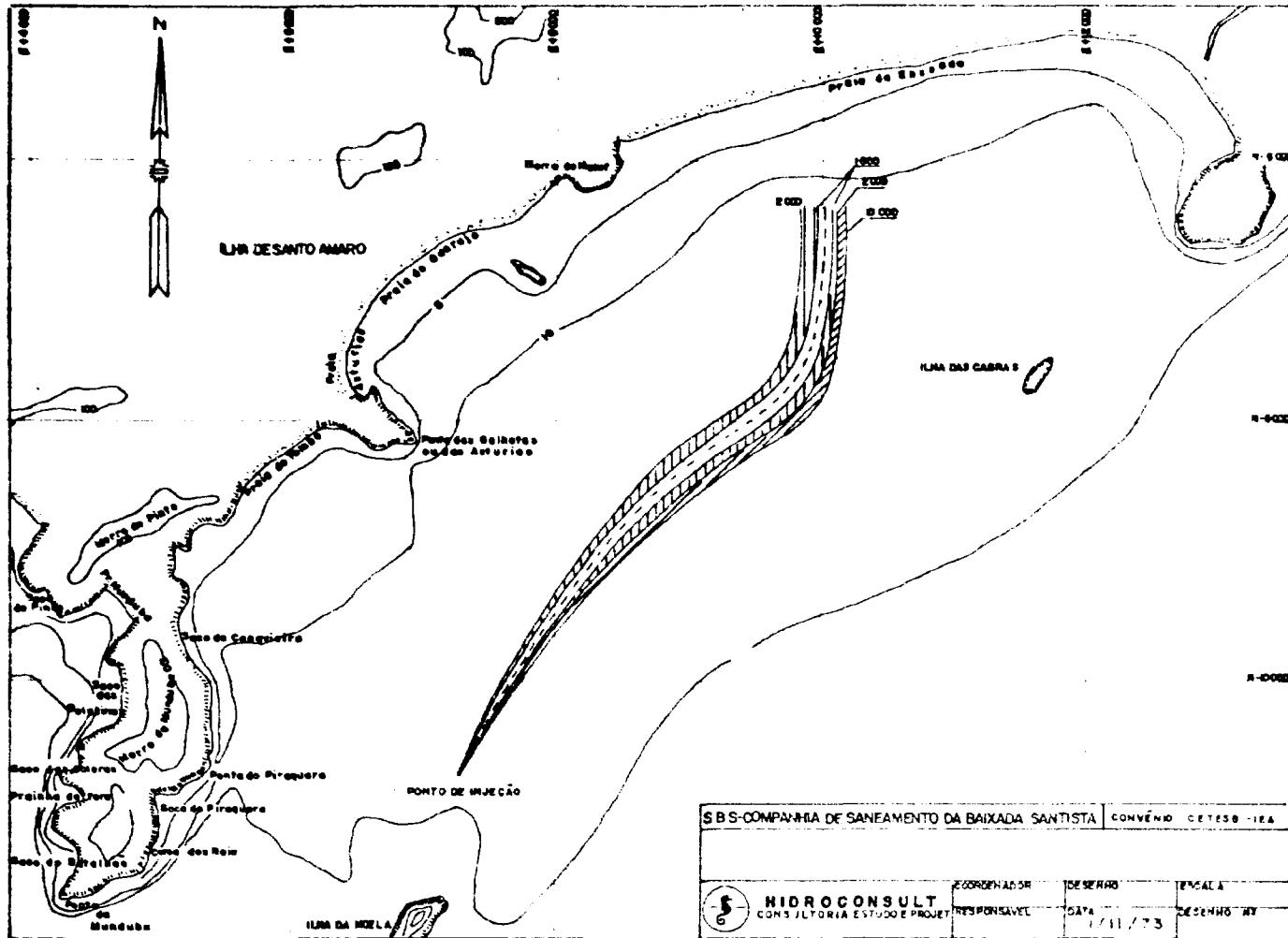


Figura 18

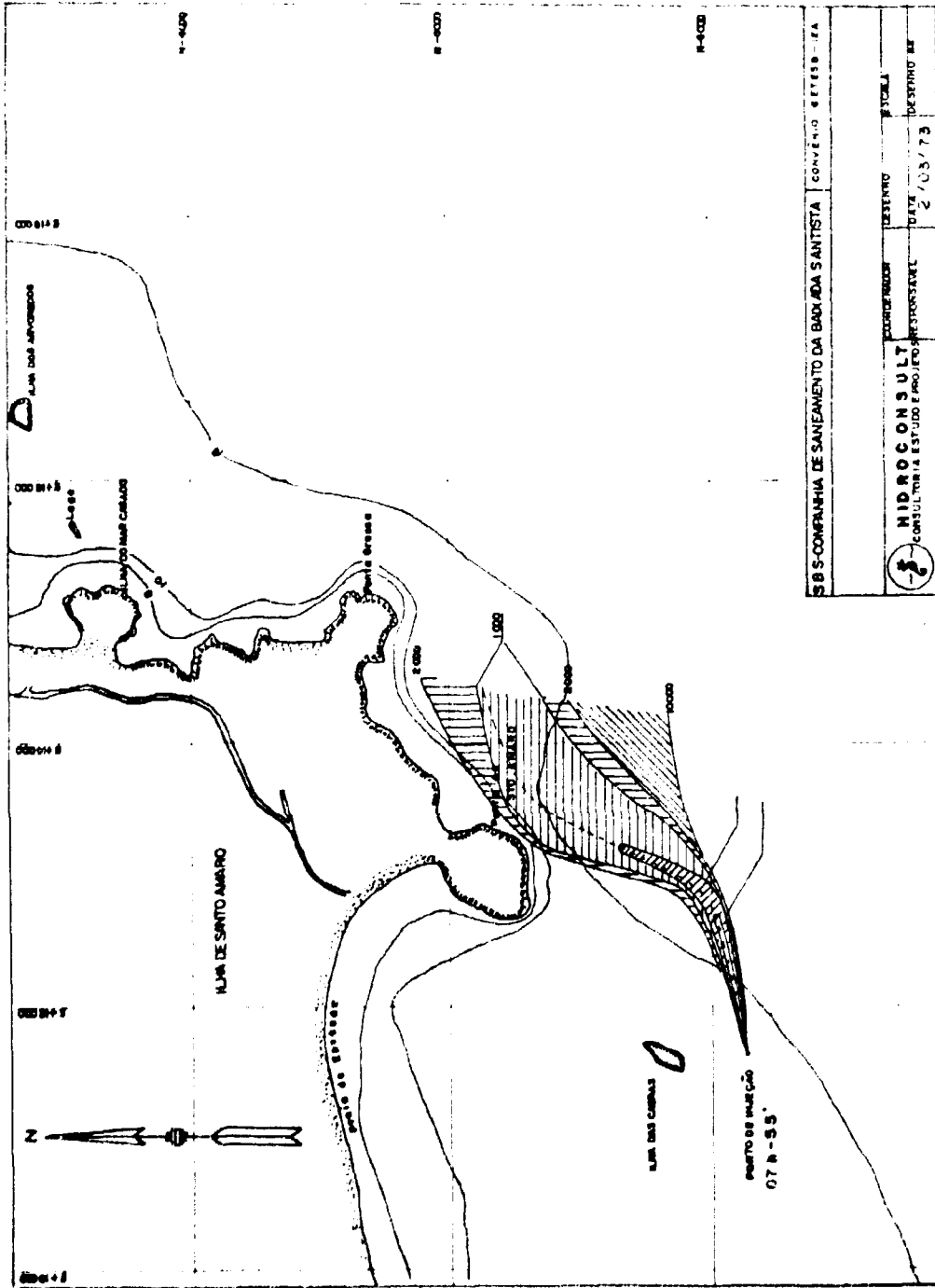


Figura 19

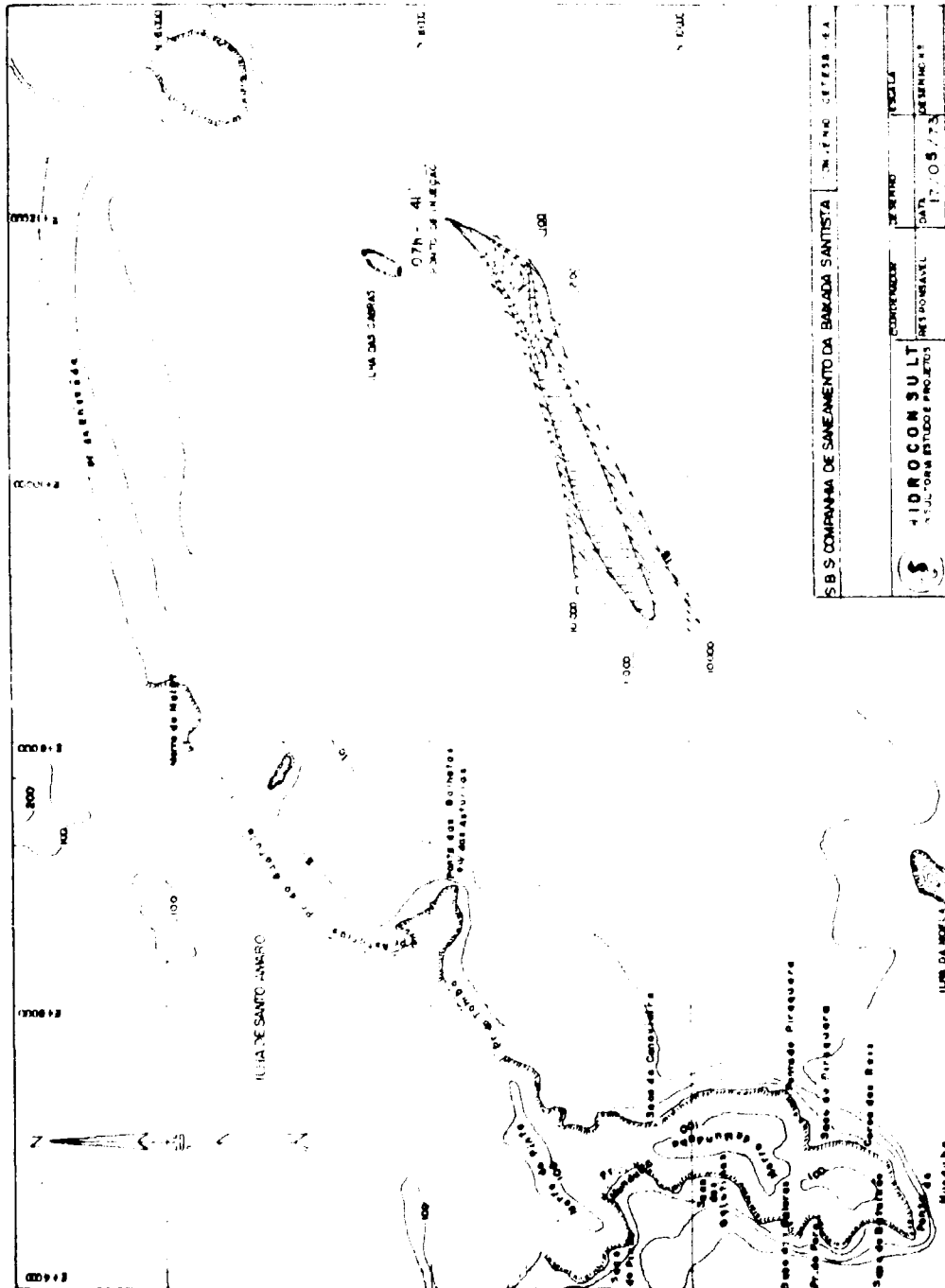


Figura 20

Figura 20

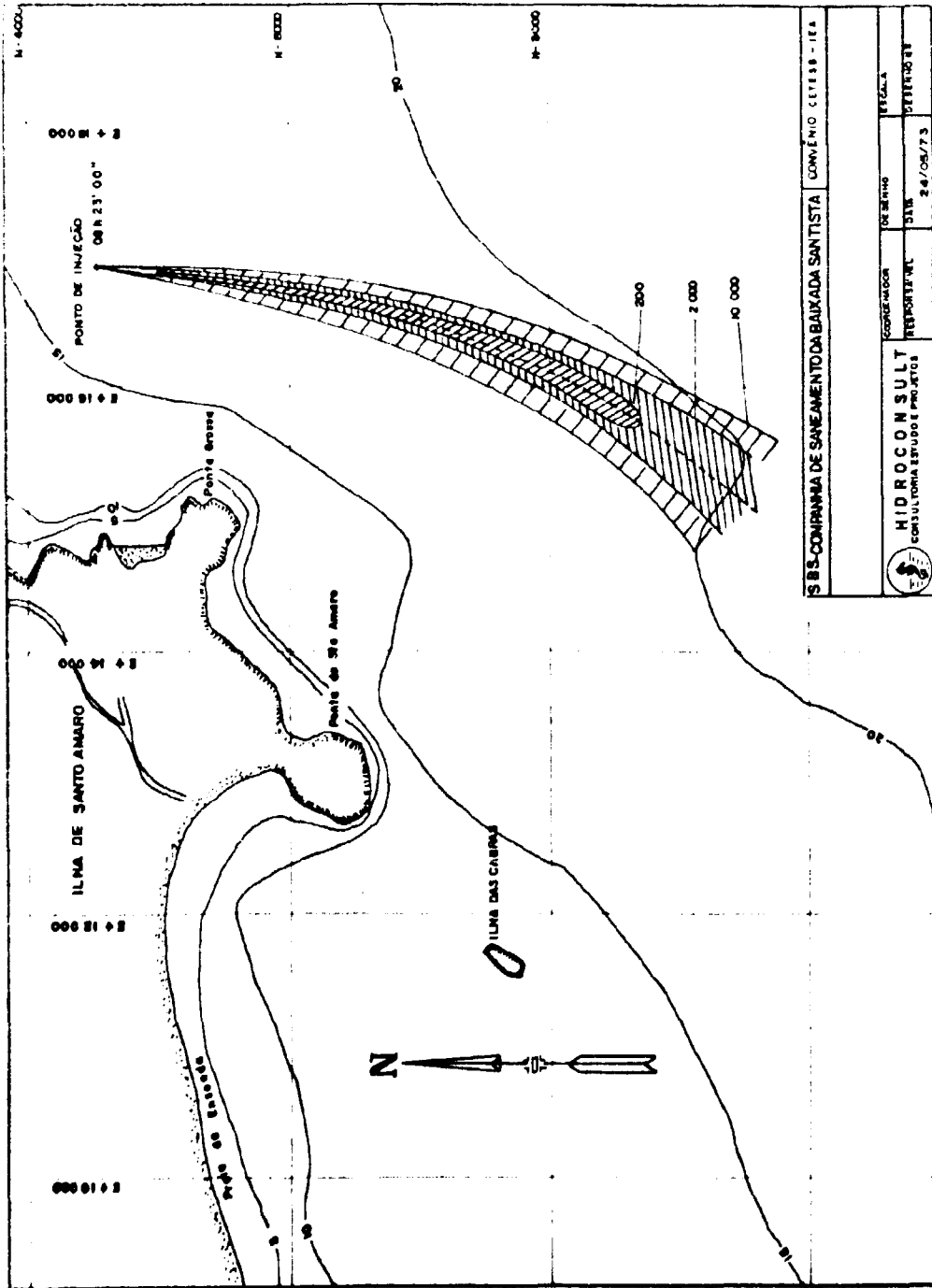


Figura 21

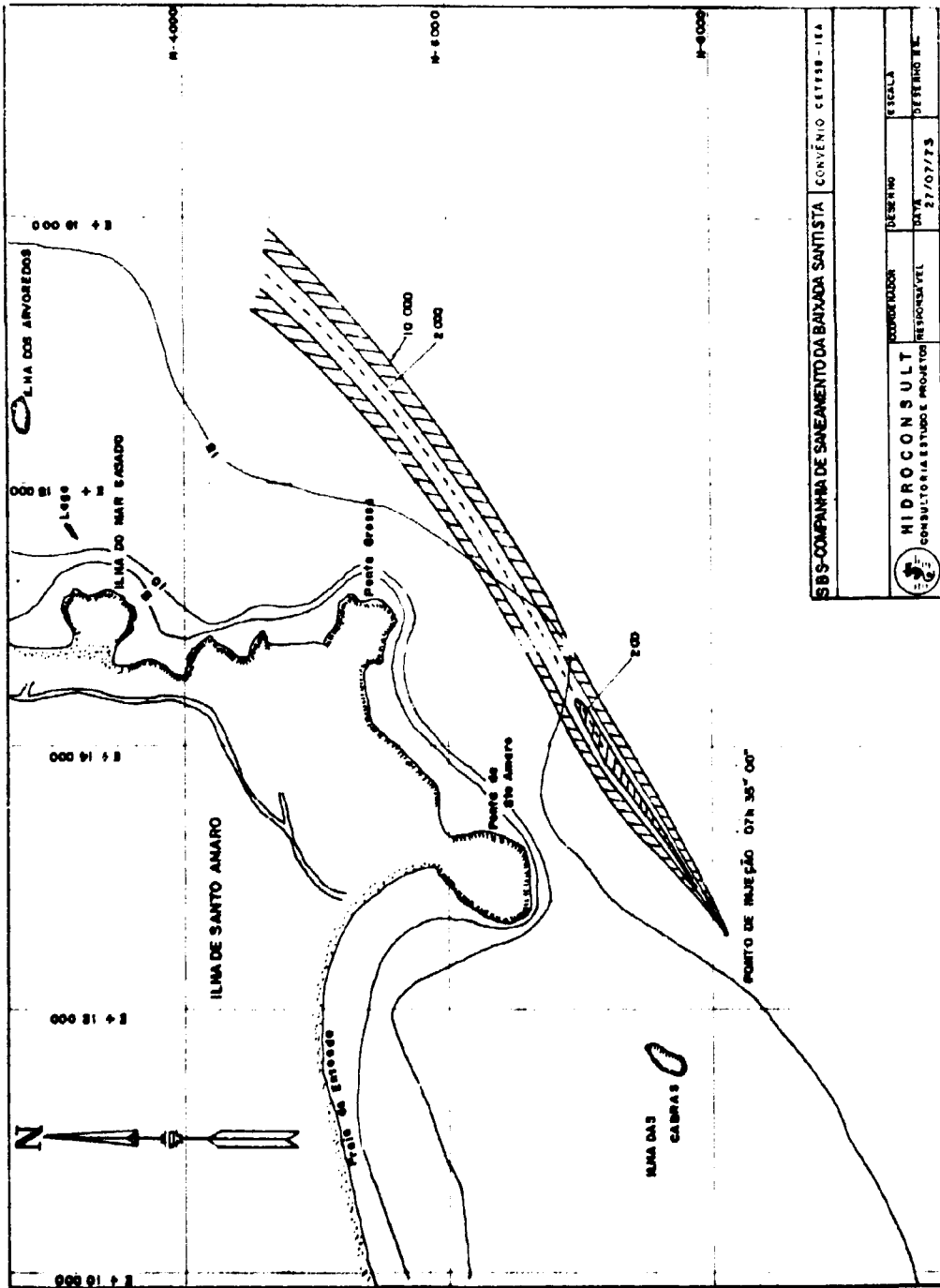


Figura 22

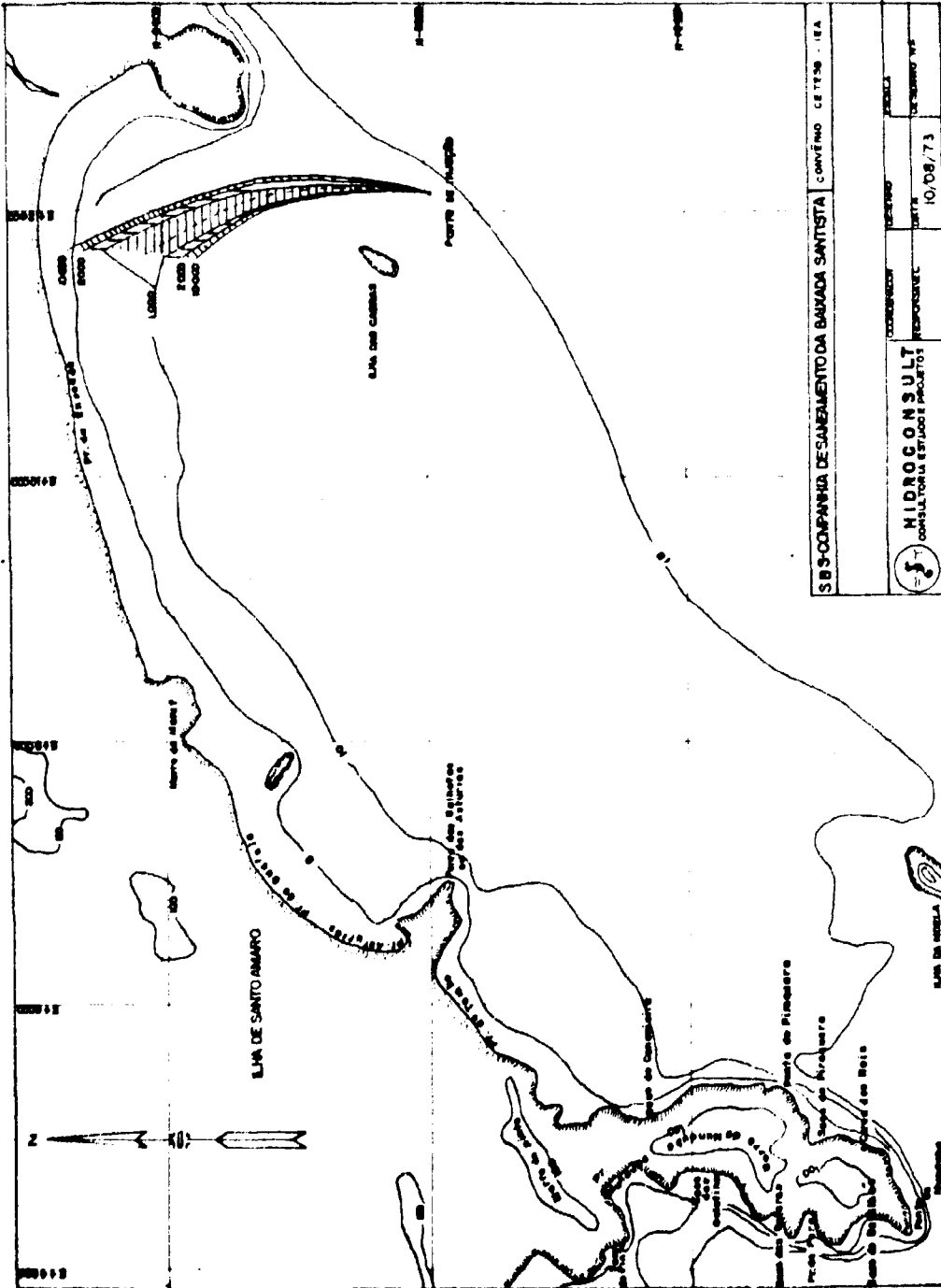


Figura 23

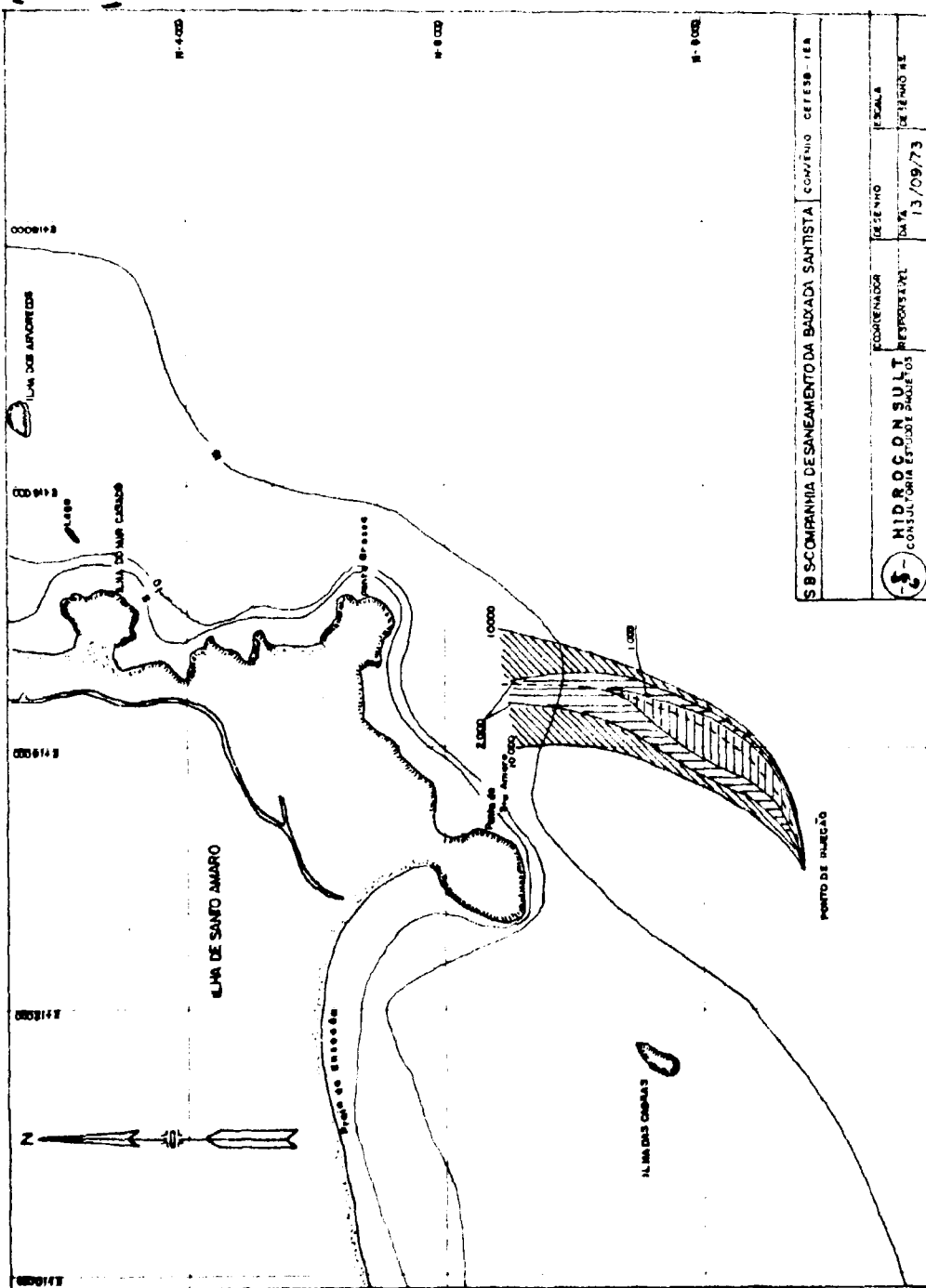


Figura 24

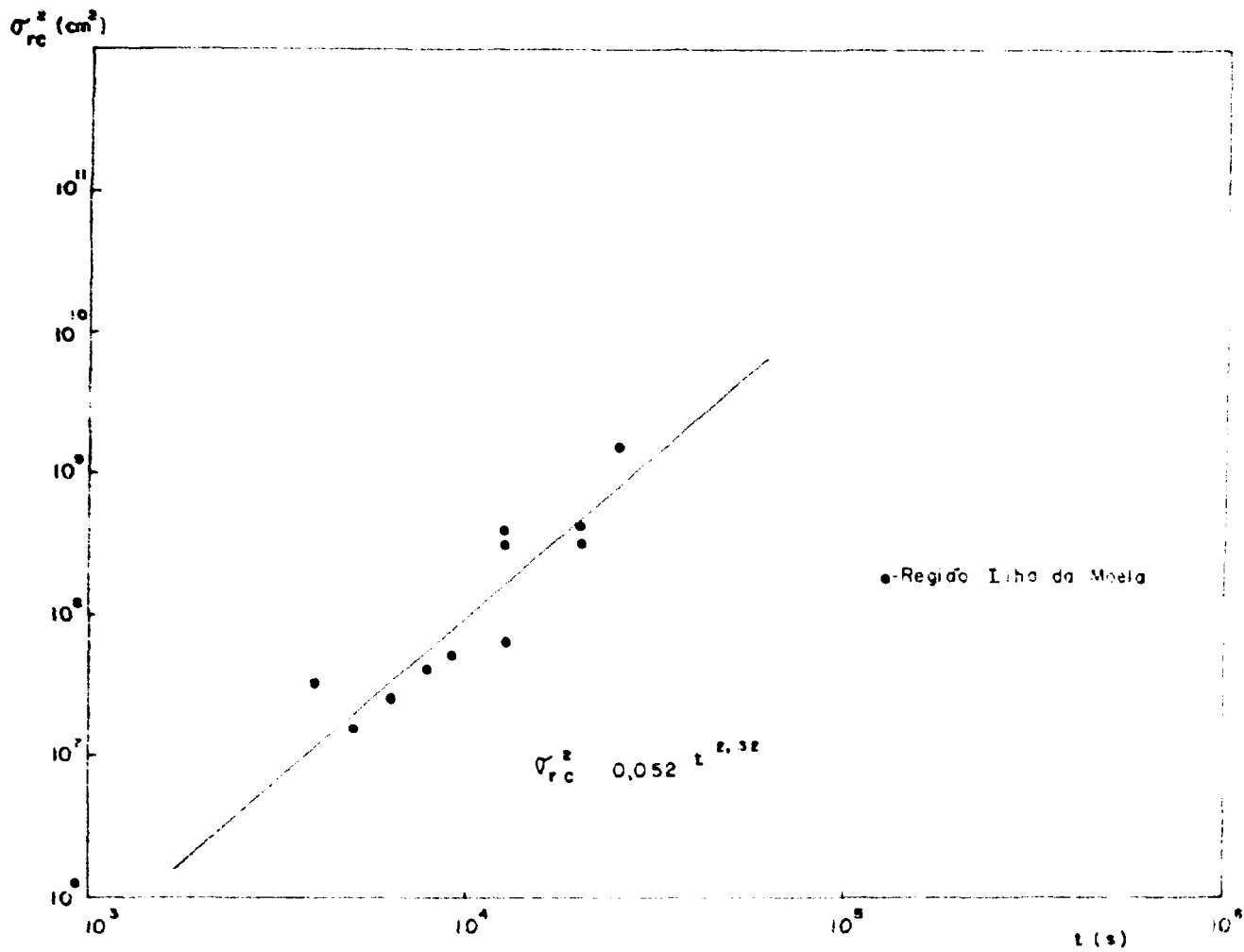


Figura 25 - Relação entre a variância σ_{rc}^2 e o tempo de difusão

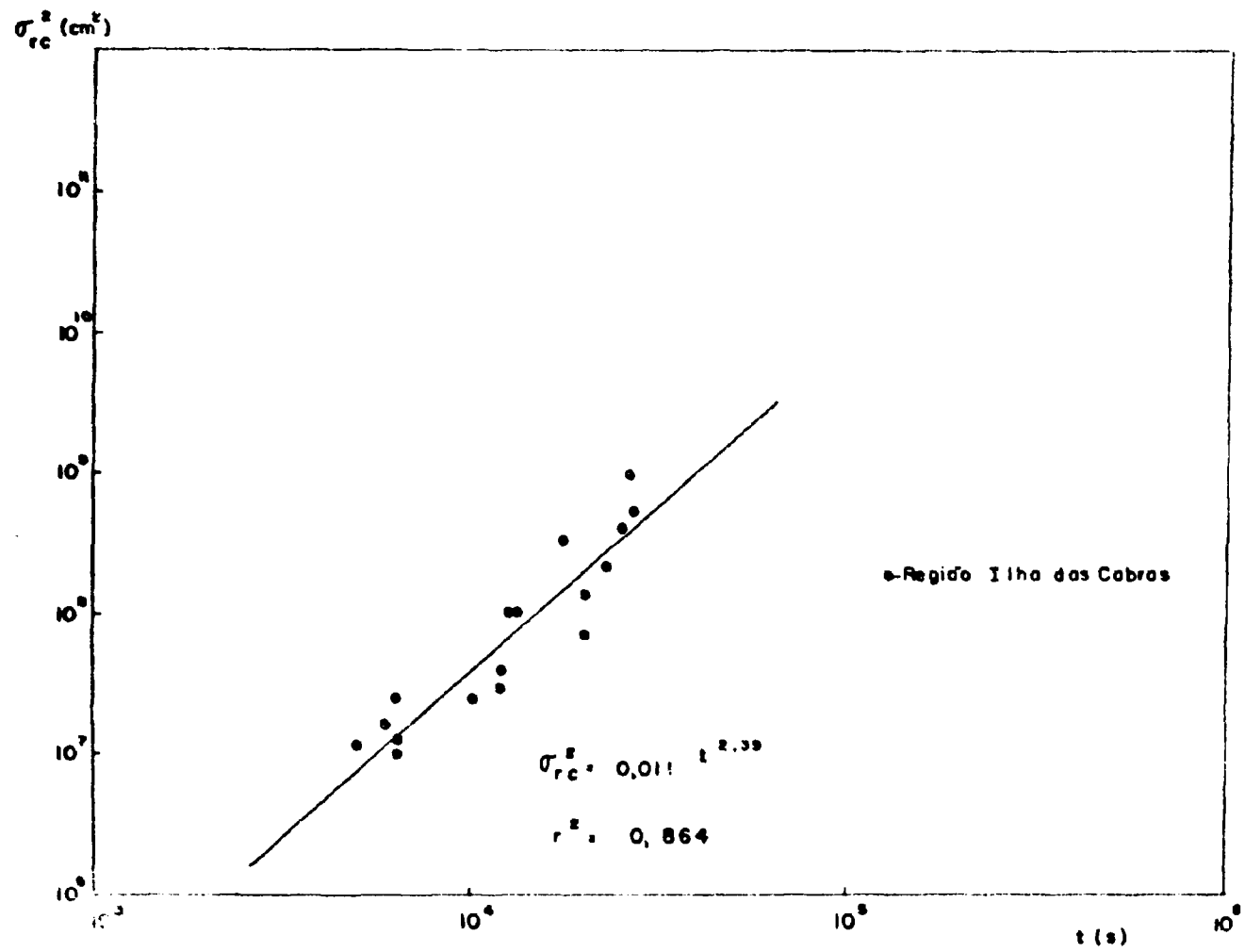


Figura 26 — Relação entre a variância σ_{rc}^2 e o tempo de difusão

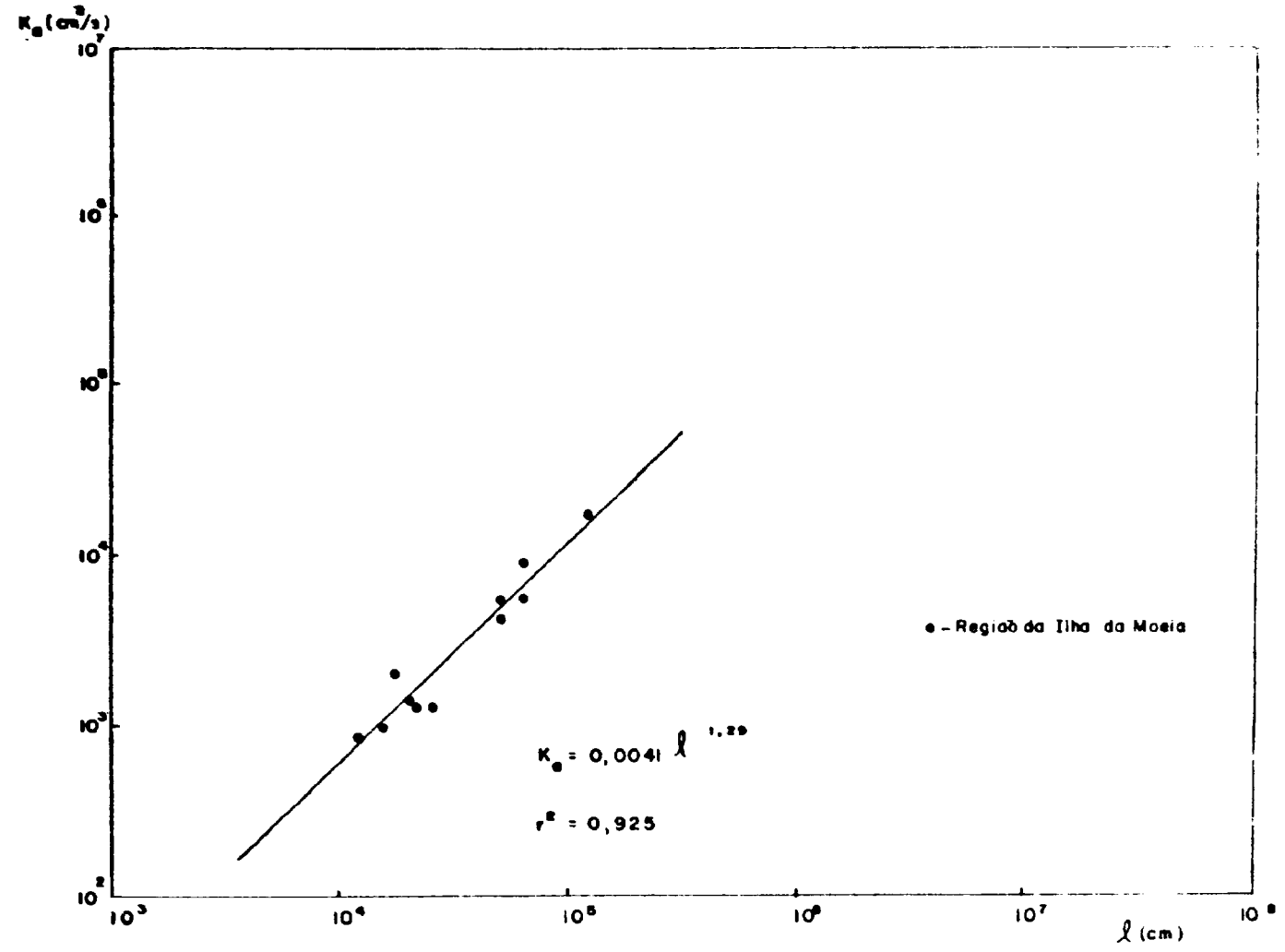


Figura 27 - Relação entre o coeficiente de difusibilidade aparente K_a e a escala de difusão l

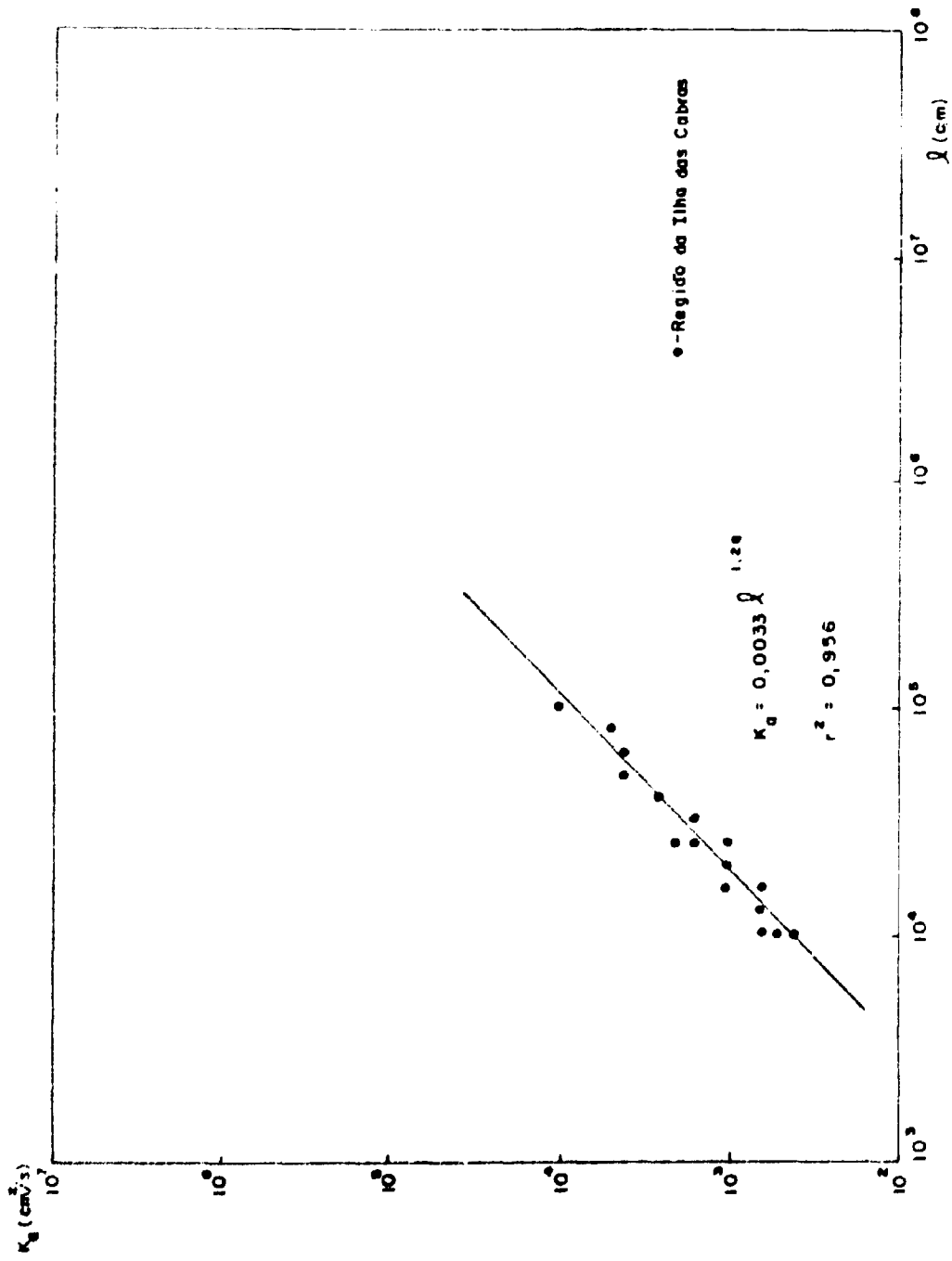


Figura 28 --- Relação entre o coeficiente de difusibilidade aparente K_a e a escala de difusão l

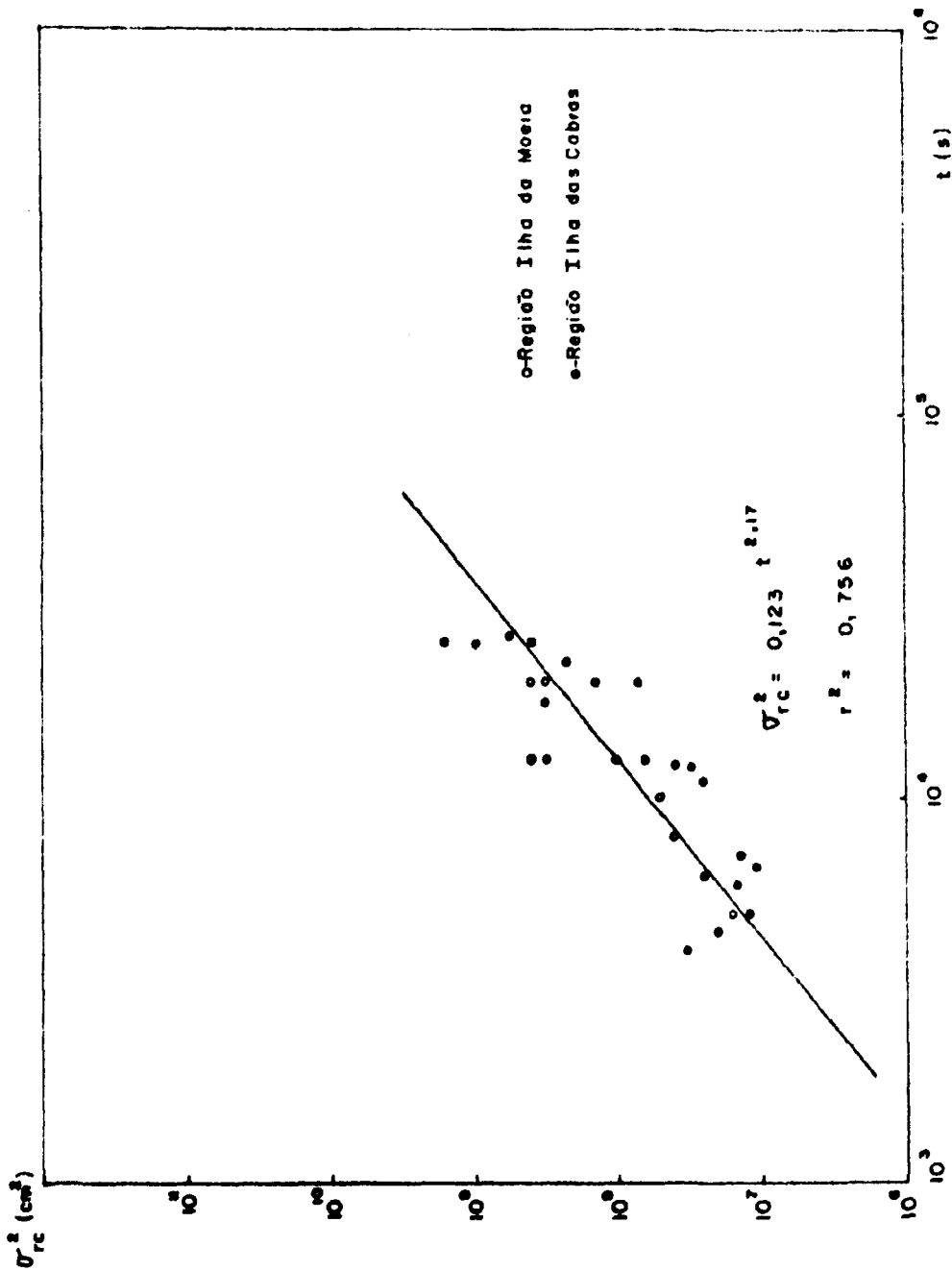


Figura 29 - Relação entre a variância e o tempo de difusão considerando-se globalmente as diferentes condições oceanográficas junto a Ilha da Moela e Ilha das Cabras

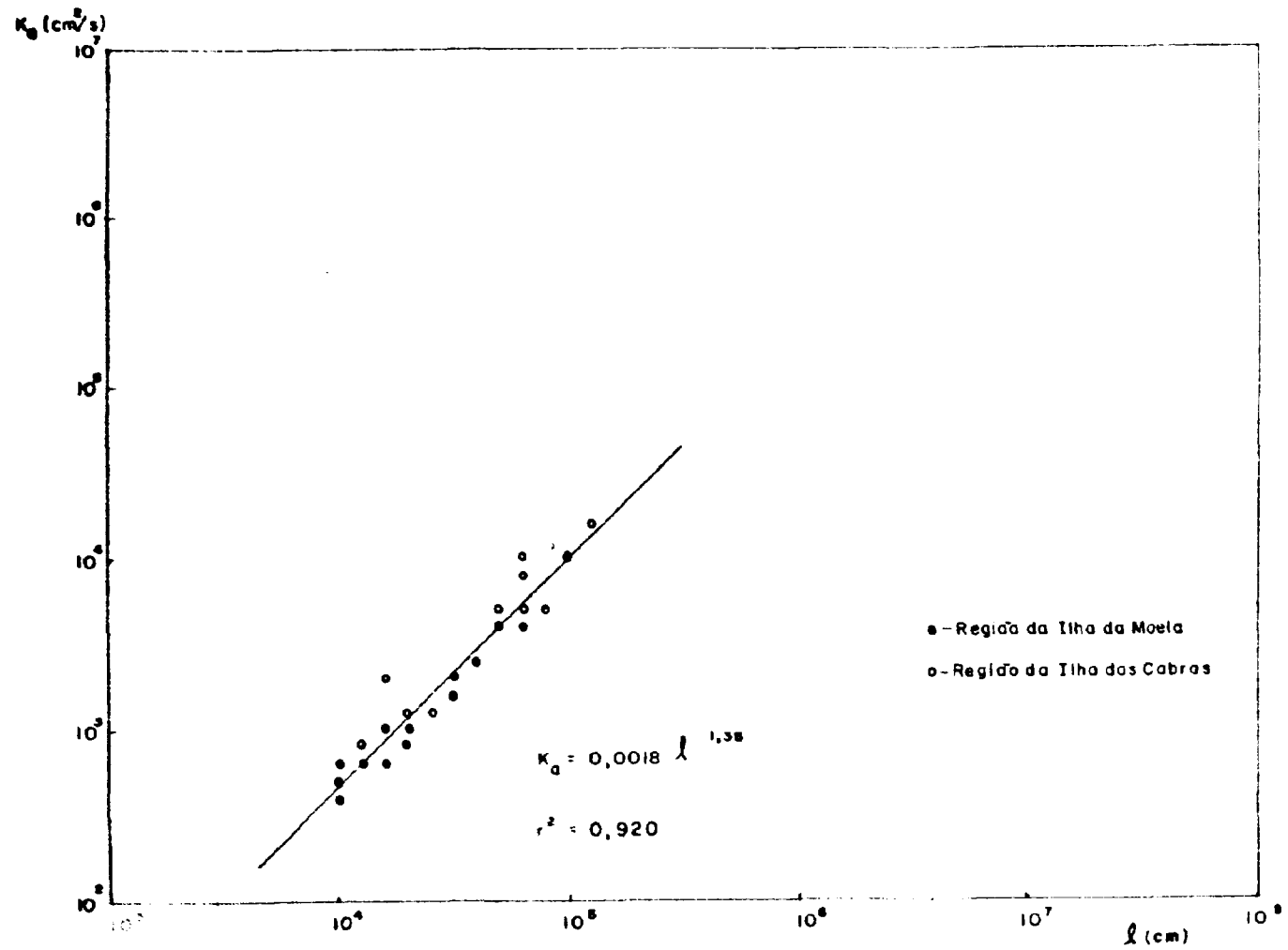


Figura 30 — Relação entre o coeficiente de difusibilidade aparente K_a e a escala de difusão l , considerando-se globalmente as diferentes considerações oceanográficas junto a Ilha da Moela e Ilha das Cabras

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 HANSEN, J Tracer engineering in coastal pollution control. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Vienna. *Nuclear techniques in environmental pollution: proceedings of a symposium held in Salzburg, 23-30, Oct. 1970*. Vienna, 1971. p.567-82.
- 2 OCCHIPINTI, A. G. et alii *Estudos para o sistema de disposição oceânica de esgotos de Santos e São Vicente*. São Paulo, Instituto de Energia Atômica, june 1974 (IEA-300).
3. OKUBO, A *A new set of oceanic diffusion diagram*. Baltimore, Md., Johns Hopkins Univ., Chesapeake Bay Inst., June 1968. (NYO-3109-35). (Technical report nº 38).
4. _____. *Longitudinal dispersion in non-uniform flow*. Baltimore, Md., Johns Hopkins Univ., Chesapeake Bay Inst. Nov. 1970. (Technical report nº 68);
5. SANCHEZ, W. et alii. *Estudos para o sistema de disposição oceânica de esgotos de Santos e São Vicente, misturação oceânica: relatório parcial nº 2*. São Paulo, Instituto de Energia Atômica, ago. 1973. (IEA-301).

