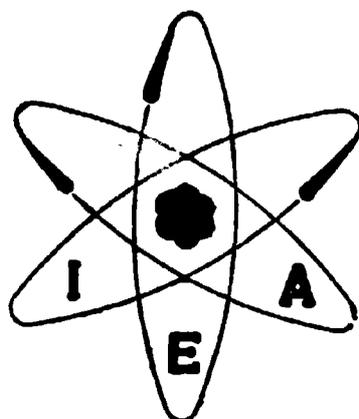


APROVADO pelo DEIC
Em 25/3/74



**ESTUDOS PARA O SISTEMA DE DISPOSIÇÃO OCEÂNICA DOS
ESGOTOS DE SANTOS E SÃO VICENTE
RELATÓRIO PARCIAL Nº 1**

**ANTONIO GARCIA OCCHIPINTI, WLADIMYR SANCHEZ
e SEBASTIÃO GAGLIANONE**

PUBLICAÇÃO IEA N.º 300
Agosto — 1973

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

**ESTUDOS PARA O SISTEMA DE DISPOSIÇÃO OCEÂNICA DOS
ESGOTOS DE SANTOS E SÃO VICENTE
RELATÓRIO PARCIAL Nº1**

Antonio Garcia Occhipinti, Wladimir Sanchez e Sebastião Gaglianone

**Divisão de Aplicação de
Radioisótopos na Engenharia e na Indústria
Instituto de Energia Atômica
São Paulo – Brasil**

**Publicação IEA Nº 300
Agosto – 1973**

Instituto de Energia Atômica

Conselho Superior

Eng^o Roberto N. Jafet – Presidente
Prof.Dr.Emilio Mattar – Vice-Presidente
Prof.Dr.José Augusto Martins
Dr.Affonso Celso Pastore
Prof.Dr.Milton Campos
Eng^o Helcio Modesto da Costa

Superintendente

Rômulo Ribeiro Pieroni

ESTUDOS PARA O SISTEMA DE DISPOSIÇÃO OCEÂNICA DOS ESGOTOS DE SANTOS E SÃO VICENTE

RELATÓRIO PARCIAL Nº 1

Antonio Garcia Occhipinti*, Wladimir Sanchez** e Sebastião Gaglianone***

RESUMO

Os autores descrevem o plano de trabalho e resultados preliminares das investigações oceanográficas para o projeto de implantação de um emissário submarino de esgotos mergulhando na Praia de José Menino e estendendo-se em direção a boca da Baía de Santos. O PLANO DIRETOR DE ESGOTOS DAS CIDADES DE SANTOS E SÃO VICENTE fixou quatro possíveis pontos para o lançamento do esgoto, baseado em estudos empírico-teóricos. Sendo as investigações oceanográficas e bacteriológicas indispensáveis ao projeto, constituiu-se um grupo de trabalho formado por técnicos do IEA e CETESB e coordenado pelo Prof. Dr. Antonio Garcia Occhipinti, para estudar o declínio bacteriológico nas águas do litoral, junto a Ponta do Itaipu, medição de correntes e da estrutura vertical das águas, processo de difusão por misturação oceânica, diluição física do esgoto e eficiência da cloração. Os resultados, embora preliminares, permitiram antecipar algumas conclusões e delimitar bem a área onde as pesquisas devem ser intensificadas.

1 – INTRODUÇÃO

A poluição da água é um problema crescente em praticamente todo o mundo.

Os aspectos físicos, biológicos, bacteriológicos e sanitários deste problema em relação ao corpo d'água receptor são comumente de grande significância. Este é o caso da disposição oceânica dos esgotos. O lançamento de águas servidas no oceano ou em outros grandes corpos d'água pode ser considerado um processo de disposição final muito satisfatório e econômico.

A capacidade do oceano de assimilar os efluentes de esgoto torna a disposição oceânica uma solução economicamente atraente especialmente para as grandes comunidades litorâneas. O oceano dilui, dispersa, oxida, transporta e assimila o esgoto.

As maiores comunidades brasileiras já começaram a planejar, projetar e construir seus grandes emissários submarinos para a disposição oceânica de seus esgotos. Entretanto, a expansão demográfica e o desenvolvimento do padrão de vida das grandes comunidades litorâneas contribuem concomitantemente, para aumentar a demanda do uso benéfico das águas costeiras para recreação, esportes aquáticos, pesca esportiva e conseqüentemente para aumentar as exigências da comunidade em relação aos padrões estéticos e sanitários dessas águas. Resulta um conflito entre o uso benéfico das águas costeiras e sua utilização para disposição de esgotos. Deve-se, pois, enfatizar o legítimo valor recreativo e estético das águas costeiras reclamado pelos seus beneficiários.

* Professor Titular do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo

** Diretor da Divisão de Aplicação de Radioisótopos na Engenharia e na Indústria, do Instituto de Energia Atômica

*** Diretor da Divisão de Laboratórios Gerais, do Centro Tecnológico de Saneamento Básico - CETESB.

Ao planejar-se o lançamento dos esgotos no oceano, deve-se prever os seus efeitos deletérios do ponto de vista ecológico, higiênico e estético

Uma nova tecnologia está em desenvolvimento para investigar as características físicas, químicas e biológicas do ambiente oceânico com o propósito de analisar e prever de forma racional e eficiente as conseqüências da sua utilização como corpo receptor de esgotos.

Um estudo oceanográfico é imprescindível.

Em paralelo desenvolvem-se técnicas de tratamento dos esgotos e de projeto de emissários submarinos de forma a propiciar alternativas mais viáveis tanto do ponto de vista técnico como econômico. O aperfeiçoamento de difusores baseados nos princípios da mecânica dos fluidos pode contribuir efetivamente para aumentar a diluição e a dispersão dos efluentes diminuindo de forma significativa os efeitos da poluição e os custos do projeto. Além disto, pode-se submeter o efluente a diversos graus de tratamento antes de lançá-lo ao oceano

A integração racional dos estudos oceanográficos com os estudos técnico-econômicos de engenharia hidráulica e sanitária conduzirá a um plano ótimo de disposição oceânica de esgotos.

O plano ótimo de disposição oceânica de esgotos resultará da melhor combinação entre o sistema interceptor oceânico, o sistema de tratamento, o sistema de recalque e o sistema emissário-difusor submarino. Este plano ótimo será obtido com a integração racional dos estudos e investigações oceanográficas e a tecnologia à disposição da engenharia hidráulica e sanitária.

O efeito deletério resultante da disposição oceânica dos esgotos é uma função complexa de duas variáveis, a concentração e o tempo. O efeito integrado do ambiente oceânico sobre o efluente é de significância crítica.

As possibilidades de obter-se um prognóstico eficiente das condições de poluição dependem diretamente da determinação das condições oceanográficas prevaescentes na área de estudo.

Para efeito de projeto, diversos locais alternativos deverão ser investigados a fim de determinar-se qual o mais favorável.

As condições oceanográficas e biológicas das águas da área em estudos variam em função do local e do tempo. Para obter-se um julgamento quantitativo significativo é necessário efetuar-se um estudo estatístico.

Só se podem prever estatisticamente as condições de poluição efetuando-se um programa de investigações oceanográficas que permitam obter-se uma descrição estatística das condições oceanográficas e a partir desta efetuar-se um estudo compreensivo das características físicas, químicas e biológicas da área em estudo.

As investigações oceanográficas "in situ" são em geral complexas, dispendiosas e demoradas porque devem fornecer informações não somente sobre as propriedades físicas mas também biológicas das áreas cogitadas para o lançamento.

A previsão da poluição pode ser feita com base em modelos analíticos ou de simulação.

A previsão da poluição baseada em condições analíticas depende da significância do modelo utilizado e da precisão da estimativa dos valores dos parâmetros mais relevantes.

A rigor, deve-se caracterizar, nas áreas cogitadas para lançamento, os processos físicos de diluição, dispersão e transporte do campo de esgotos associados ao processo biológico do declínio bacteriológico.

O projeto de um emissário submarino de esgotos depende do conhecimento do poder bactericida das águas receptoras associado à distribuição estatística da capacidade destas águas de diluir, dispersar e transportar os efluentes.

A capacidade das águas oceânicas receptoras de assimilar e desviar os efluentes de esgotos, tratados ou não, de forma a preservar o seu uso para fins esportivos, balneários ou recreativos depende principalmente das condições meteorológico-oceanográficas e das características físico-químicas e bactericidas que prevalecem nas águas da região.

A previsão das condições oceanográficas das águas receptoras é especialmente complexa quando se trata das águas mais rasas e próximas à costa.

As condições oceanográficas das águas litorâneas são influenciadas pela combinação de diversos fatores, como os ventos, as ondas e sua rebentação, as marés, as correntes, a topografia do fundo, a estrutura vertical das águas, a contribuição das bacias fluviais costeiras, etc..

Até o presente momento não existe possibilidade de prever-se teoricamente as condições oceanográficas que interessam ao problema da disposição oceânica de esgotos.

A avaliação dos fatores oceanográficos que influenciam o lançamento submarino de esgotos deve ser baseada em observações locais muito bem programadas. Os estudos teóricos ou empírico-teóricos constituem, entretanto, elemento muitíssimo valiosos para um pré-dimensionamento. Os resultados observados em áreas consideradas semelhantes, associados a estudos teóricos judiciosos, podem permitir determinar os fatores mais relevantes e avaliar a sua ordem de grandeza. Estes estudos permitem estimar dentro de que limites os valores dos principais fatores podem variar. Além disto, estes estudos preliminares permitem esboçar as condições físicas de forma a orientar a elaboração de um programa eficiente e econômico de investigações oceanográficas. Os estudos empírico-teóricos podem ainda contribuir para generalizar os resultados das observações realizadas, por razões econômicas, sobre áreas relativamente limitadas e em períodos relativamente curtos.

As observações oceanográficas constituem um trabalho muito especializado, devendo ser muito bem planejado e executado por especialistas.

O sucesso dos resultados depende também do equipamento disponível.

A duração de cada campanha oceanográfica deverá permitir observar as principais variações cíclicas das variáveis oceanográficas de interesse - cada campanha deverá durar pelo menos 12 horas. O programa de observações, por outro lado, deverá prever um número

suficientemente grande de campanhas ao longo de um período mínimo de um ano. Só assim será possível caracterizar um número mínimo desejável de condições meteorológico-oceanográficas típicas.

A eficiência de um projeto de lançamento submarino de esgotos depende da combinação entre os recursos tecnológicos da engenharia hidráulica e sanitária e das condições naturais das águas receptoras.

Ao ser lançado no oceano, o esgoto experimenta um processo contínuo de alteração e abatimento devido principalmente ao poder bactericida da água do mar e aos processos físicos de diluição, difusão, dispersão e advecção (sistema de correntes e mecanismo de troca da água contaminada)

Uma vez avaliado o poder natural de alteração e o efeito letal das águas receptoras, deve-se determinar qual a mais viável combinação, técnica e econômica, de tratamento dos esgotos (para remover os constituintes indesejáveis) e o sistema afastador e dispersor (para prover a diluição, dispersão e advecção suficientes) que garantam os padrões de qualidade estabelecidos para as águas utilizáveis para fins benéficos.

Um plano de disposição oceânica de esgotos deve considerar e analisar os seguintes fatores principais:

- a) Critérios e padrões sanitários;
- b) Capacidade de assimilação das águas receptoras;
- c) Estrutura vertical das águas receptoras;
- d) Processos físicos de diluição, difusão, dispersão e advecção;
- e) Critérios de projeto:
 - Sistema de Tratamento;
 - Sistema de Disposição: Afastamento e Dispersão

Os principais fatores característicos das águas receptoras que intervêm na disposição oceânica de esgotos são os seguintes:

- velocidade das correntes convergentes ao limite do corpo d'água a preservar;
- difusidade vortical;
- profundidade média de mistura das águas ou espessura do campo de esgotos;
- taxa de declínio bacteriológico.

Os principais fatores com os quais o projetista pode intervir na disposição oceânica de esgotos são:

- dimensionamento do difusor;
- distância do ponto de lançamento até o limite do corpo d'água a preservar;
- redução da concentração de coliformes por tratamento ou desinfecção.

Estes fatores são relacionados nos modelos analíticos de previsão dos efeitos da disposição oceânica de esgotos por parâmetros que serão denominados neste trabalho por "parâmetros intervenientes"

A avaliação correta destes fatores é decisiva para o sucesso do projeto do sistema de disposição oceânica de esgotos e deve ser efetuada a partir de observações oceanográficas eficientemente realizadas na área cogitada para o lançamento.

2 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

Em 30 de junho de 1969 foi encaminhado à Secretaria dos Serviços e Obras Públicas do Estado de São Paulo o PLANO DIRETOR DE ESGOTOS DAS CIDADES DE SANTOS - SÃO VICENTE. O plano preconizou a disposição oceânica dos esgotos e após examinar diversas alternativas, baseado em um estudo empírico-teórico, indicou preliminarmente como a alternativa mais viável a implantação de um emissário submarino mergulhando na Praia de José Menino e estendendo-se cerca de 4.700 m em direção à boca da Baía de Santos. O Relatório nº 8, Plano Diretor intitulado "Estudos Oceanográficos Preliminares", onde foi desenvolvido o estudo oceanográfico empírico-teórico, propõe em suas conclusões às páginas 24 e 30 a execução e apresenta um programa de "Campanhas Oceanográficas Recomendadas para a Fase de Projeto de Obras".

A SBS - Companhia de Saneamento da Baixada Santista ao analisar o projeto do emissário submarino do sistema de disposição oceânica dos esgotos de Santos e São Vicente, verificou que as investigações oceanográficas e bacteriológicas, elementos indispensáveis ao projeto, não haviam sido realizadas. O projeto havia sido executado com base no estudo empírico-teórico apresentado no Plano Diretor e que foi desenvolvido principalmente objetivando a análise de alternativas e o estudo de viabilidade. O estudo empírico-teórico foi também desenvolvido para especular-se sobre as áreas cogitáveis para lançamento, avaliar-se os principais elementos e parâmetros condicionantes de projeto e elaborar-se o programa de investigações oceanográficas e bacteriológicas imprescindíveis à execução de um projeto racional e eficiente.

O Plano Diretor, apoiado no estudo empírico-teórico, apresentou um programa de investigações indispensáveis à definição do projeto.

A despeito da recomendação clara e incisiva da necessidade imprescindível da realização prévia do programa de investigações oceanográficas e bacteriológicas, o projeto executivo foi contratado e executado sem aqueles dados.

Em tempo e muito criteriosamente, a atual direção da SBS, presidida pelo Eng^o Paulo Peltier de Queiroz Jr., reconheceu a imperiosa necessidade de mandar executar um programa completo de investigações oceanográficas e bacteriológicas que permitissem prever as conseqüências do lançamento segundo o projeto proposto ou conforme o caso, modificá-lo em tempo e convenientemente. Além disso, decidiu o atual Secretário de Obras do Estado de São Paulo, Prof. José Meiches, que as pesquisas fossem realizadas de modo a constituírem um avanço tecnológico em nosso meio, servindo de padrão para estudos análogos requeridos para outros projetos em perspectiva em nosso país, bem como em outros países banhados por águas tropicais.

Além disto, decidiram as referidas autoridades desenvolver pesquisas e elaborar especificações sobre os materiais e as técnicas construtivas disponíveis em nosso meio para a construção de emissários submarinos, a fim de poder-se convocar e julgar conveniente e eficientemente as concorrências públicas para a execução deste tipo especializado de obra

marítima.

Para a realização desta tarefa, a SBS decidiu mobilizar os recursos materiais e humanos disponíveis em diversos órgãos de Pesquisa do Estado de São Paulo. Sob a orientação e coordenação do Prof. Antonio Garcia Occhipinti, foi constituído um grupo de trabalho formado por técnicos e especialistas dos seguintes órgãos:

- CETESB – Centro Tecnológico de Saneamento Básico do FESB, cuja equipe é liderada pelo Eng^o Sebastião Gaglianone;
- I.E.A. – Instituto de Energia Atômica da USP, cuja equipe é liderada pelo Físico Wladimir Sanchez;
- I.O. – Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, dirigida pelo Almirante Alberto dos Santos Franco, cedeu o barco oceanográfico “Emília” com sua tripulação, equipamento e instrumentos.
- D.H.N. – Diretoria de Hidrografia e Navegação do Ministério da Marinha, autorizou a realização das pesquisas na Baía de Santos e a instalação de um anemômetro no farol da Ilha da Moela.

3 – PROGRAMA DE INVESTIGAÇÕES

As investigações oceanográficas foram iniciadas em outubro de 1971, devendo estender-se até setembro de 1972, completando o ciclo de um ano.

São realizadas, em média, 3 tipos de campanhas de investigação por semana, cada qual em um dia separado, com duração de sol a sol, a saber:

- a) Campanha de determinação do declínio bacteriológico;
- b) Campanha de medição de correntes e da estrutura vertical das águas;
- c) Campanha de medição do processo de mistura oceânica.

4 – EQUIPAMENTOS

4.1 – O Barco Emília

Os 3 tipos de campanhas vêm sendo realizadas com o apoio do Barco Emília do I.O. da USP, cujas características são as seguintes:

- Tipo** – Traineira com casco de madeira.
- Dimensões** – Comprimento: 15,40 m; boca: 3,52 m; pontal: 1,65 m; contorno: 5,53 m
- Tonelagem** – Bruta: 16,3 t; líquida: 7,6 t; carga máxima: 15 t.
- Propulsão** – Hélice acionada por máquina central GM Diesel 165 HP; 3 geradores.
- Velocidade** – Máxima: 12 nós; econômica: 8 nós.
- Equipamento** – Guincho hidráulico, turco com polia-conta voltas, radiotelegrafia, câmara isotérmica para material biológico, ecosonda “linha branca” “Asdic” com ecosonda vertical e horizontal, radar tipo Furuno, bússola, termômetro, barômetro, adômetro, anemômetro, estaciômetro.

Tripulação – 3 homens: 1 mestre, 1 motorista e 1 moço de convés.

4.2 – Instrumentos

4.2.1 – Instrumentos Metereológico-Oceanográficos

- 1 Anemôgrafo Lambrecht, instalado na Ilha da Moela
- 1 Anemômetro, utilizado a bordo do Emília.
- 1 Correntômetro Ekman.
- 1 Correntômetro, Savonius Rotor, Hydro Products, modelo 460 e 465 A, com potencímetro 400 A.
- 1 Correntômetro, Savonius Rotor, Hydro Products, modelo 501 B, registrador de direção e velocidade das correntes e de temperatura d'água, com autonomia de 30 dias.
- 8 Corpos à deriva feitos de PVC e balanceados com chumbo de caça, para medir correntes em superfície, 1 e 3 metros de profundidade.
- 1.000 Cartões à deriva, em plástico, de 10 x 10 cm, balanceado com chumbo de caça.
- 1 Garrafa de Nansen.
- 3 Termo-salinômetros para medições "in situ", modelo RS 5 - 3, Beckman.

4.2.2 – Instrumentos para Investigações com Radioisótopos

- 1 Injetor de solução radioativa.
- 2 Integradores, Scaler, marca Basc.
- 2 Registradores gráficos Rustrak.
- 2 Rate-meter, BASC
- 2 Sondas Detetoras de Cintilação, com Cristal de NaI(Tl).
- 1 Registrador digital, TMC

4.2.3 – Equipamento de Navegação e Posicionamento

- 2 Sextantes.
- 1 Estaciógrafo.
- 2 Walkie-talks
- Cartas Náuticas da Baía de Santos.
- 1 Escobatímetro FG-11, Mark-3.
- 1 Radar Furuno modelo FRA-10.

4.2.4 – Equipamento de Coleta de Amostras Químicas e Bacteriológicas

- 2 Caixas contendo cerca de 60 vidros com tampa esmerilhada.
- 3 Containers de isopor para refrigeração de amostras.
- 10 Pipetas de diferentes volumes.
- Diversos reagentes para fixação de amostras.
- Membranas filtrantes.
- Membranas dializadoras.

5 – EQUIPE TÉCNICA

As investigações e os estudos estão sendo realizados pela seguinte equipe:

Orientador e Coordenador Geral: Prof. Dr. Antonio Garcia Occhipinti, Professor Titular do Depto. de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo e Consultor Contratado da SBS.

Equipe do CETESB: Centro Tecnológico de Saneamento Básico.

Dr. Sebastião Gaglianone - Diretor da Divisão de Laboratórios Gerais.

Eng^o - Ernesto W. Fredricksson

Eng^o - José Luiz Pimentel Amorim

Eng^o - Jurandir Martinez

Eng^o - Karoly A.P. Prager

Bióloga Maria Therezinha Martins

Químico João Ruocco Jr.

Químico Luiz Roberto Baldo

Téc. Químico Jorge Leite Cordeiro

Téc. Químico Victor Mário Facciolla

Equipe do INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA

Dr. Wladimir Sanchez - Diretor da Divisão de Aplicação de Radioisótopos na Engenharia e na Indústria.

Eng^o - José Leomax dos Santos

Eng^o - Cláudio Szulak

Eng^o - Antonio Martins de Albuquerque

Eng^o - José Paulo Kosmiskas

Eng^o - Hiroshi Oki

Eng^o - Taiziro Ohara

Eng^o - Mohsen Mohamed Abdel Moneim Said

Físico Silvio Nakahira

Físico Luiz Fredie Daniek

Eng^o - Antônio Carlos Castagnet

Eng^o - Edmundo Garcia Agudo

6 – A ÁREA DE ESTUDO

A área de estudos é representada na ilustração 1, compreendendo a Baía de Santos, a linha cogitada para implantação do emissário e o atual ponto de descarga dos esgotos na Ponta de Itaipu.

7 – DESCARGA ATUAL E DESCARGA DE PROJETO

A tabela abaixo reproduz as vazões médias e máxima atualmente descarregadas na Ponta de Itaipu e no futuro emissário submarino de esgotos.

DESCARGAS DE ESGOTOS ATUAIS E FUTURAS

| Ano | Lançamento no Itaipu | | Lançamento Submarino Previsto na Baía de Santos | |
|------|----------------------|---------------|---|---------------|
| | Média l/s | Máxima l/s | Média l/s | Máxima l/s |
| 1970 | 457 | 634 | 707 | 946 |
| 1975 | 536 | 762 | 833 | 1.146 |
| 1980 | 268 | 429 | 1.472 | 2.021 |
| 1985 | 0 | 0 | 2.094 | 3.014 |

8 – PESQUISAS BACTERIOLÓGICAS

As pesquisas bacteriológicas estão sendo desenvolvidas com o propósito de avaliar o poder bactericida das águas receptoras, determinando-se a lei de decaimento bacteriológico e o valor dos seus principais parâmetros:

- taxa de declínio exponencial
- taxa de declínio da fase resistente
- tempo de retarde.

Foram utilizados 2 técnicas:

- determinação do declínio bacteriológico "in situ" pelo acompanhamento e traçamento da mancha de esgotos.
- ensaios em membranas dializadoras imersas na área cogitada para o lançamento.

8.1 – Declínio Bacteriológico "In Situ"

8.1.1 – Área Investigada

O atual lançamento de esgotos é efetuado na Ponta de Itaipu (ver ilustração 1). A descarga é efetuada superficialmente escoando de um canal para o mar sobre as rochas. A descarga é difusa e irregular. As investigações do declínio bacteriológico foram efetuadas a partir deste lançamento.

8.1.2 – Descarga Observada

Durante as investigações bacteriológicas foram efetuadas medições de descarga por meio de técnicas radioisotópicas. As descargas observadas variam entre 400 e 950 l/s.

8.1.3 – Concentração de Coliformes nos Esgotos

As concentrações de coliformes nos esgotos foram determinadas em amostras coletadas logo a montante do lançamento e no mar junto ao ponto de lançamento.

A concentração nos esgotos varia de 8.0×10^7 a 4.0×10^8 colis/100 ml e seu valor médio é de 3.0×10^8 colis/100 ml. A diluição inicial observada varia de 2 a 8 partes; a concentração inicial no mar varia, portanto, de 1.0×10^7 a 2.0×10^7 colis/100 ml.

8.1.4 – Técnica Utilizada para Determinação do Declínio Bacteriológico "In Situ"

Coletando-se amostras ao longo do percurso do campo de esgotos lançado continuamente na Ponta de Itaipu, pode-se determinar a redução total da concentração de coliformes devido essencialmente à superposição dos seguintes processos:

- sedimentação
- declínio bacteriológico
- misturação oceânica

Lançando-se um traçador com os esgotos, é possível determinar-se a redução devido ao último processo, restando a superposição dos 2 primeiros.

O efeito da sedimentação é significativo principalmente nas proximidades do ponto de lançamento, diminuindo ao longo da trajetória do campo de esgotos.

Foram eleitos 3 tipos de traçadores para a determinação da diluição física devido ao efeito da misturação oceânica:

- o isótopo radioativo ^{82}Br
- os corantes rodamina B ou fluoresceína
- o fósforo do próprio esgoto

Levando-se em conta critérios econômicos, de toxidez, sensibilidade de detecção, precisão nas medições e tempo de amostragem, preparou-se uma solução de traçadores visuais (rodamina B ou fluoresceína) e radioativo (^{82}Br) para ser lançada no "shaft" junto com o esgoto. A atividade de 1,0 Ci de ^{82}Br contida em uma grama de NH_4Br , foi dissolvida em 1/2 de litro de tiosulfato de sódio (solução a 10%) e em seguida adicionada a 1/2 litro de cloreto de sódio a 10%. Esta solução radioativa é juntada em um volume contendo uma solução saturada de rodamina B ou de fluoresceína.

A mistura de traçadores corantes e radioativos é lançada no "shaft" em injeções instantâneas para evitar os efeitos de acumulação. A distância entre o ponto de lançamento dos traçadores e o local onde o esgoto é despejado no mar é suficiente para que haja boa homogeneização. Em um instante imediatamente anterior ao despejo da mistura de traçadores

no mar, coletam-se amostras de esgoto para que sejam determinadas as concentrações originais de Coli, de Fosfato e de ^{82}Br . Estas concentrações são indicadas:

$$\begin{aligned} C_{E-\text{Coli}} &= \text{concentração de Coli no esgoto;} \\ C_{E-\text{P}} &= \text{concentração de Fosfato no esgoto;} \\ C_{E-\text{Br}} &= \text{concentração de Bromo no esgoto.} \end{aligned}$$

Quando os traçadores atingem o mar, inicia-se a diluição física por misturação oceânica. Neste instante devem ser coletadas novas amostras de água para a determinação da concentração inicial de Coli e Fosfato. A concentração inicial de ^{82}Br é medida com o auxílio de dois detetores de cintilação posicionados na borda de boreste do barco a uma profundidade de 60 cm e outro a 1 metro.

Antes da chegada dos traçadores, o detetor de radiação conta apenas certo número de fótons gama provenientes da radiação cósmica e radioatividade natural da água. Esta taxa de contagem n' é chamada "background" ou contagem de fundo e pode ser considerada como uma constante. Ao chegar a solução radioativa ao mar, a taxa de contagem aumenta para um valor n , correspondendo a uma concentração C . Dentro de um grande intervalo de concentrações, pode-se afirmar que,

$$C = \frac{n - n'}{S} \text{ } (\mu\text{Ci}/\text{m}^3)$$

onde

S é a sensibilidade do detector expressa em contagem por minuto, por microcurie de atividade e por metro cúbico de água.

$(n - n')$ é a taxa de contagem efetiva (contagens/minuto)

O barco é posicionado junto à saída do esgoto de modo a deixar os detetores voltados para as linhas de propagação da mistura esgoto-corante-solução radioativa. A propagação desta mistura está vinculada à distribuição de velocidades da corrente, avançando mais rapidamente nos pontos de maior velocidade. Os medidores de radiação detetam inicialmente a "cabeça" da onda que vai crescendo, passa por um máximo e decresce lentamente deixando uma longa "cauda". No instante em que os detetores de radiação acusam a passagem do máximo da onda ativa, são coletadas amostras d'água para a determinação da concentração inicial C_0 . Neste exato instante, em operações simultâneas, são lançados à água corpos e cartões à deriva que servem de indicadores visuais para facilitar a localização da região onde se encontra a máxima concentração de radioatividade ao longo do traçamento do campo de esgotos.

À medida que a mancha esgoto-corante-solução radioativa se desloca, ela é seguida pelo barco, medindo-se ao longo de sua trajetória, em função do tempo, a máxima concentração de traçador radioativo e coletando em média de 15 em 15 minutos, 4 amostras d'água para a determinação, em laboratório, da concentração de fosfato e E. Coli.

O traçamento da mancha permite determinar o decréscimo das concentrações devido à

diluição pelo processo físico de mistura oceânica e o decréscimo total de Colis em função do tempo de residência do esgoto nas águas receptoras.

A colimetria das amostras coletadas nos pontos de máxima concentração do traçador radioativo medirá o decaimento total dos coliformes, resultante da superposição dos dois efeitos: mistura oceânica e declínio bacteriológico associado com a sedimentação. Junto com as concentrações de E. Coli, determinam-se as concentrações de fosfato CP, que também funciona como traçador, para avaliação da diluição. Sendo o fosfato um componente dos esgotos, permite verificar as eventuais alterações no campo de esgotos nas proximidades da fonte de descarga.

O declínio bacteriológico é medido em cada ponto, ao longo da trajetória da mancha, a partir das 2 relações

$$CB(t) = CT(t) \frac{CP(o)}{CP(t)}$$

$$CB(t) = CT(t) \frac{CBr(o)}{CBr(t)}$$

onde

CB(t) = redução da concentração de coli devida ao declínio bacteriológico, no instante t.

CT(t) = concentração de coliformes medidas no mar, no instante t.

CP(t) e CP(o) = concentração de fosfato no instante t e no instante t = 0.

CBr(t) e CBr(o) = concentração de ⁸⁶Br no instante t e no instante t = 0.

O campo de esgotos é seguido até que se aproxime da costa ou até o nível de detecção do isótopo radioativo. As campanhas duram de 3 a 6 horas

Até o presente foram realizadas cerca de 30 campanhas de declínio bacteriológico

O deslocamento da mancha é detetado usualmente pelos traçadores corantes e pelos corpos e cartões à deriva lançados no centro da nuvem radioativa e, sensorialmente, pelos cintiladores localizados a bordo

O campo de esgotos, devido a sua menor densidade e por ser lançado em superfície, mantém-se ao longo da trajetória na superfície, difundindo-se verticalmente em uma profundidade inferior a 50 cm

Os pontos de amostragem são determinados por triangulação e mapeados, visando-se com o radar ou com sextantes as pirâmides de uma rede de triangulação especialmente estabelecida na costa.

A título de exemplo apresentam-se graficamente os resultados da campanha do dia 18/5/72, constando

- da ilustração 2: a curva de decaimento total e de declínio bacteriológico.
- da ilustração 3: as curvas da diluição física por misturação oceânica, do ^{62}Br .

8.1.5 – Análise Química dos Fosfatos

O método utilizado pelo Laboratório Físico-Químico do CETESB na determinação quantitativa do orto-fosfato solúvel em águas do mar e nos esgotos baseia-se na reação com o molibdato de amônio e antiamônio tartarato de potássio, em meio ácido, e posterior redução do produto da reação com o ácido ascórbico. O referido método permite a detecção com segurança de $50 \mu\text{g/l}$ de orto-fosfato PO_4^{3-} , numa faixa de utilização até $450 \mu\text{g/l}$.

O procedimento analítico para determinação do orto-fosfato-solúvel obedeceu rigorosamente ao Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - 13th Edition (que corresponde basicamente ao método descrito no "A Manual of Sea Analysis", Bulletin nº 125, by J.D.H. Strickland and T.R. Parsons).

As amostras coletadas em frasco âmbar de boca larga, são imediatamente preservadas com a adição de uma solução de cloreto-mercúrio, em uma concentração de 40 mg/l e congeladas a 10°C em salmoura (3 gelo; 1 sal de cozinha). Entre a coleta e a análise de laboratório, em média, o tempo decorrido é de 9 h. As amostras ao chegarem ao laboratório são degeladas e filtradas em membranas filtrantes de $0,45 \mu$, procedendo-se no filtrado à determinação do orto-fosfato (PO_4^{3-}) solúvel.

Considerando-se os baixos níveis de fosfatos a serem detetados em determinadas estações de amostragem, deu-se preferência ao vasilhame de vidro (previamente lavado com ácido clorídrico diluído a quente e posteriormente com água destilada), em vez do vasilhame de plástico, para contornar a possibilidade dos fosfatos ficarem adsorvidos nas paredes do plástico.

8.1.6 – Determinação do Grupo de Bactérias Coliformes - Colimetria

Utilizou-se o método dos Tubos Múltiplos recomendado pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - 13th - Edition, 1971, (método padrão do Serviço de Saúde Pública dos Estados Unidos). O número mais provável de coliformes (NMP Coli Total/100 ml), foi determinado através do exame presuntivo (fermentação em Caldo Lactosado 24-48 horas, $35 \pm 0,5^\circ\text{C}$) e pelo exame confirmativo (fermentação em meio de verde brilhante bile 2%, 48 h, $35 \pm 0,5^\circ\text{C}$).

As amostras coletadas em frascos estéreis foram preservadas em geladeiras de Isopor com gelo, desde o início da coleta até a chegada ao Laboratório (em média, 9 horas).

Em cada estação são coletadas 3 amostras independentes.

Para a análise, cada amostra é triplicada. As amostras são coletadas ao longo da mancha de 15 em 15 minutos durante 4 a 6 horas.

8.1.7 – Resultados

Os resultados obtidos até o presente revelam que os parâmetros de declínio bacteriológico

nas águas do litoral santista apresentam grande variabilidade.

Na fase inicial do declínio exponencial o T-90 varia de 50 a 100 minutos, sendo geralmente antecedido por um tempo de retarde que varia de 20 a 80 minutos. A fase de declínio exponencial tem uma duração de 2 a 3 horas e é seguida por uma fase de declínio resistente, cujo T-90 varia de 100 a 300 minutos.

O declínio da fase exponencial é sem dúvida influenciado pela sedimentação, inicialmente mais intensa e atenuada ao longo da trajetória do campo de esgotos. Nesta fase o T-90 varia de 1 a 2 horas

As águas receptoras do litoral santista apresentam variações hidroclimáticas significantes ao longo do ano, que refletem:

- variações sazonais meteoro-climáticas
- alterações bruscas produzidas por perturbações meteorológicas transientes principalmente as frentes frias
- flutuações de amplitude das marés
- influência do estuário de Santos, por suas contribuições naturais e pela influência da ação do homem causando alterações na quantidade e qualidade da água principalmente devido as atividades portuárias e as descargas das Usinas da Light.

8.2 — Ensaio em Membranas Dializadoras

Simultaneamente com as determinações do declínio bacteriológico "in situ", foram realizados inúmeros ensaios com membranas dializadoras importadas especialmente dos EE UU para este fim. Os resultados obtidos com esta técnica são duvidosos e muito pouco significativos. Apesar de todos os cuidados tomados, as taxas de declínio bacteriológico observados, utilizando-se a técnica das membranas, apresentam-se muito baixas e algumas vezes nulas, não confrontando em nenhum caso com os parâmetros obtidos pela técnica do traçamento do campo de esgotos descrito no item 8.1.

9 — PESQUISAS OCEANOGRÁFICAS

9.1 — Campanhas Oceanográficas

As pesquisas oceanográficas vem sendo apoiadas em 2 tipos de campanha:

- campanhas de medição de correntes e da estrutura vertical das águas;
- campanhas de medição do processo de mistura oceânica.

Estas campanhas são realizadas semanalmente, cada qual em uma jornada de sol a sol.

A área de investigação é a Baía de Santos.

Na Ilustração 1 são localizadas as principais estações oceanográficas onde vem sendo realizadas as medições de corrente e da estrutura vertical das águas da Baía de Santos.

Em todas as campanhas oceanográficas são registrados continuamente os principais elementos que influenciam os processos em estudo, tais como:

- situação meteorológica sinótica
- condições de tempo local
- visibilidade
- nebulosidade, quantidade e tipo de nuvens
- ventos - direção e velocidade, observados na Baía de Santos e registrados na Ilha da Moela
- marés registradas no Porto de Santos
- estado do mar; altura e período das ondas
- precipitação.

9.2 – Estrutura Vertical das Águas

9.2.1 – Método de Medição

A estrutura vertical é determinada em cada estação medindo-se os perfis verticais de temperatura e de salinidade da superfície ao fundo, de metro em metro. As medições são efetuadas "in situ" com termo-salinômetro.

9.2.2 – Tratamento dos Dados

Os dados de temperatura e salinidade estão sendo digitalizados em cartões para seu processamento. A partir destes elementos vem sendo calculada a densidade da água ρ e o valor de σ_t definido pela relação

$$\sigma_t = (\rho - 1) 1000 \quad (\text{g/cm}^3)$$

Os perfis de temperatura T , salinidade S e de σ_t são traçados para todas as estações oceanográficas, devendo ser desenhados pelo computador.

9.2.3 – Resultados

Em condições meteorológicas normais, quando prevalece a circulação anti-ciclônica com ar tropical, nota-se em geral uma estratificação estável. A estabilidade cresce a partir da boca da baía em direção à entrada do estuário. Distinguem-se 2 camadas bem distintas: uma camada superficial menos densa formada pela água estuarina, menos salgada e mais quente e que se estende da superfície a uma profundidade que varia de 1 a 3 metros, separada de uma camada mais profunda formada em geral pela água costeira, mais fria e salgada e, portanto, mais densa. Estas 2 camadas básicas são separadas pela pycnoclina. A influência da termoclina é menor e menos estável, ocorrendo não raramente o seu desaparecimento, principalmente durante os meses de inverno em que a coluna vertical tende a ser praticamente isotérmica. No inverno constata-se até algumas inversões de temperatura, com uma camada superficial de 0 a 3 metros de profundidade, 1 a 2°C mais fria que a de fundo.

Com a passagem de perturbações transientes que atingem a costa sul do Brasil, principalmente as frentes frias ou outros tipos de perturbações derivados deste tipo principal, a

estrutura vertical estável é completamente destruída por intensa mistura turbulenta ao longo de toda a coluna vertical. A coluna torna-se homogênea. Com o retorno à condição normal onde prevalece a brisa marítima, a estratificação é restituída.

Em algumas circunstâncias intermediárias, deteta-se uma camada de transição entre as 2 camadas básicas com características intermediárias.

CARACTERÍSTICAS DA ESTRUTURA VERTICAL DAS AGUAS DA BAIA DE SANTOS

(valores típicos observados)

| ESTRUTURA VERTICAL | Na Boca do Estuário | | | | No Centro da Baía | | | |
|---------------------------|---------------------|-------|------|------------|-------------------|-------|------|------------|
| | ΔZ (m) | T(°C) | S(‰) | σ_t | ΔZ (m) | T(°C) | S(‰) | σ_t |
| 1. Estratificação Estável | | | 29.0 | 19.5 | 0 | 23.5 | 28.0 | 18.5 |
| Camada Superficial | 0 a 2 | 24.5 | 30.0 | 20.0 | 2 | 25.0 | 33.0 | 22.0 |
| Camada Profunda | 4 a 20 | 24.5 | 33.5 | 22.5 | 2 a 10 | 25 | 33.0 | 22.0 |
| Camada Homogênea | — | — | — | — | 0 a 10 | 25.0 | 34.0 | 22.5 |

Na boca do estuário há sempre estratificação estável.

Na ilustração 4 apresentam-se perfis verticais típicos de temperatura, salinidade e σ_t no meio da baía e na boca do estuário.

9.3 – Circulação das Águas

9.3.1 – Medição das Correntes

As correntes foram observadas na Baía de Santos pelos seguintes processos:

- cartões à deriva
- corpos à deriva
- traçamento com radioisótopos e corantes
- correntômetro e correntógrafo

Estes processos foram utilizados isoladamente e simultaneamente com o propósito de comparar seus dados de testar sua precisão e significância.

Na fase inicial das pesquisas foram utilizadas combinações dos 3 primeiros processos e na fase atual vêm sendo utilizados os 2 últimos isolados e combinados.

Tanto os cartões à deriva quanto os corpos à deriva foram projetados e construídos sob a orientação da equipe de pesquisa.

Todos os processos utilizados mostraram-se satisfatórios, sendo os 2 últimos os mais precisos. Os cartões à deriva são a única exceção, principalmente nos dias com vento moderado a forte em que sofrem o efeito de deriva de vento.

Nos 3 primeiros processos, segue-se com o barco os derelitos ou o núcleo das manchas de traçadores e determina-se a sua posição por triangulação com sextante ou radar colimando-se pontos conspícuos da Baía, de 15 em 15 minutos, e mapeando-se a seguir estas posições, computando-se os vetores velocidade média a partir dos vetores deslocamento e desenhando-se trajetórias.

O correntógrafo é utilizado para a amostragem da variação temporal da corrente em um ponto fixo onde é ancorado. O correntógrafo tem sido colocado durante 3 dias de cada semana na camada entre 0 a 1 m de profundidade na área cogitada para o lançamento, registrando continuamente a direção e velocidade da corrente superficial e a temperatura da água.

O correntômetro vem sendo utilizado para a amostragem espacial do campo de correntes. O instrumento é mergulhado da superfície ao fundo registrando de metro em metro a direção e velocidade das correntes em todas as 7 estações oceanográficas da baía.

9.3.2 – Tratamento de Dados

Os dados obtidos são posicionados e mapeados a bordo.

São traçados perfis verticais das observações correntométricas e os vetores velocidade da corrente são mapeados em planta.

Para cada campanha, correlaciona-se as correntes observadas com a estrutura vertical das águas, os ventos, as marés, o estado do mar e as condições sinóticas.

Esta metodologia constitui a base dos estudos oceanográficos e enseja o estudo compreensivo e racional da circulação das águas a partir de uma estatística de suas causas.

9.3.3 – Resultados Obtidos

As pesquisas das correntes até agora realizadas permitem antecipar os seguintes resultados:

– em geral a afluência das águas costeiras na baía se faz pelo fundo nas camadas abaixo de 2 m de profundidade e a afluência se verifica de preferência nas camadas superficiais.

– em condições metereológicas normais, as correntes são governadas principalmente pelas marés; na maré vazante verifica-se uma efluência em toda a baía e ao longo de toda a coluna vertical d'água; na maré enchente a afluência ocorre pelo fundo até a profundidade de 1

50 vezes, são necessárias cerca de 3 horas.

Na investigação do dia 5 de maio de 1972, obteve-se no meio da Baía de Santos um diluição de 10 partes em 35 minutos e de 100 partes em cerca de 155 minutos (ver ilustração 7).

No momento estão sendo processados os dados para avaliação dos coeficientes de difusividade vortical lateral e para estabelecer-se a lei de variação destes coeficientes.

10 – EFICIÊNCIA DA CLORAÇÃO

A fim de verificar-se a eficiência da cloração do esgoto, e o seu comportamento quando lançado no mar, foi estabelecida uma programação de experiências, "em laboratório" e "in situ", tendo em vista obter-se uma simulação tanto quanto possível com as prováveis condições reais de lançamento.

Partiu-se do princípio de que o emissário terá 4,5 km, partindo da atual Estação Central de Recalque do José Menino, em Santos, seguindo na direção Sul até o meio da Baía de Santos. O diâmetro terá 1,5 m e no "borbulhamento" (boil), a diluição será de 1 : 100 na superfície do mar. O esgoto bruto sofrerá apenas um tratamento preliminar.

Estimou-se em 1 hora o tempo aproximado de caminamento do esgoto no emissário, da Usina ao "borbulhamento".

10.1 – Experiências em Laboratório

a) Relação qualidade do esgoto, dose de cloro, cloro residual e tempo de contato.

Quanto à qualidade do esgoto, pelas próprias condições de projeto, são muito variáveis, uma vez que está previsto o seu lançamento sem tratamento primário. Para a condução das experiências, foram coletadas amostras de esgoto bruto na saída das bombas de recalque do José Menino, quando em condições normais de funcionamento.

As amostras de esgoto foram arejadas por 10 minutos no laboratório e submetidas às dosagens variáveis de cloro (água de cloro). De 10 em 10 minutos foi determinado o cloro residual total pelo processo Amperométrico, Iodeto - Fenilarsina, segundo o Standard Methods 13ª edição (águas poluídas).

Foi obtida uma série de curvas, conforme mostra o gráfico da ilustração 9. No gráfico, verifica-se que a partir de doses de 10 mg/l de cloro, obtém-se residuais por um tempo apreciável, (dosagens menores de cloro forneceram residual nulo). Nota-se, entretanto, que o declínio dos residuais é pronunciado para todas as dosagens, o que difere do gráfico obtido na técnica de cloração de esgotos tratados, conforme se verifica nos trabalhos de R.E. SELLECK, onde os residuais permanecem praticamente constantes ao longo do tempo.

b) Redução de coliformes totais em função da dose inicial e tempo de contato.

Adotando-se procedimento análogo ao anterior para várias doses de cloro e ao longo do

tempo, colheu-se amostras para exame bacteriológico, extinguindo-se no ato o residual de cloro com solução de tiosulfato de sódio. Em cada amostra, fez-se uma série de três exames bacteriológicos (NMP - Coliformes totais), adotando-se a técnica de tubos múltiplos. Obteve-se os gráficos da ilustração 10, onde se pode prever o declínio bacteriológico pela ação de uma determinada dose de cloro, em função do tempo de contato. Observa-se que, após o cloro residual tornar-se nulo, a colimetria permanece praticamente no mesmo nível por um tempo apreciável.

c) Comportamento do esgoto bruto e clorado quando lançado no mar.

Para simular em laboratório o comportamento do esgoto na água do mar, foram preparadas diversas misturas de esgoto e água do mar num volume de 4 litros e realizadas exames bacteriológicos (coliformes totais), empregando-se a técnica de tubos múltiplos e ensaios em triplicatas.

Foram feitas experiências com misturas de 1 : 10, 1 : 100 e 1 : 500 de esgoto-água. (Coletou-se águas de diversas procedências: canal de ligação do estuário com a Baía de Santos, do meio da Baía e de ponto fora da Baía). Na ilustração 11, apresenta-se a redução de coliformes com diluição de 1 : 10.

O esgoto foi submetido a um arejamento de 10 minutos: uma fração foi clorada (água de cloro) com dose de 20 mg/l de cloro e submetida a uma agitação de 1 hora. Logo em seguida foram preparadas as diversas diluições, tomando-se o cuidado de adicionar tiosulfato de sódio para evitar uma possível atividade do cloro após a misturação.

Na ilustração 12, apresentamos o gráfico dos resultados correspondentes a uma mistura 1 : 100 com uma água colhida no meio da Baía de Santos. Na ocasião, a água do mar deste local encontrava-se bastante contaminada (influência das correntes provenientes do estuário), conforme se constata pelo exame bacteriológico ($1,3 \times 10^4$ coli total/100 ml); a salinidade apresentava valor $S = 26,5\%$, BOD = 3,0 mg/l e DQO = 72 mg/l.

Nota-se pelas curvas obtidas não ter havido crescimento posterior de coliformes, e que a curva que representa a mistura esgoto-clorado e água do mar tende a acompanhar a curva obtida para a mistura esgoto-bruto e água do mar.

Os gráficos obtidos com outras diluições e outros corpos receptores apresentaram as mesmas tendências. Destacamos que as amostras de águas do mar em geral apresentavam BOD baixo (1,7 mg/l e 0,6 mg/l).

Constatou-se ter havido pequenos "crescimentos-posteriores" (aftergrowth), principalmente na diluição de 1 : 10, mas em níveis não significativos. As curvas de decaimento da mistura com o esgoto clorado foram sempre paralelas às curvas de decaimento da mistura com o esgoto bruto.

Na série de experiências realizadas, verificou-se que não há condições para um desenvolvimento posterior de bactérias (aftergrowth) quando diluídas em 1 : 10, 1 : 100 e 1 : 500 em águas de diversos pontos da Baía de Santos (entrada do estuário, meio da Baía e a 5 km no oceano).

Devemos assinalar que o BOD dos corpos receptores foram sempre baixos e inferiores a 10 mg/l.

Os resultados obtidos estão em concordância com a suposição de que existe um nível crítico entre zero e 10 mg/l de BOD inicial no qual o "crescimento posterior" (aftergrowth) ocorre segundo Hugh, P. Savage.

10.2 – Determinação "In Situ"

São imprescindíveis as verificações em condições reais de lançamento e seu confronto com os resultados de laboratório

Segundo as observações de G.E. BROWNING, as amostras de esgoto clorado em laboratório não dão resultados comparáveis com os obtidos em câmaras de contato. Observou este autor que também são necessários vários dias para que uma alteração na dose de cloro produza uma modificação correspondente e no declínio bacteriológico, havendo necessidade de aclimatação.

O atual lançamento de esgoto da cidade de Santos, na Ponta do Itaipu, poderá ser utilizado para simular as condições reais. Está sendo montado um equipamento de cloração para permitir um estudo "in situ" e avaliar o comportamento do esgoto clorado lançado no mar, onde os esgotos experimentam condições dinâmicas de diluição e misturação, permitindo constatar o comportamento do declínio ou do crescimento bacteriológico ao longo da mancha, após a cloração prévia dos esgotos.

11 – MATERIAIS E TÉCNICAS CONSTRUTIVAS

Paralelamente às pesquisas bacteriológicas e oceanográficas, vêm sendo efetuados ensaios, preparadas especificações e realizados estudos sobre materiais e técnicas construtivas de emissários submarinos e difusores.

12 – MODELO DE OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE DISPOSIÇÃO OCEÂNICA DE ESGOTOS

Estão sendo desenvolvidos 2 modelos analíticos visando a otimização do sistema de disposição oceânica de esgotos:

- modelo para o dimensionamento e a análise do desempenho dos difusores.
- modelo de otimização.

O modelo de dimensionamento dos difusores é baseado nos estudos empírico-teóricos de Abraham, Fan, Brooks e Cederwall levando em conta jatos turbulentos submersos. O modelo dimensiona o difusor e ensaia o seu desempenho para todas as condições oceanográficas observadas. Trata-se de um modelo de simulação que tem como entrada as características hidráulicas do difusor, a estrutura vertical das águas, a profundidade e fornece o nível de estabelecimento do campo de esgotos, a diluição inicial, a distribuição vertical de densidade e as características físicas do jato submerso.

O modelo de otimização é um modelo de programação não linear, com restrição, resolvido por técnica de busca direta. Tem como dados de entrada os padrões de qualidade da água, as funções físicas e bacteriológicas que governam a concentração de coliformes ao longo de sua trajetória, função da eficiência de tratamento, os custos anuais e de capital do sistema de tratamento, de recalque e mergulho e do sistema emissário submarino - difusor.

A otimização permite determinar a combinação técnica e economicamente mais eficiente do sistema de tratamento, sistema de recalque e mergulho e sistema emissário - difusor.

13 – APRESENTAÇÃO FINAL DOS ESTUDOS

Os estudos resumidos nesta nota técnica deverão estar concluídos até julho de 1973.

Todos os dados, as análises, os resultados, as conclusões e recomendações serão condensadas em um relatório final, onde constarão, em detalhes, as técnicas e a metodologia das pesquisas e estudos realizados, os resultados experimentais e uma crítica dos métodos e resultados.

Constará ainda do relatório final o ensaio e os resultados dos modelos de simulação e de otimização.

14 – CONCLUSÕES PRELIMINARES

No momento, as pesquisas estão ainda em realização.

Há uma grande massa de dados que foram coletados durante os últimos 13 meses, incluindo dados de termo-salinometria coletados anteriormente e que estão sendo analisados e processados.

Os estudos até agora realizados permitem antecipar os seguintes resultados preliminares:

a) O lançamento de esgotos na Baía de Santos é viável; este só se tornou viável em face à existência da contra-corrente de declive ou de compensação em superfície, dirigida do centro da baía em direção ao mar aberto, em cerca de 90% do tempo.

b) O campo de esgotos deverá estabelecer-se preferencialmente na camada superficial, acima da pycnoclina, por ser a camada que escoava quase permanentemente mar afora.

c) Os difusores deverão ser dimensionados a fim de manter um gradiente de densidade, no borbulhamento do campo de esgotos, inferior a $0,5 \text{ kg/m}^3$, condição limite para que o escoamento gravitacional seja crítico; a diluição inicial não deve ser inferior a 50.

d) As experiências de mistura oceânica vêm revelando altos níveis de turbulência nas águas de superfície da Baía de Santos, atribuíveis aos fortes gradientes de velocidade; espera-se obter em média por mistura oceânica diluições de 10 partes em cerca de 1 hora e de 50 partes, de 3 a 5 horas.

e) O declínio bacteriológico apresenta 3 fases distintas:

- fase de retarde que varia de 20 a 80 minutos.
- fase de declínio exponencial, caracterizada por um T-90 médio de 75 minutos.

f) A concentração média de coliformes nos esgotos é de 3×10^8 coli/100 ml.

g) Em condições oceanográficas muito adversas, pode-se recorrer à redução da concentração de coliformes através de desinfecção por cloro; não se deve, entretanto, contar em termos técnicos e econômicos com redução, no esgoto submetido a tratamento preliminar, superior a 60.

A combinação dos fatores até agora determinados permite julgar que o emissário deverá ter um comprimento da ordem de 4 km e o difusor deverá ter comprimento superior a 200 m.

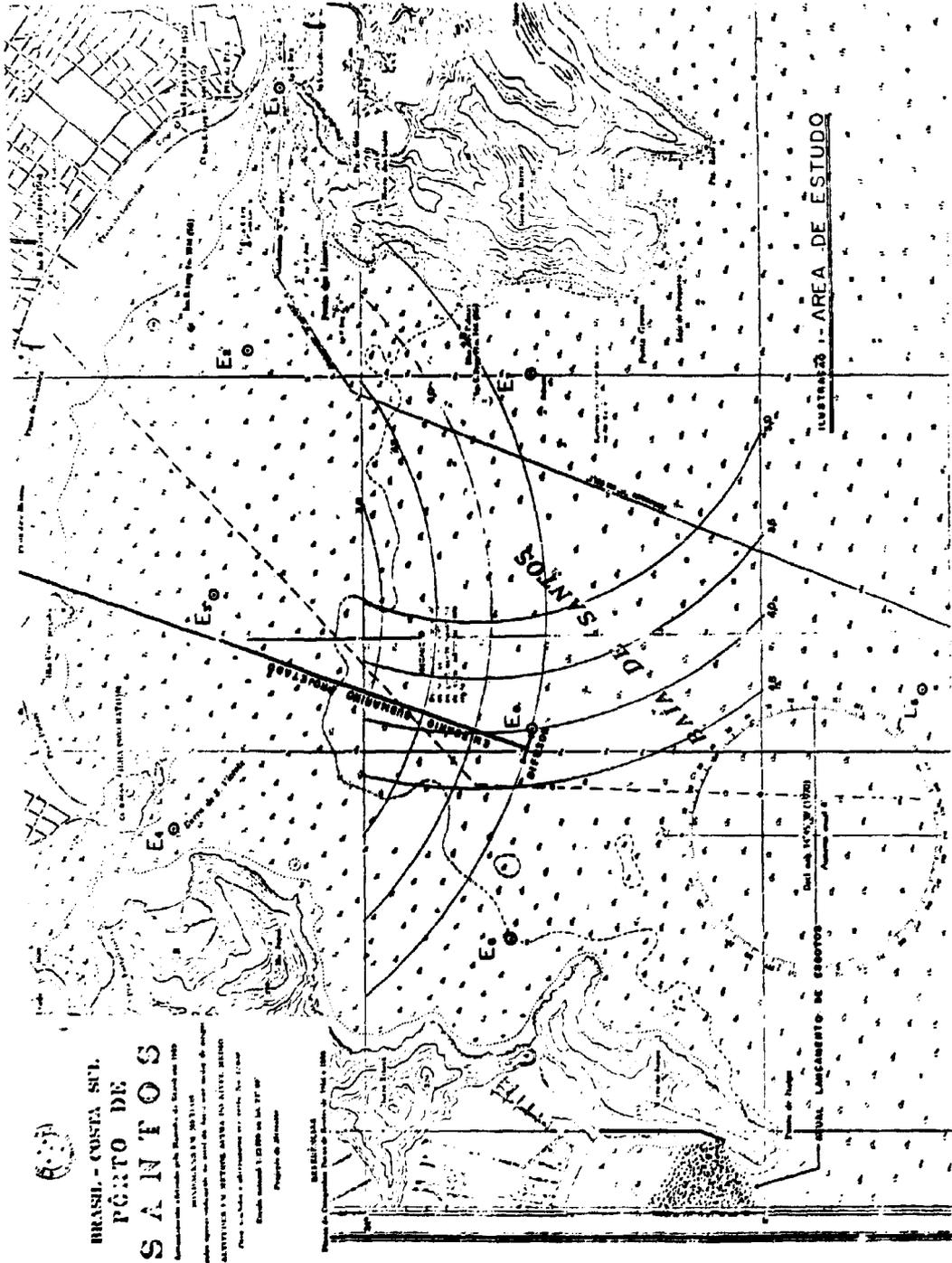
ABSTRACT

The authors described the plan of work and the preliminary results of oceanographic investigations for the implantation of the submarine out let for sewers entering the ocean at the José Menino beach and extending in the direction of the Santos Bay entrance. The overall plan of the Santos and São Vicente sewer system fixed four possible points for the placement of the placement of the drain, based on theoretical and empirical studies.

Because oceanographic and bacteriological investigations were indispensable for the project a study group was established consisting of personnel of the IEA and CETESB, and coordinated by Prof. Dr. ANTONIO GARCIA OCCHIPINTI, to study the pattern of bacteriological concentration in the waters near Itaipu Point and to measure currents and vertical water structure, the process of diffusion through oceanic mixing and physical dilution in the sewer and the efficiency of coloration. The results, although preliminary, permitted the anticipation of some conclusions and delimited the area where the investigation must be intensified.

RÉSUMÉ

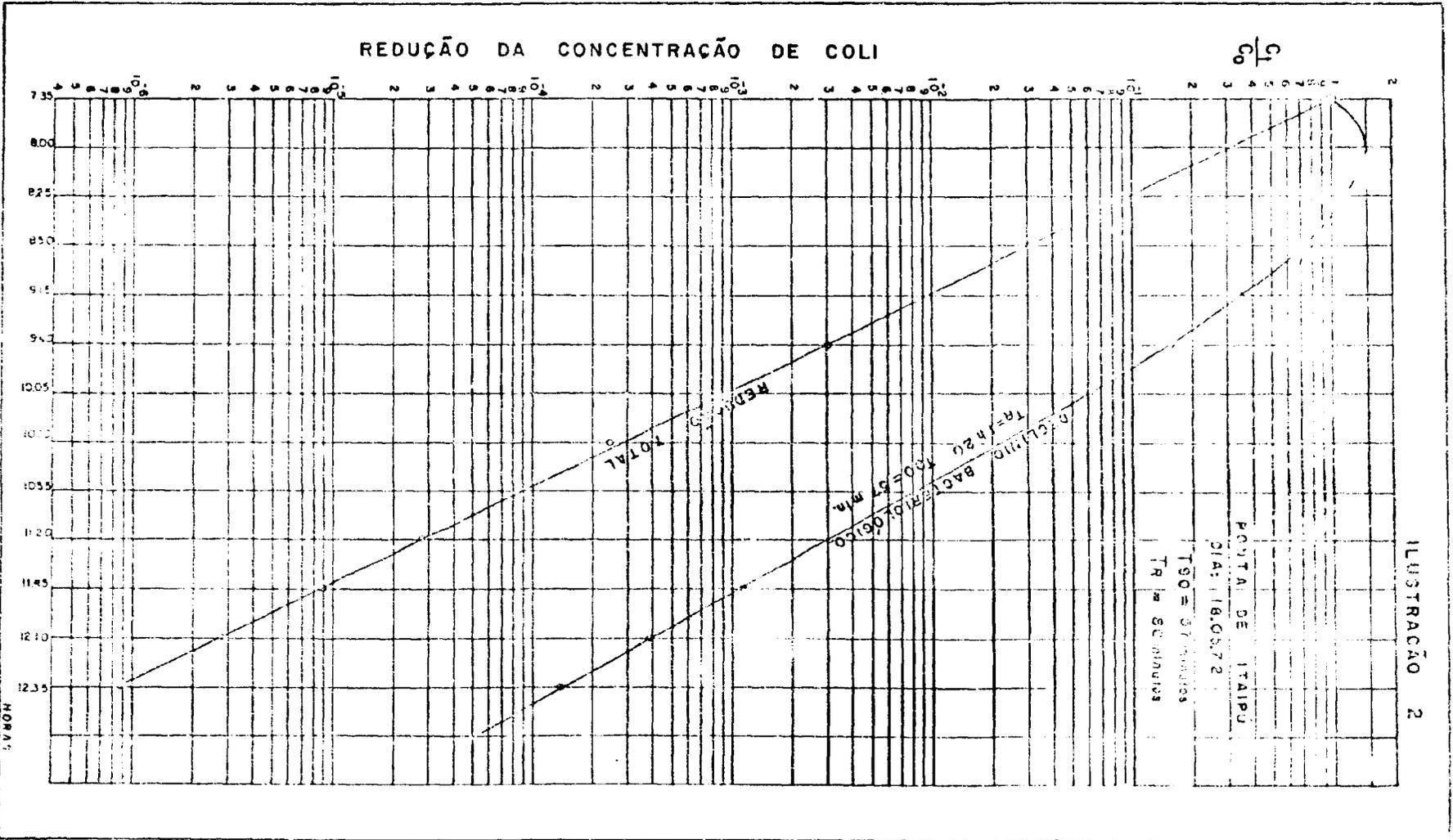
Les auteurs décrivent le plan de travail et les résultats préliminaires des investigations océanographiques pour le projet d'implantation d'un tube submarin des égouts plongé dans la plage du José Menino et qui s'étend en direction de la bouche de la Baie de Santos. Le plan directeur des égouts des villes de Santos et São Vicente, a fixé quatre points possibles pour le lancement de l'égout basé en études empiriques et théoriques. Vu que les investigations océanographiques et bacteriologiques sont indispensables au projet il a été nécessaire de constituer un groupe de travail formé par des techniciens de l'IEA et du CETESB et coordonné par le Prof. Dr. ANTONIO GARCIA OCCHIPINTI, pour étudier le déclin bacteriologique dans les eaux du littoral, au point de Itaipu, mesurer des courants, et la structure verticale des eaux, le processus de diffusion par mélange océanique et dilution physique des égouts, efficacité de la coloration. Les résultats, bien que préliminaires ont permis l'anticipation de quelques conclusions et une bonne délimitation de la surface où les recherches doivent être intensifiées.

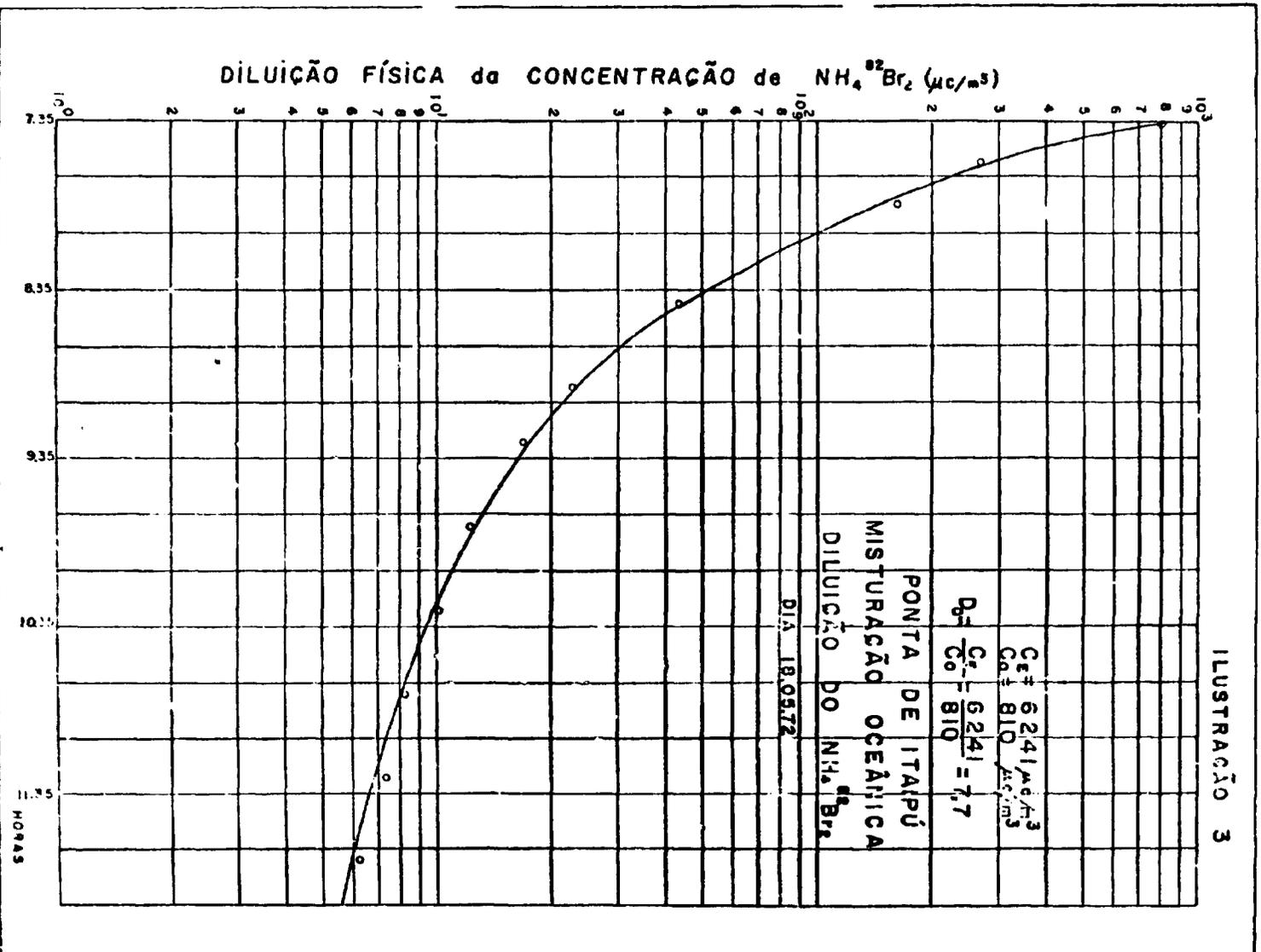


BRASIL - COSTA SUL.
PORTO DE
SANTOS

Escala horizontal 1:25 000 em lat. 23° S
 Propriedade do IBGE

ILUSTRAÇÃO 1 - AREA DE ESTUDO





metro e observa-se uma efluência na camada superficial de 0 a 1 m que circula da boca do estuário do porto contornando a baía de José Menino, baía afora na direção SSW; esta corrente favorável ao projeto é observada em cerca de 90% do tempo, mesmo com ventos locais do quadrante sul e tem uma velocidade média de 20 a 25 cm/s; trata-se de uma contra-corrente superficial de declive ou de compensação devido à elevação do nível d'água dentro do estuário.

— a condição mais desfavorável ocorre durante a passagem das frentes frias, cujas pistas de vento do quadrante sul, provocam a convergência das águas costeiras em direção à costa em toda a coluna vertical; esta situação agrava-se durante as horas de maré enchente de sizígia; esta situação foi observada 1 única vez e a corrente foi dirigida do meio da baía em direção à Ponta da Praia com uma velocidade média de 20 cm/s.

. 9.4 — Misturação Oceânica

9.4.1 — Considerações Iniciais

Entende-se por misturação oceânica o complexo de processos físicos que ocorrem nas águas do mar tendentes a homogeneizar ou uniformizar propriedades tais como a temperatura, a salinidade ou a concentração de um poluente.

O fenômeno da misturação oceânica é produzido essencialmente por dois processos físicos principais: a advecção (ou convecção) e a turbulência oceânica. Esta compreende a difusão turbulenta associada à difusão molecular.

A determinação da advecção requer a caracterização detalhada do campo de velocidade média. A determinação da turbulência oceânica exige a caracterização das flutuações aleatórias de velocidade.

O processo de misturação oceânica é bastante complexo e é praticamente impossível até o momento expressá-lo e interpretá-lo teoricamente.

A compreensão e a previsão deste fenômeno depende essencialmente de trabalhos experimentais realizados no mar.

9.4.2 — Observações com Traçadores Radioativos

O processo de misturação oceânica vem sendo estudado satisfatoriamente com o uso de traçadores que podem simular o comportamento de um campo de esgotos, formado no mar principalmente quando este atinge a superfície.

Objetivando simular o comportamento do lançamento de esgotos na Baía de Santos, estão sendo realizados, semanalmente, campanhas de observações da misturação oceânica através de injeções de solução radioativa de $\text{NH}_4^{65}\text{Br}$ na área cogitada para o lançamento e o subseqüente traçamento da onda radioativa gerada

A taxa de contagem pode ser medida em qualquer instante e em qualquer lugar da baía. Após o lançamento da solução de $\text{NH}_4^{65}\text{Br}$, segue-se com o barco o deslocamento da nuvem radioativa. Fixando-se um detetor junto à parte lateral do barco que se movimenta

constantemente, para dentro e para fora da nuvem radioativa, obtém-se dados suficientes para definir a distribuição da concentração do traçador ao longo do tempo. O posicionamento do barco em cada instante pode ser conseguido com o uso de radar, sextante ou teodolitos.

Antes do início de cada investigação, a solução radioativa é transferida da blindagem de transporte para os injetores, posicionados na popa do barco. A atividade de 1 Ci de ^{82}Br contida em 2 gramas de brometo de amônia é dissolvida em 1/2 litro de tiosulfato de sódio a 10%. Esta solução é introduzida no injetor, contendo 4 1/2 litros de água doce misturada com corante (rodamina ou fluoresceína), que servirá de guia visual durante o início dos cruzamentos da onda radioativa. Após suficiente diluição, o movimento do barco para dentro e para fora da onda radioativa, não perturbará o fenômeno de mistura oceânica e as medições podem ser iniciadas. Dois detetores são usados geralmente para medir a concentração da radioatividade: um posicionado a 60 centímetros abaixo da superfície da água e outro a 1,0 metro. Tempo, localização do barco e taxa de contagem são registrados a bordo em cada 15 segundos. As contagens da radioatividade, integradas durante 15 segundos, são impressas em uma fita de papel por uma unidade digital. O posicionamento do barco é realizado com auxílio de dois sextantes e os pontos são mapeados com o auxílio de um estaciógrafo. Um exemplo do movimento do barco é mostrado na ilustração 5. Depois de cada cruzamento da onda radioativa, é possível traçar curvas de isoatividades. A radioatividade é traçada até o ponto em que ela pode ser confundida com a radiação de fundo ou background. Decorrido um certo tempo após o lançamento, é possível construir vários conjuntos de curvas de isoatividade. Para um dado ponto B, cada conjunto de curvas de isoatividade corresponde a um ponto na curva tempo-taxa de contagem. Se a velocidade da corrente for grande em relação à velocidade do barco, deve-se fazer uma correção do movimento da onda radioativa. Ligando-se os centros de gravidade de cada curva de isoatividade, obtém-se a trajetória do poluente e a velocidade da corrente, em superfície.

9.4.3 — Dados e Resultados Parciais

Os dados das campanhas de investigação do processo de mistura oceânica por traçadores radioativos sofrem um processo complexo de cálculo, constando de inúmeras correções, da integração das contagens, traçado de isolinhas de atividade e curva de redução da concentração máxima em função do tempo.

Na ilustração 6, apresenta-se a título de exemplo, o deslocamento da onda radioativa observada no dia 5/5/72. Na ilustração 7, apresenta-se o gráfico de redução do pico da onda radioativa em função do tempo, correspondente às posições apresentadas na ilustração 6.

Na ilustração 8, apresenta-se a redução das concentrações do núcleo da onda radioativa obtidas em diferentes experiências realizadas junto à Ponta do Itaipu.

A diluição física que o campo de esgotos experimentará por mistura oceânica depende do nível de turbulência das águas e de sua velocidade de deslocamento.

Estes fatores variam em função das condições oceanográficas.

As experiências realizadas até o momento revelam que, para reduzir, por mistura oceânica, o pico da onda radioativa de 10 vezes, é necessário cerca de 1 hora e para reduzir de

50 vezes, são necessárias cerca de 3 horas.

Na investigação do dia 5 de maio de 1972, obteve-se no meio da Baía de Santos um diluição de 10 partes em 35 minutos e de 100 partes em cerca de 155 minutos (ver ilustração 7).

No momento estão sendo processados os dados para avaliação dos coeficientes de difusividade vortical lateral e para estabelecer-se a lei de variação destes coeficientes.

10 – EFICIÊNCIA DA CLORAÇÃO

A fim de verificar-se a eficiência da cloração do esgoto, e o seu comportamento quando lançado no mar, foi estabelecida uma programação de experiências, "em laboratório" e "in situ", tendo em vista obter-se uma simulação tanto quanto possível com as prováveis condições reais de lançamento.

Partiu-se do princípio de que o emissário terá 4,5 km, partindo da atual Estação Central de Recalque do José Menino, em Santos, seguindo na direção Sul até o meio da Baía de Santos. O diâmetro terá 1,5 m e no "borbulhamento" (boil), a diluição será de 1 : 100 na superfície do mar. O esgoto bruto sofrerá apenas um tratamento preliminar.

Estimou-se em 1 hora o tempo aproximado de caminhamento do esgoto no emissário, da Usina ao "borbulhamento".

10.1 – Experiências em Laboratório

a) Relação qualidade do esgoto, dose de cloro, cloro residual e tempo de contato.

Quanto à qualidade do esgoto, pelas próprias condições de projeto, são muito variáveis, uma vez que está previsto o seu lançamento sem tratamento primário. Para a condução das experiências, foram coletadas amostras de esgoto bruto na saída das bombas de recalque do José Menino, quando em condições normais de funcionamento.

As amostras de esgoto foram arejadas por 10 minutos no laboratório e submetidas às dosagens variáveis de cloro (água de cloro). De 10 em 10 minutos foi determinado o cloro residual total pelo processo Amperométrico, Iodeto - Fenilarsina, segundo o Standard Methods 13ª edição (águas poluídas).

Foi obtida uma série de curvas, conforme mostra o gráfico da ilustração 9. No gráfico, verifica-se que a partir de doses de 10 mg/l de cloro, obtém-se residuais por um tempo apreciável, (dosagens menores de cloro forneceram residual nulo). Nota-se, entretanto, que o declínio dos residuais é pronunciado para todas as dosagens, o que difere do gráfico obtido na técnica de cloração de esgotos tratados, conforme se verifica nos trabalhos de R.E. SELLECK, onde os residuais permanecem praticamente constantes ao longo do tempo.

b) Redução de coliformes totais em função da dose inicial e tempo de contato.

Adotando-se procedimento análogo ao anterior para várias doses de cloro e ao longo do

tempo, colheu-se amostras para exame bacteriológico, extinguindo-se no ato o residual de cloro com solução de tiosulfato de sódio. Em cada amostra, fez-se uma série de três exames bacteriológicos (NMP - Coliformes totais), adotando-se a técnica de tubos múltiplos. Obteve-se os gráficos da ilustração 10, onde se pode prever o declínio bacteriológico pela ação de uma determinada dose de cloro, em função do tempo de contato. Observa-se que, após o cloro residual tornar-se nulo, a colimetria permanece praticamente no mesmo nível por um tempo apreciável.

c) Comportamento do esgoto bruto e clorado quando lançado no mar.

Para simular em laboratório o comportamento do esgoto na água do mar, foram preparadas diversas misturas de esgoto e água do mar num volume de 4 litros e realizados exames bacteriológicos (coliformes totais), empregando-se a técnica de tubos múltiplos e ensaios em triplicatas.

Foram feitas experiências com misturas de 1 : 10, 1 : 100 e 1 : 500 de esgoto-água. (Coletou-se águas de diversas procedências: canal de ligação do estuário com a Baía de Santos, do meio da Baía e de ponto fora da Baía). Na ilustração 11, apresenta-se a redução de coliformes com diluição de 1 : 10.

O esgoto foi submetido a um arejamento de 10 minutos: uma fração foi clorada (água de cloro) com dose de 20 mg/l de cloro e submetida a uma agitação de 1 hora. Logo em seguida foram preparadas as diversas diluições, tomando-se o cuidado de adicionar tiosulfato de sódio para evitar uma possível atividade do cloro após a misturação.

Na ilustração 12, apresentamos o gráfico dos resultados correspondentes a uma mistura 1 : 100 com uma água colhida no meio da Baía de Santos. Na ocasião, a água do mar deste local encontrava-se bastante contaminada (influência das correntes provenientes do estuário), conforme se constata pelo exame bacteriológico ($1,3 \times 10^4$ coli total/100 ml); a salinidade apresentava valor $S = 26,5\%$, BOD = 3,0 mg/l e DQO = 72 mg/l.

Nota-se pelas curvas obtidas não ter havido crescimento posterior de coliformes, e que a curva que representa a mistura esgoto-clorado e água do mar tende a acompanhar a curva obtida para a mistura esgoto-bruto e água do mar.

Os gráficos obtidos com outras diluições e outros corpos receptores apresentaram as mesmas tendências. Destacamos que as amostras de águas do mar em geral apresentavam BOD baixo (1,7 mg/l e 0,6 mg/l).

Constatou-se ter havido pequenos "crescimentos-posteriores" (aftergrowth), principalmente na diluição de 1 : 10, mas em níveis não significativos. As curvas de decaimento da mistura com o esgoto clorado foram sempre paralelas às curvas de decaimento da mistura com o esgoto bruto.

Na série de experiências realizadas, verificou-se que não há condições para um desenvolvimento posterior de bactérias (aftergrowth) quando diluídas em 1 : 10, 1 : 100 e 1 : 500 em águas de diversos pontos da Baía de Santos (entrada do estuário, meio da Baía e a 5 km no oceano).

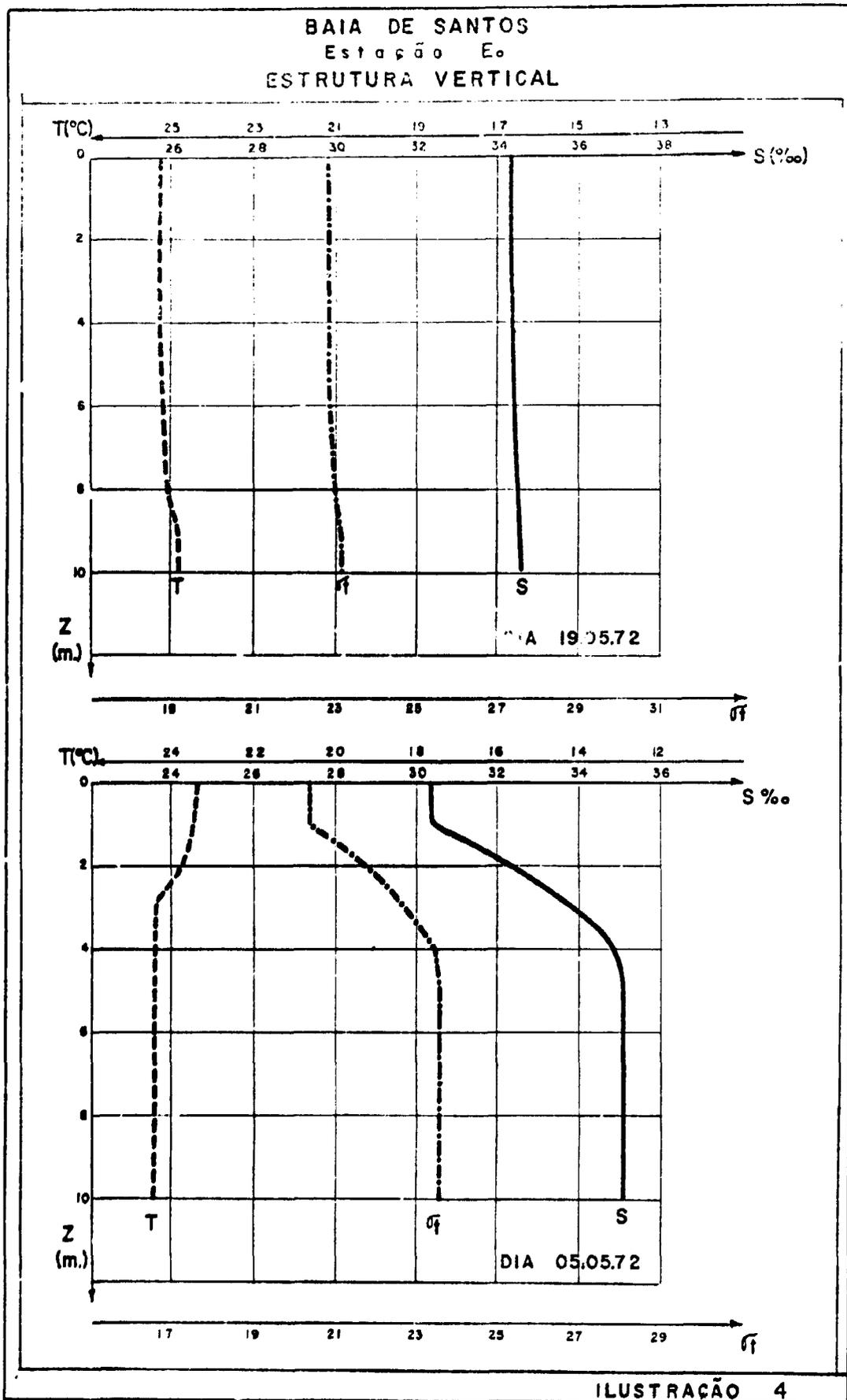
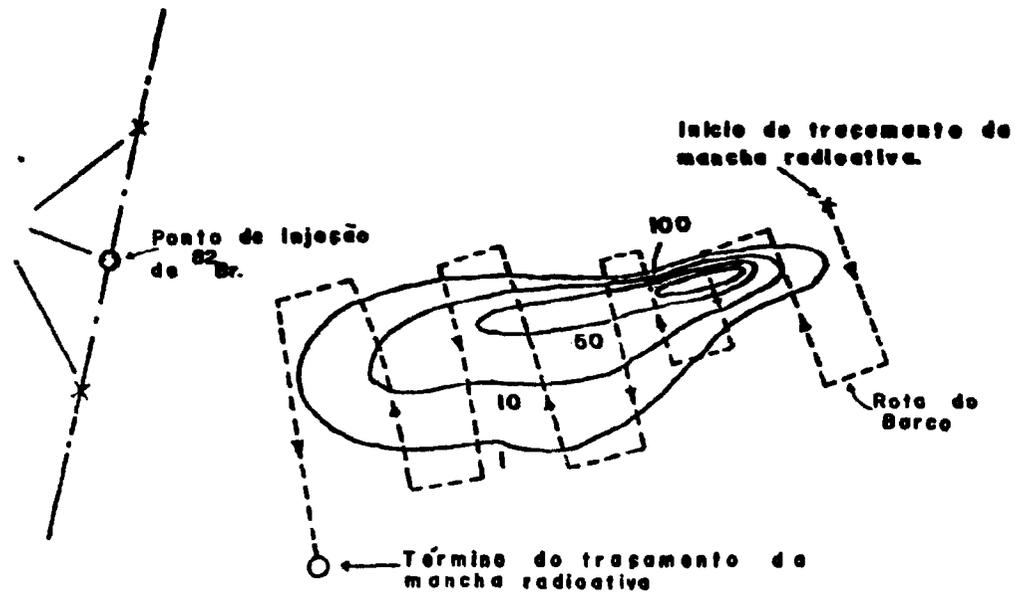


ILUSTRAÇÃO 5



BRASIL - COSTA SUL
PORTO DE
SANTOS

Carta náutica elaborada pela Marinha do Brasil em 1959
 DIMENSÕES EM METROS
 Profundidade aproximadamente ao nível do baixo-mar médio de marés
 ALTITUDES EM METROS ACIMA DO NÍVEL MÉDIO
 Para sondagem e observações ver carta No 11200
 Escala natural 1:24000 ou lat 10" 00"
 Projeto de Marinha

REPERTEÓRIOS
 Planos da Companhia Saneamento de Santos de 1948 e 1954

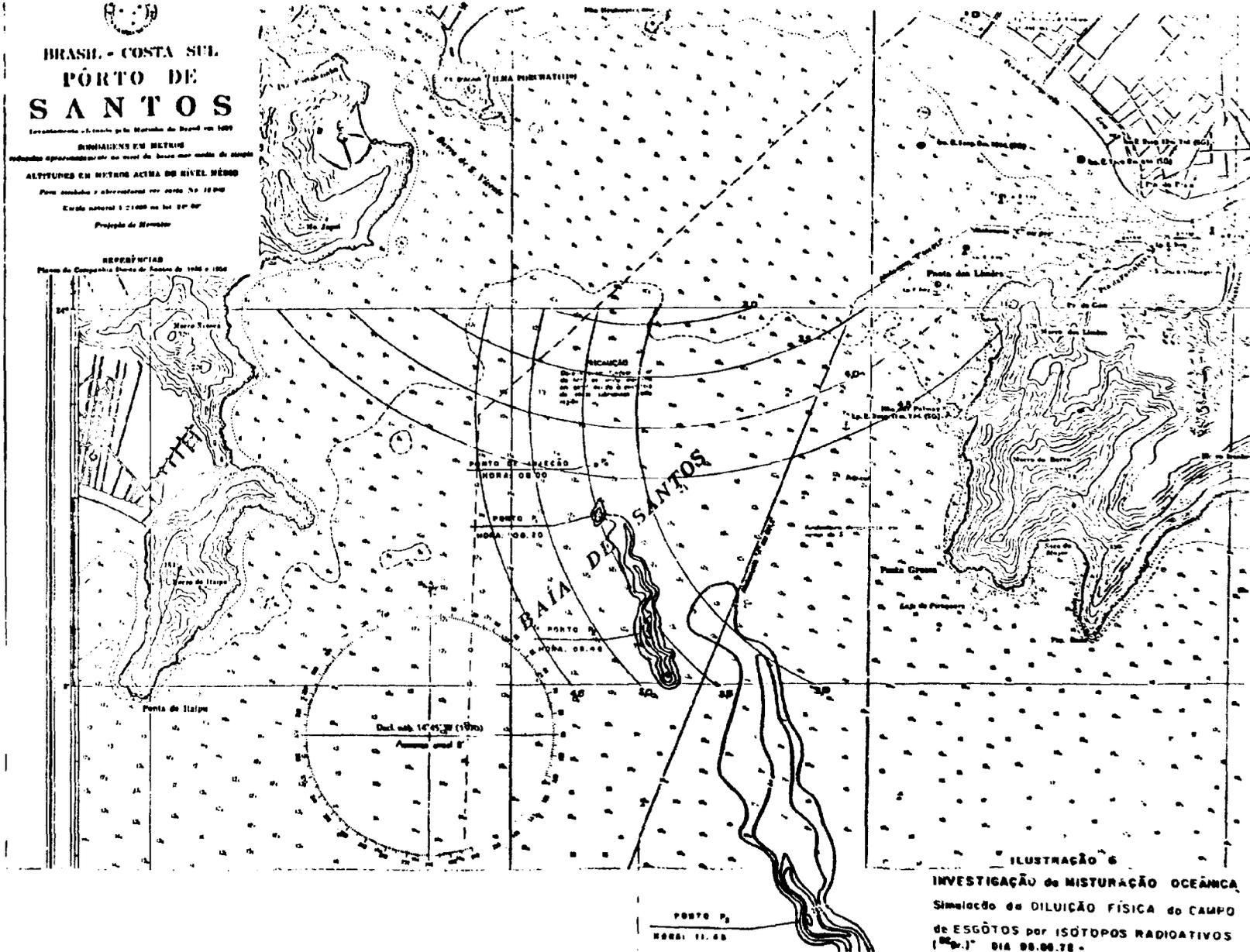
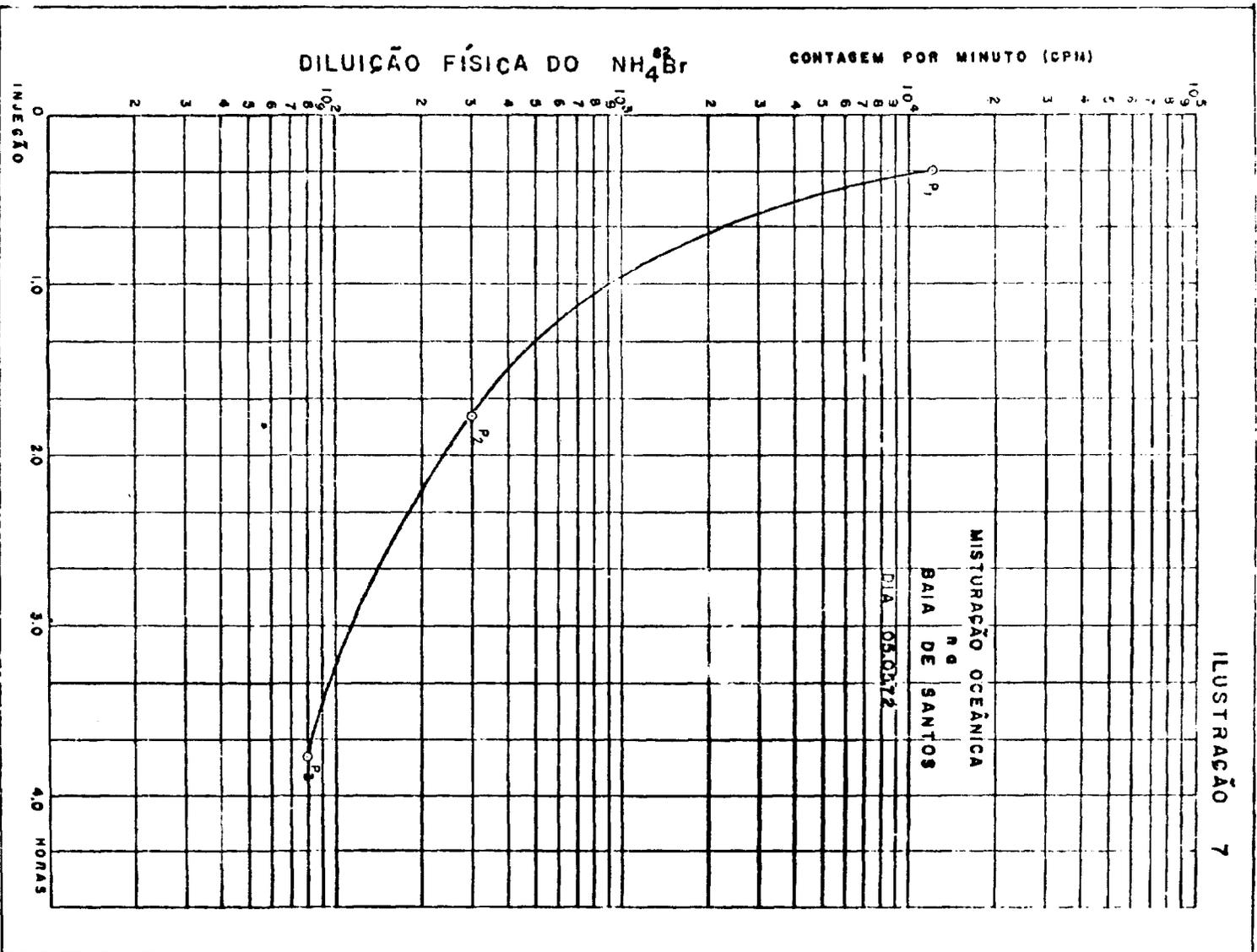


ILUSTRAÇÃO 6
INVESTIGAÇÃO de MISTURAÇÃO OCEÂNICA
 Simulação de DILUIÇÃO FÍSICA do CAMPO
 de ESGOTOS por ISÓTOPOS RADIOATIVOS
 (²²²Rn.) DIA 08.06.78 -



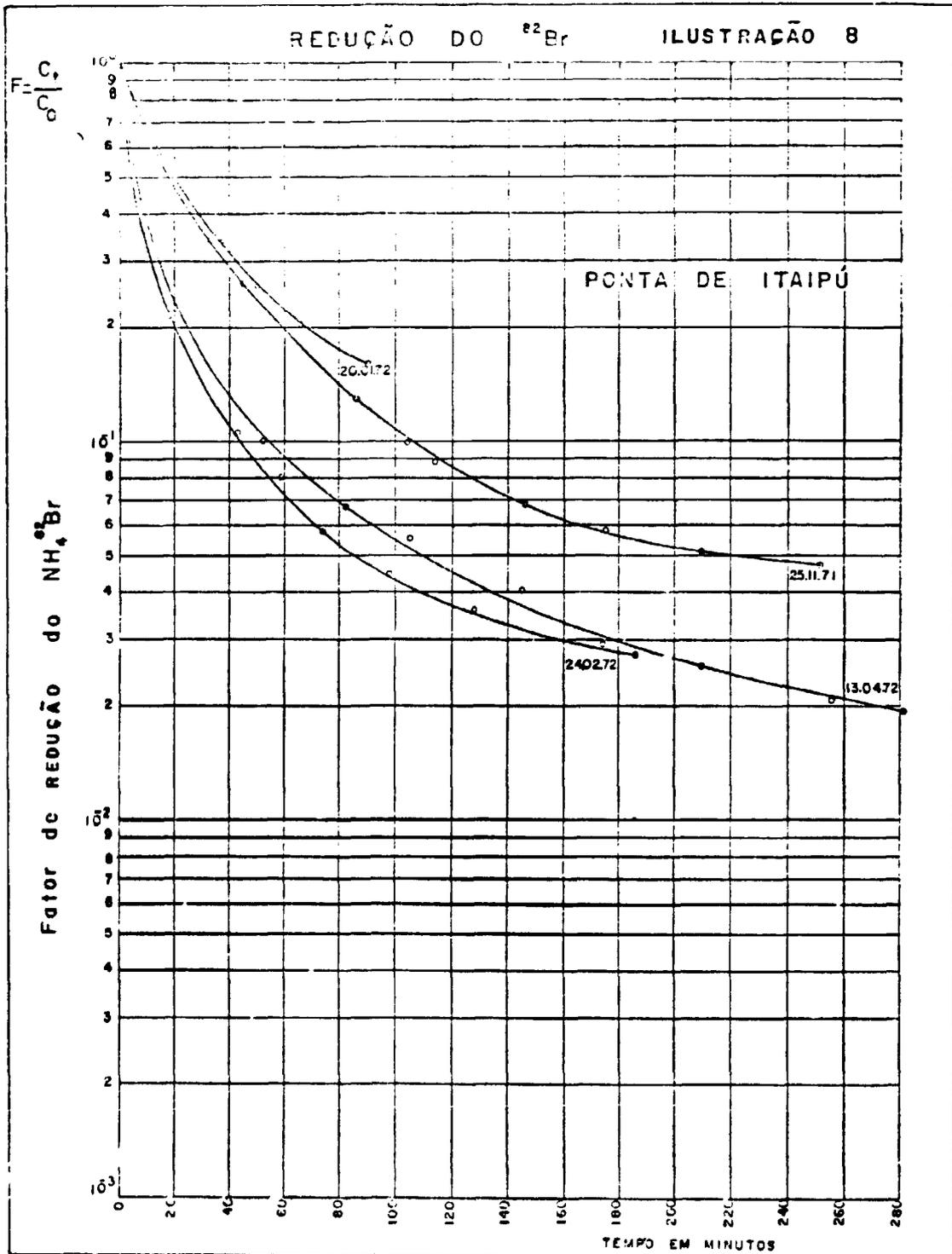
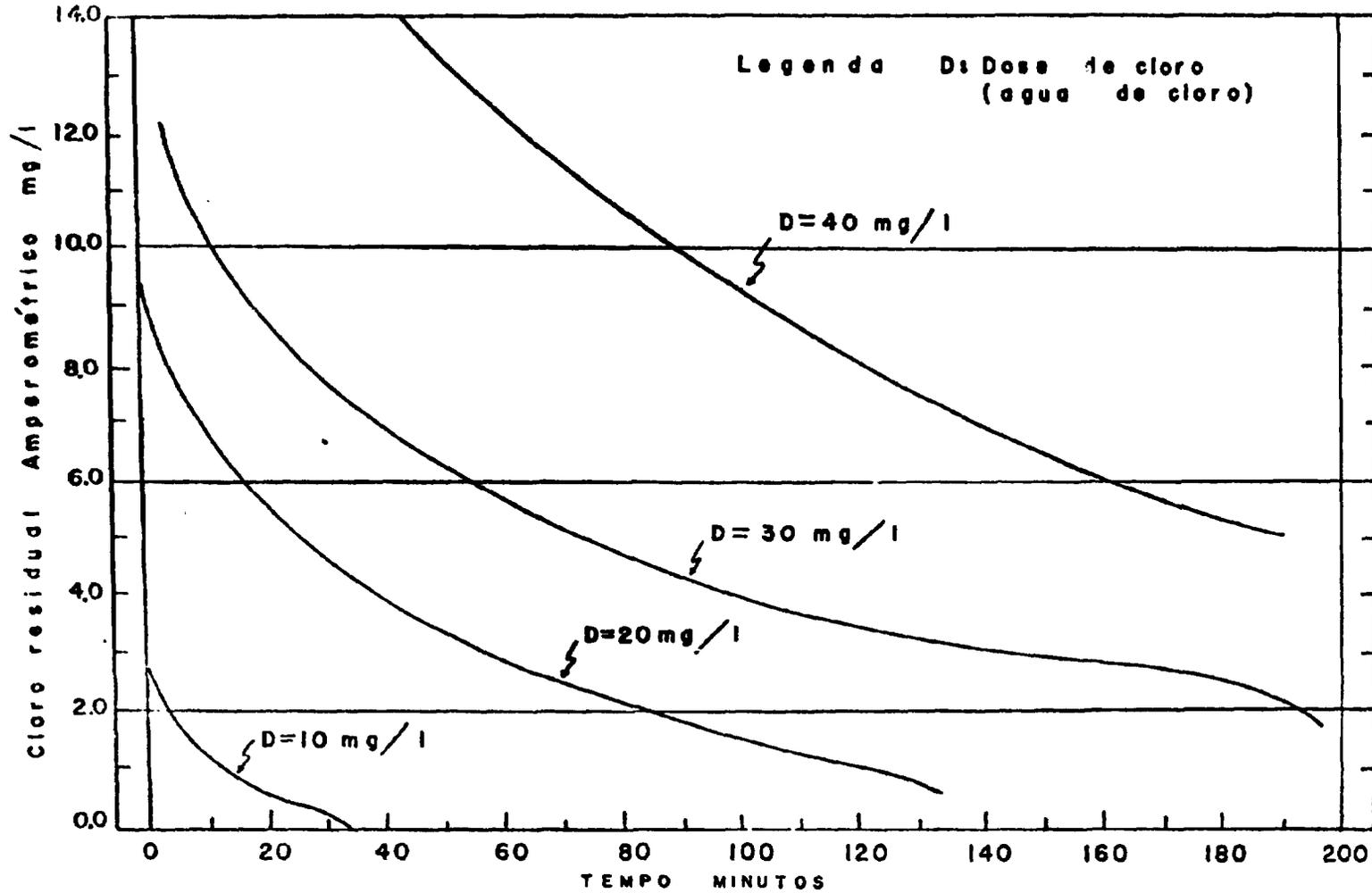


ILUSTRAÇÃO 9



- Cloro residual total vs. tempo de contato sobre esgoto bruto arejado (10 minutos)

ILUSTRAÇÃO 10

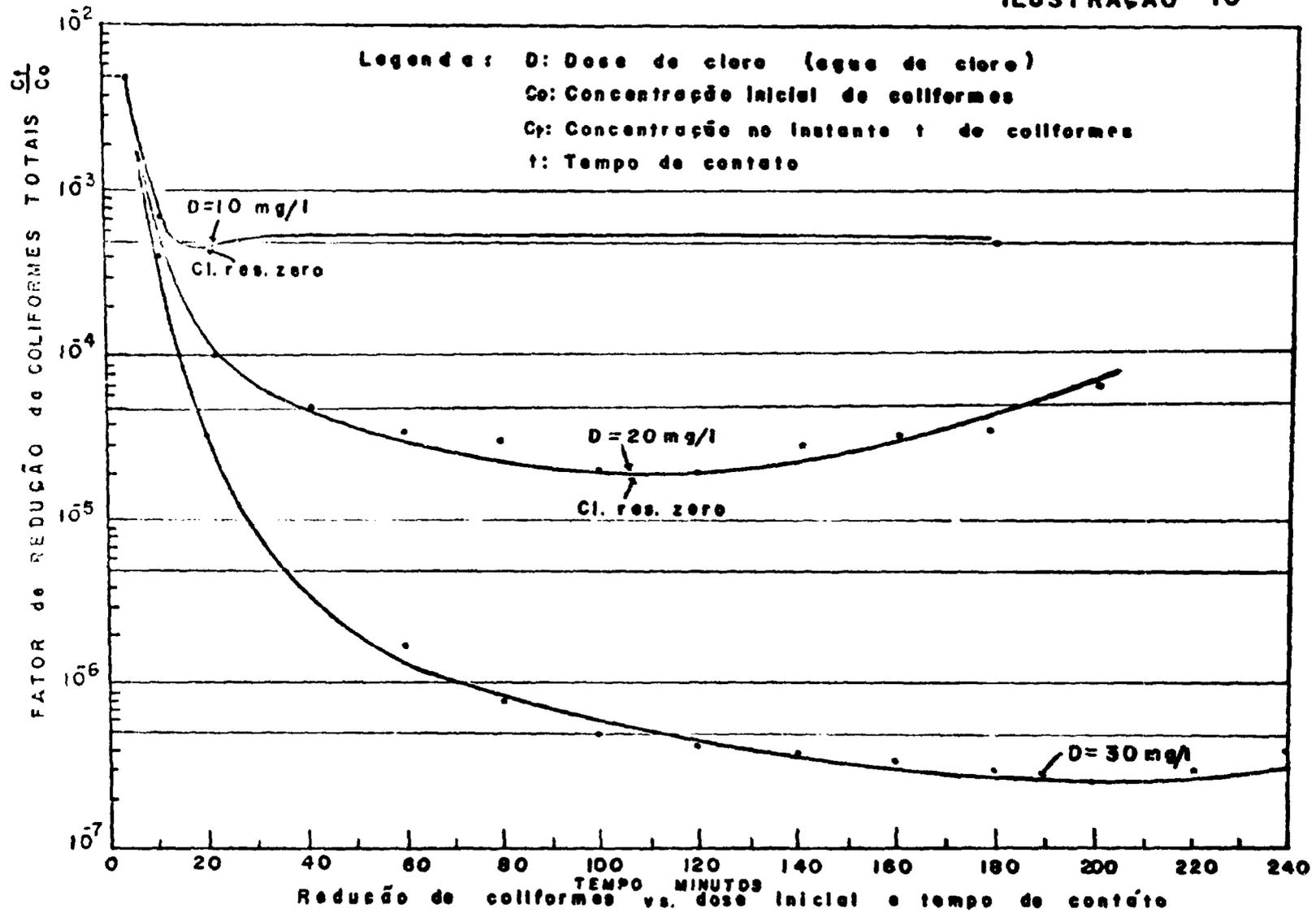


ILUSTRAÇÃO II

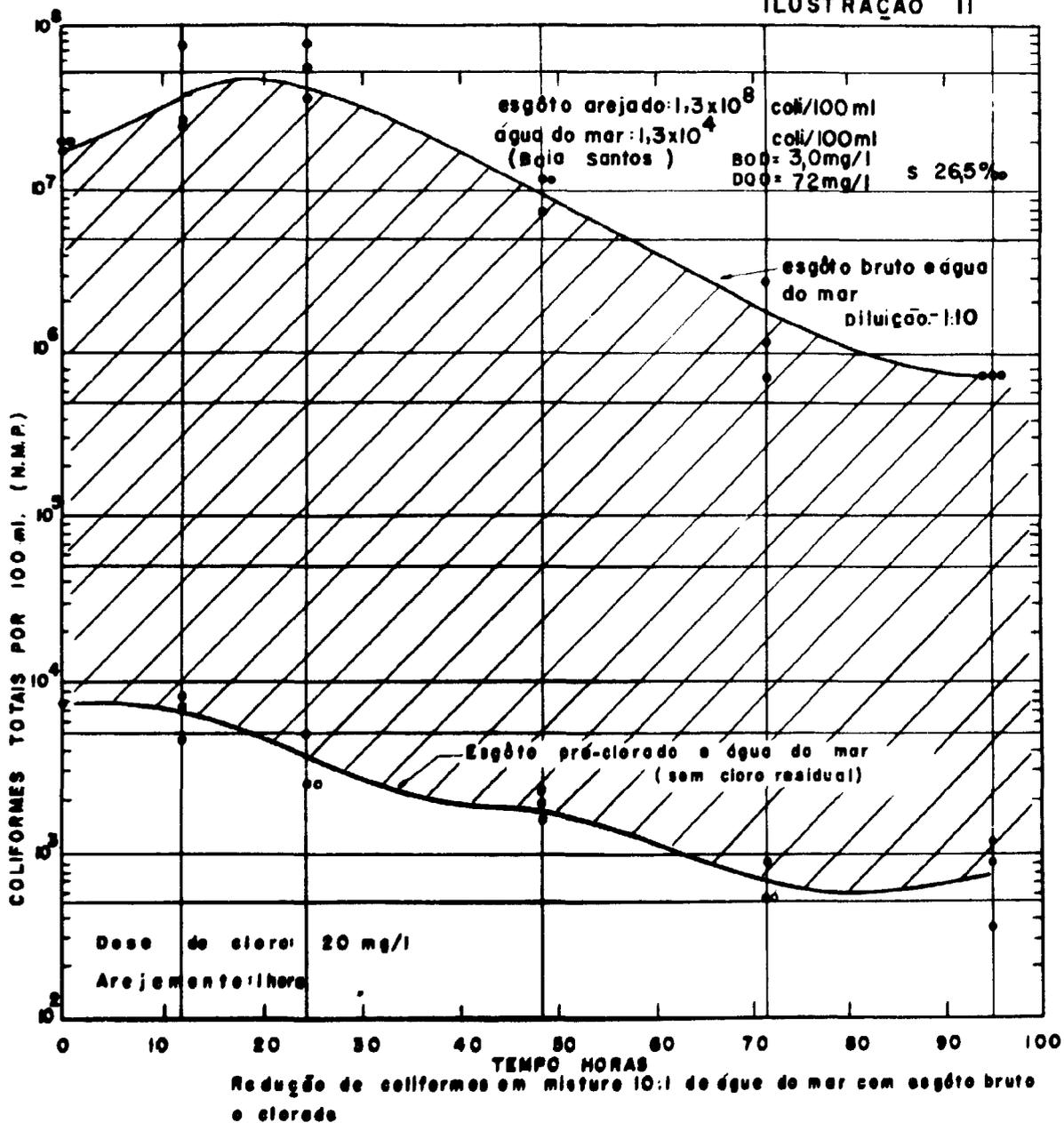


ILUSTRAÇÃO 12

