

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

Prof. ANTONIO GARCIA OCCHIPINTI

APRESENTAÇÃO

A Nota Técnica apresentada pelo Prof. Antonio Garcia Occhipinti sobre os Estudos que a SBS — Companhia de Saneamento da Baixada Santista vem empreendendo através do Grupo de Trabalho formado pelas Equipes Técnicas do CETESB — Centro Tecnológico de Saneamento Básico e do Instituto de Energia Atômica da USP, auxiliadas pelo Instituto Oceanográfico da mesma Universidade, embora de caráter preliminar, dá uma idéia precisa do esforço que vem sendo feito para o conhecimento das reais condições permissíveis de lançamento submarino de esgotos na baía de Santos.

Esse esforço, cujo objetivo, principal é a construção do emissário submarino dos esgotos das cidades de Santos e São Vicente com plenas garantias de operação, que resguarde as condições sanitárias das áreas habitáveis da orla marítima interior da baía e de sua circunvizinhança, trás, ainda, o benefício da criação, no Brasil, de tecnologia avançada, própria e de alto nível, de que antes carecíamos e que será de grande utilidade para a solução dos inúmeros problemas semelhantes com que se defrontam as diversas comunidades litorâneas brasileiras.

Até o fim do corrente ano, está concluído o Relatório Final dos trabalhos, cujas pesquisas irão até o próximo mês de setembro. Nessa ocasião, a SBS estará em condições de afirmar categoricamente qual o ponto exato onde deverão

ser lançados os esgotos da ilha e em que condições se efetuará o lançamento submarino, de modo a que as obras possam ser executadas com segurança, economia e eficiência.

Esse trabalho, porisso, representa um passo importante no desenvolvimento da Engenharia Sanitária, que, estamos certos, se constituirá em motivo justo de orgulho e satisfação para todos os que dele tem a honra e a felicidade de participar.

Eng.º PAULO PELTIER DE QUEIROZ JR.

Diretor Presidente
Companhia de Saneamento da Baixada
Santista — SBS

RECONHECIMENTO

As investigações e os estudos do Projeto de Disposição Oceânica dos Esgotos de Santos e São Vicente, objeto desta nota técnica, estão sendo realizados graças ao descortínio de planejador e o alto espírito de técnico e administrador que orientam as decisões do atual Presidente da SBS, Eng.º Paulo Peltier de Queiroz Jr. Reconhecendo a importância e a responsabilidade da obra, a necessidade de desenvolver um projeto racional e de prever as consequências de sua execução e a oportunidade de criar no País tecnologia avançada e especializada consentânea com as nossas responsabilidades técnicas e com o nosso desenvolvimento econômico, o Engenheiro **Paulo Peltier de Queiroz Jr.** idealizou e tornou possível este trabalho.

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 e consequentemente 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 das águas costeiras reclamado pelos seus beneficiários.

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 prevêr de forma racional e eficiente as consequências 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 enge-

nharia 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 do recalque e o sistema emissário-difusor submarino.

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.

O efluente ao ser lançado ao mar experimenta uma alteração em suas propriedades físicas e bacteriológicas que variam em cada ponto em função do tempo.

As possibilidades de obter-se um prognóstico eficiente das condições de poluição depende 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 estudo 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 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 valioso para um prédimensionamento. 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 hi-

dráulica 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;
- difusividade vortical;
- estrutura vertical das águas;
- 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.



BRASIL - COSTA SUL

PÔRTO DE SANTOS

Levantamento efetuado pela Marinha do Brasil em 1959

SONDAGENS EM METROS
reduzidas aproximadamente ao nível da baixa-mar média de sizígia

ALTITUDES EM METROS ACIMA DO NÍVEL MÉDIO

Para símbolos e abreviaturas ver carta No. 12000

Escala natural 1:23 000 na lat. 24° 00'

Projeção de Mercator

REFERÊNCIAS

Planos da Companhia Docas de Santos de 1956 e 1959

24°

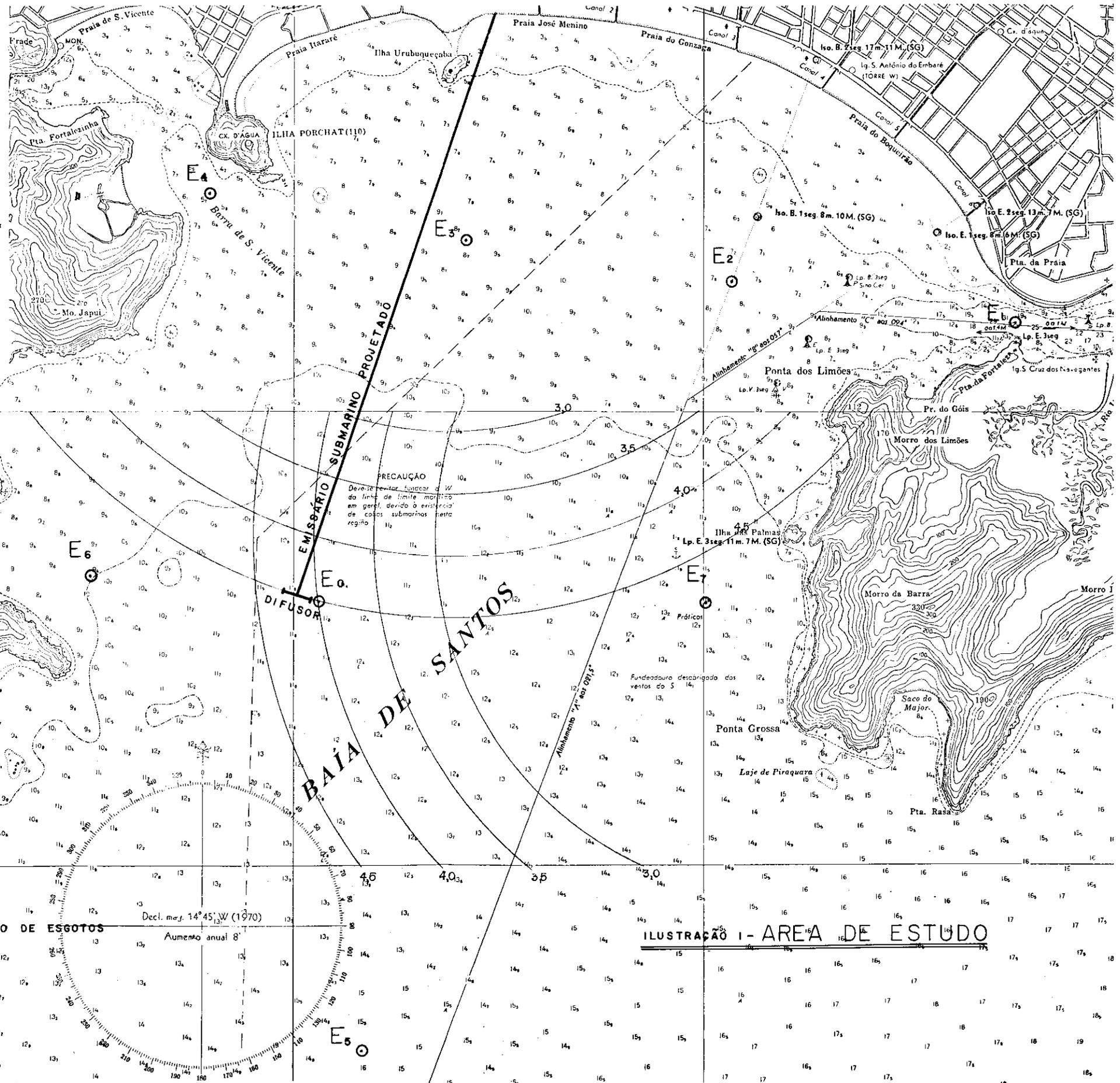
2°

ATUAL LANÇAMENTO DE ESGOTOS

Decl. med. 14° 45' W (1970)

Aumento anual 8"

ILUSTRAÇÃO I - ÁREA DE ESTUDO



- 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 Emilia

Os 3 tipos de campanhas vem sendo realizadas com o apoio do Barco Emilia 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.

Tonagem — Bruta 16,3 Ton; líquida 7,6 Ton; carga máxima 15 Ton.

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-contavoltas, radiotelefonía, câmara isotérmica para material biológico, ecosonda «linha branca», «Asdic» com ecosonda vertical e horizontal, radar tipo Furuno, bússula, termômetro, barômetro, odômetro, anemômetro, estaciôgrafo.

Tripulação — 3 homens: 1 mestre, 1 mostorista e 1 moço de convés.

4.2 — Instrumentos

4.2.1 — Instrumentos Meteorológico-Oceanográficos:

- 1 Anemômetro Lambrecht, instalado na Ilha da Moela.
- 1 Anemômetro, utilizado a bordo do Emilia.
- 1 Correntômetro Ekman.
- 1 Correntômetro, Savonius Rotor, Hydro Products, modelo 460 e 465 A, com potenciômetro 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 2 metros de profundidade.
- 1.000 cartões à deriva, em plástico, de 10 x 10 cm, balanceados 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:

- 2 Integradores, Scaler, marca Basc.
- 2 Registradores Rustrak.
- 2 Rate-meter, marca Basc.
- 2 Detetores de cintilação ou cintilômetros com cristal NaI (Te).
- 1 unidade digital TMC.

4.2.3 — Equipamento de Navegação e Posicionamento.

- 2 Sextantes.
- 1 Estaciôgrafo.
- 2 Walk-talks.
- Cartas Náuticas da Baía de Santos.
- 1 Escobatímetro Furuno 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 Dept.º de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de S. Carlos da Universidade de S. Paulo e Consultor Contratado da SBS.

Equipe da SBS: Companhia de Saneamento da Baixada Santista.

Eng.º Waldyr Ferrauche — Superintendente de Projetos e Obras.

Prof. Joaquim Martins — Chefe do Departamento de Obras e Melhoramentos.

Eng.º Brasil Eugenio da Rocha Brito — Chefe do Departamento de Estudos e Projetos.

Equipe do CETESB: Centro Tecnológico de Saneamento Básico.

Eng.º 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
 Biologista 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

Eng.º Vladimyr Sanchez, chefe da Divisão de Aplicação de Radioisótopos na Engenharia e na Indústria
 Eng.º José Leomax dos Santos
 Eng.º Cláudio Szulak
 Eng.º Antônio Martins de Albuquerque
 Eng.º José Paulo Kosmiskas
 Eng.º Hirohi Oki
 Eng.º Taiziro Ohara
 Eng.º Mohsen Mohamed Abbel Moneim Said
 Físico Silvio Nakaira
 Físico Luiz Fredie Daniek
 Eng.º Antônio Carlos Castagnet
 Eng.º Edmundo Garcia Agudo

6 — A ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é representada na Ilustração 1, compreendendo a Baía de Santos, a linha cogitada para implantação do emissário e o atual Itaipú e do futuro emissário submarino de esgo-

7 — DESCARGA ATUAL E DESCARGA DE PROJETO

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

Descargas de Esgotos Atuais e Futuras (l/s)

Ano	Lançamento no Itaipú		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 utilizadas 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 Itaipú (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 2.0×10^8 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 Itaipú pode-se determinar a redução to-

tal da concentração de coliformes devida essencialmente à superposição dos seguintes processos:

- sedimentação
- declínio bacteriológico
- misturação oceânica.

Lançando-se um traçador com os esgotos é possível determinar-se a redução devida 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 devida 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 os esgotos. 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, coleta-se amostras de esgoto para que sejam determinadas as concentrações originais de Coli, de Fosfato e de ^{82}Br . Estas concentrações são indicadas:

$C_{\text{R-Coli}}$ = concentração de Coli no esgoto;

$C_{\text{R-P}}$ = concentração de Fosfato no esgoto;

$C_{\text{R-Br}}$ = concentração de Bromo no esgoto.

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 concentra-

ção inicial de Coli e Fosfato. A concentração inicial de ^{82}Br é medida com o auxílio de dois detectores de cintilação posicionados na borda de boreste do barco, um a uma profundidade de 40 cm e outro a 1 metro.

Antes da chegada dos traçadores o detector de radiação conta apenas certo número de fons 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

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

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 detectores voltados para as linhas de propagação da mistura esgoto-corante-solução radioativa. A propagação desta mistura está vinculada a 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 detectores 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.

A 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 a diluição pelo processo físico de misturação 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: misturação oceânica e declínio bacteriológico associado com a sedimentação. Junto com 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 concenção de coli devida ao declínio bacteriológico no instante t.

CT(t) = — concentração de coliformes observada 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 ^{82}Br no instante t e no instante t = 0.

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

Até a presente data foram realizadas cerca de 30 campanhas de declínio bacteriológico.

O deslocamento da mancha é detetado visualmente pelos traçadores corantes e pelos corpos e cartões à deriva lançados no centro da nuvem radioativa e sensorialmente pelos cintilômetros localizados a bordo.

O campo de esgotos devido 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 ^{82}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 água do mar e nos esgotos baseia-se na sua reação com o molibdato de amônio e anti-amônio 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 de até 450 $\mu\text{g/l}$.

O procedimento analítico para determinação do orto-fosfato-solúvel obedeceu rigorosamente o Standard Methods, for the Examination of Water and Wasterwater — 13th Edition (que corresponde basicamente ao método descrito no A Manual of Sea Analysis Bulletin n.º 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-mercúrico, 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 hs. As amostras ao chegarem ao laboratório são degeladas e filtradas em membranas filtrante de 0,45 μ , procedendo-se no filtrado a determinação do orto-fosfato (PO_4^{-3}) solúvel.

Considerando-se os baixos níveis de fosfatos a serem detectados em determinadas estações de amostragem, deu-se preferência ao vasilhame de vidro (previamente lavado com ácido clorídrico diluído à 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 Coliforme — Colimetria

Utilizou-se o método dos Tubos Múltiplos recomendado pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater — 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

REDUÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE COLI

$\frac{C_t}{C_0}$

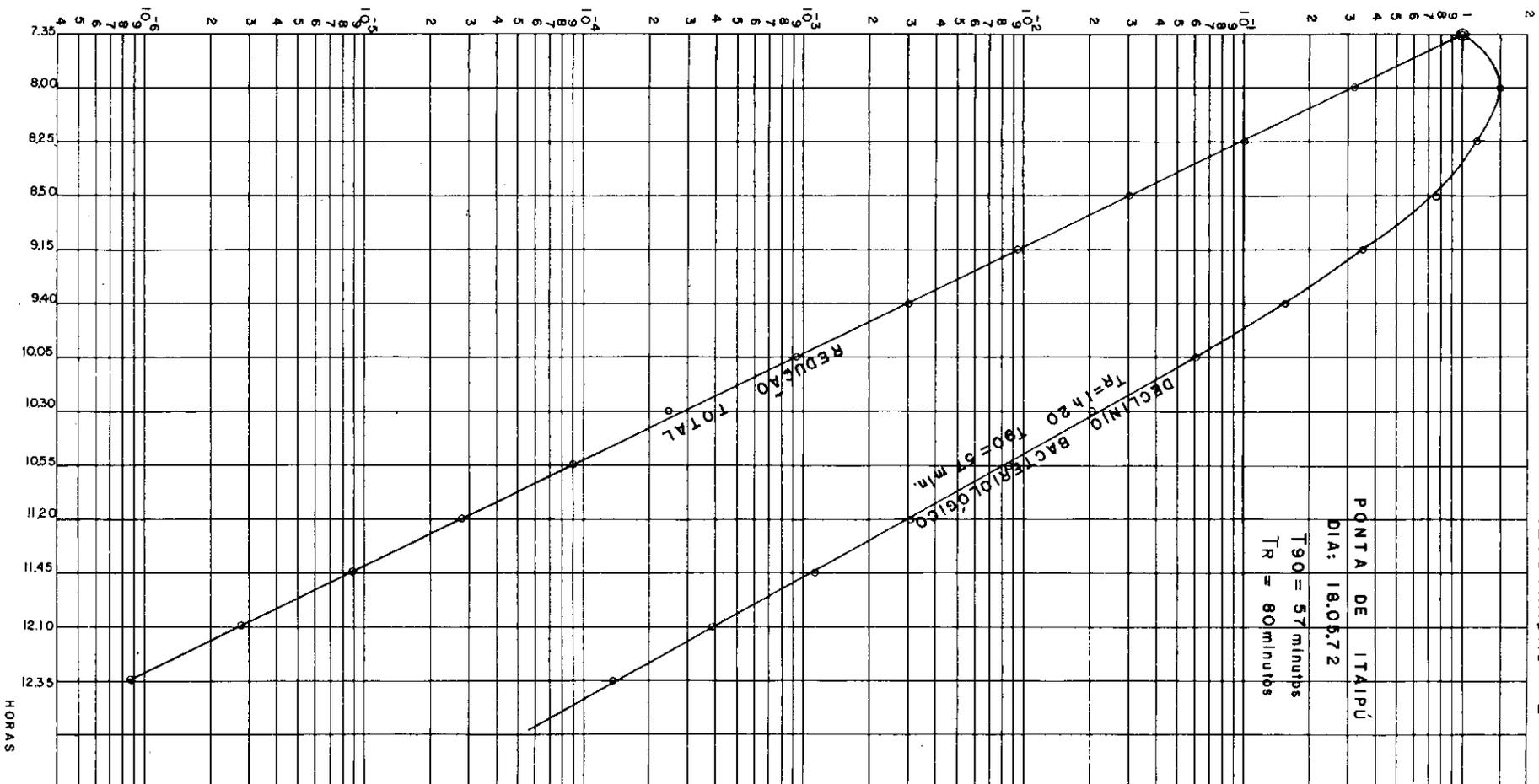
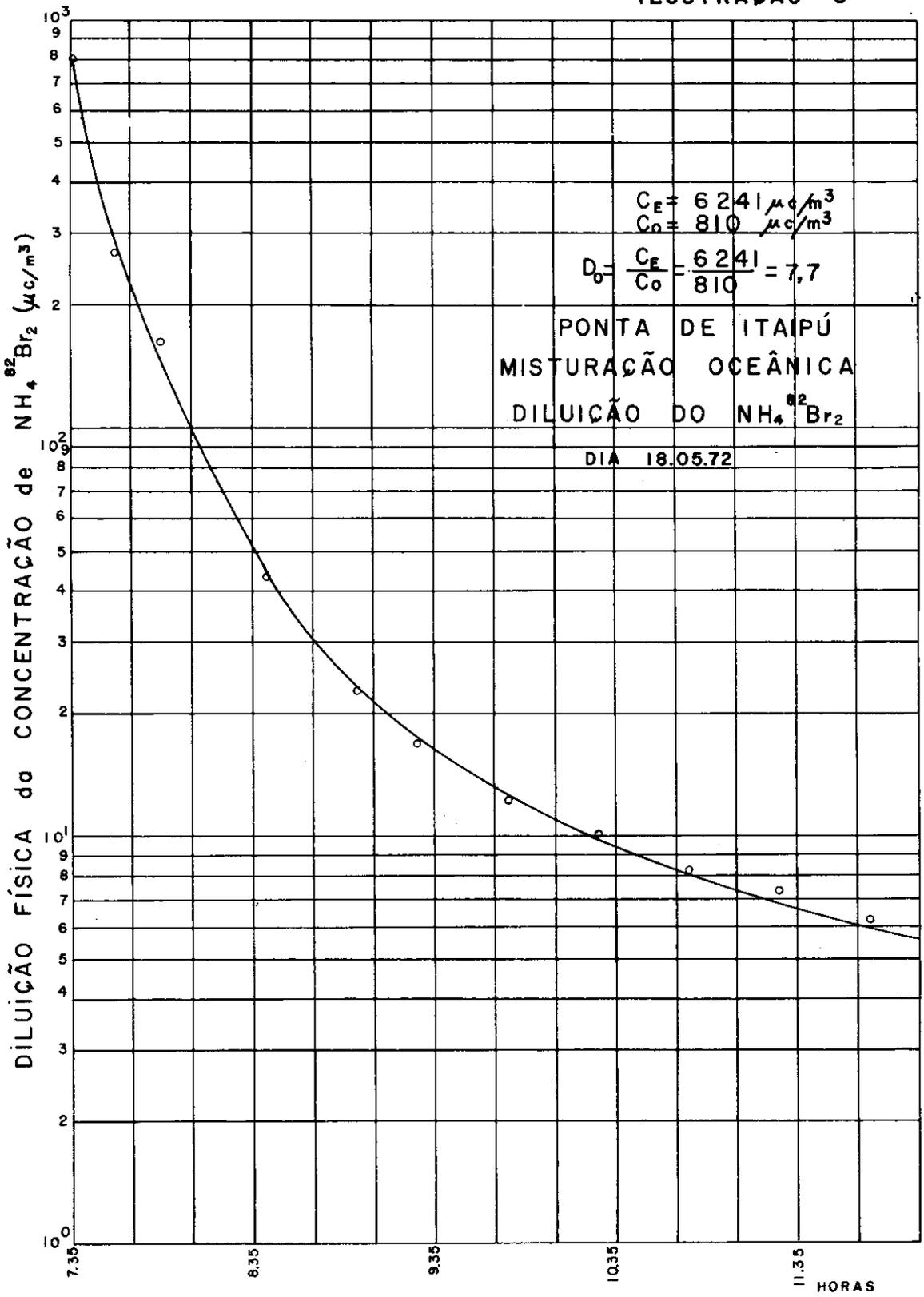


ILUSTRAÇÃO 2

ILUSTRAÇÃO 3



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 até agora obtidos revelam que os parâmetros de declínio bacteriológico nas águas do litoral santista apresentam grande variedade.

Na fase inicial do declínio exponencial o T90 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 T90 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 T90 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 quan-

tidade 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 E.E.U.U. para este fim. Os resultados obtidos com esta técnica são duvidosos e muito pouco significativos. A despeito de todos os cuidados tomados, as taxas de declínio bacteriológico observadas, 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 descrita 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.

Características da Estrutura Vertical das Águas da Baía 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	33.0	22.0
Camada Profunda	4 a 20	24.5	33.5	22.5	2 a 10	25.0	33.0	22.0
2. Camada Homogênea	—	—	—	—	0 a 10	25.0	34.0	22.5

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

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

Os perfis de temperatura T, salinidade S e de σ_t são traçados para todas as estações oceanográficas, devendo ser plotados 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 estende-se 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 picnoclina. 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 profundidades, 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 perturbação 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 detecta-se uma camada de transição, entre as 2 camadas básicas com características intermediárias. 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.

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/ou 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 vem sendo utilizados os 2 últimos isolados e combinados.

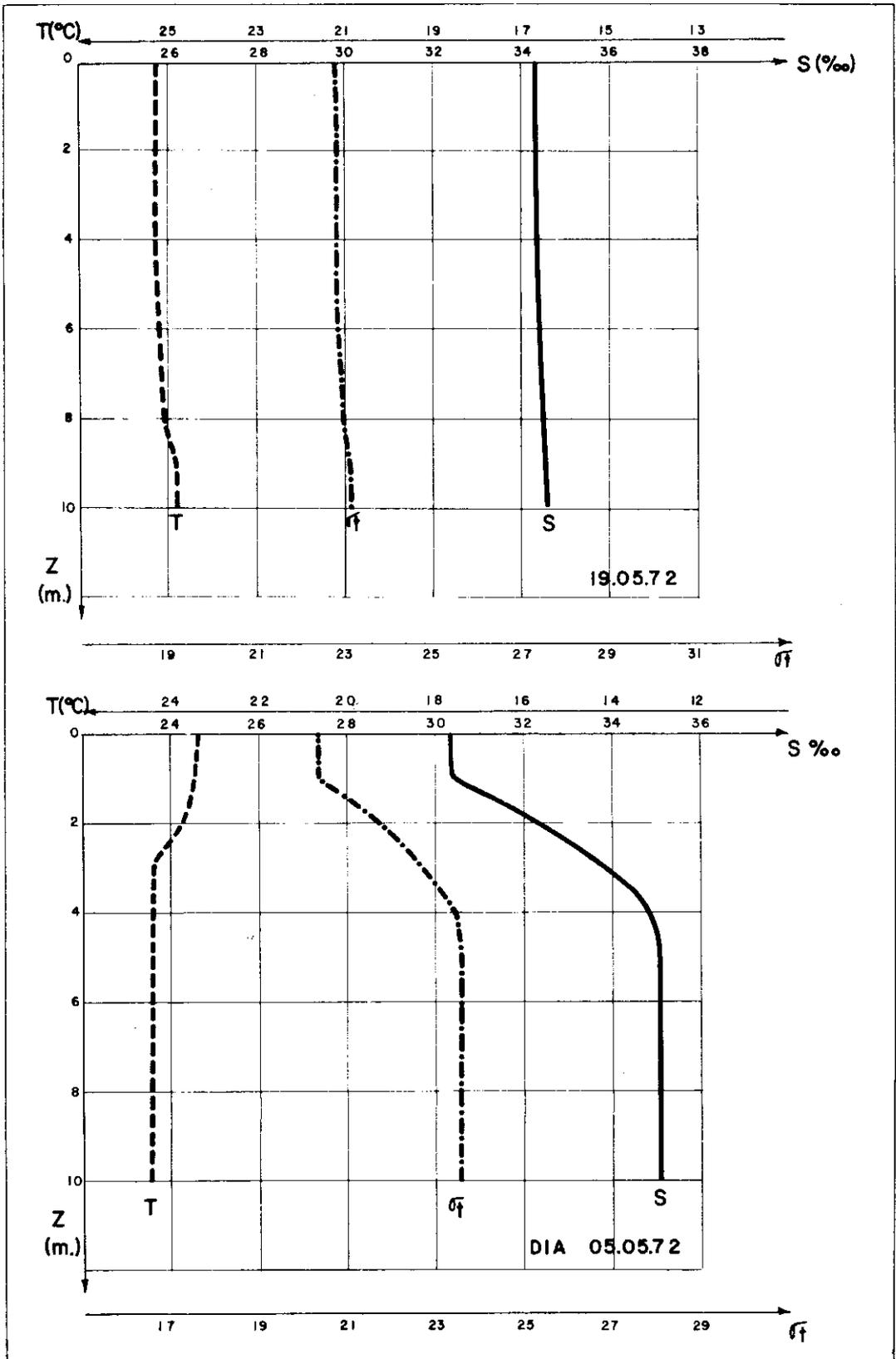
Tanto os cartões à deriva quanto os corpos à deriva foram projetados e construídos sob a orientação da equipe de pesquisa.

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 os vetores velocidade média a partir dos vetores deslocamento e desenhando-se a trajetórias.

BAIA DE SANTOS
 Estação E₀
 ESTRUTURA VERTICAL

ILUSTRAÇÃO 4



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 S. Paulo o PLANO DIRETOR DE ESGOTOS DAS CIDADES DE SANTOS-S. 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 n.º 8, do Plano Diretor intitulado «Estudos Oceanográficos Preliminares», onde foi desenvolvido o estudo oceanográfico empírico-teórico, propõe em suas conclusões às páginas 24 a 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 S. 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 quais os principais elementos e parâmetros condicionantes de projeto e elaborar-se o programa de investigações oceanográficas e bacteriológicas, imprescindíveis a 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 Pelletier de Queiroz Jr., reconheceu a imperiosa necessidade de mandar executar um programa completo de investigações oceanográficas e bacterio-

lógicas que permitissem prever as consequências do lançamento segundo o projeto proposto ou, conforme o caso, modificá-lo em tempo e convenientemente. 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 S. Paulo. Sob a orientação e coordenação do Prof. Antonio Garcia Occhipinti, especialmente contratado pela SBS.

Colaboraram neste trabalho os seguintes órgãos:

SBS — Companhia de Saneamento da Baixada Santista — Órgão Contratante e Executor.

O controle do grupo de trabalho acima citado é exercido pela Equipe Técnica da Superintendência de Projetos e Obras da SBS.

CETESB — Centro Tecnológico de Saneamento Básico do FESB.

IEA — Instituto de Energia Atômica da USP.

I.O. — Instituto Oceanográfico da Universidade de S. Paulo, dirigida pelo Almirante Alberto dos Santos Franco, cedeu o barco oceanográfico «Emília» com sua tripulação, equipamento e instrumentos.

DHN — Diretoria de Hidrografia e Navegação do Ministério da Marinha, autorizou a realização das pesquisas na Baía de Santos e a instalação de um anemógrafo 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 realizados, em média, 3 tipos de campanhas de investigação por semana, cada qual em um dia separado, com duração de sol a sol, a saber:

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 a velocidade das correntes em 7 estações oceanográficas na baía.

9.3.2 -- Tratamento de Dados

Os dados obtidos são posicionados e mapeados à bordo.

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

Para cada campanha correlacionam-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 efluência se verifica de preferência nas camadas superficiais.

— Em condições meteorológicas 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 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 até a Ilha de Urubueçaba e daí escoando 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 apresentando uma velocidade média de 20 a 25 cm/s; trata-se de uma contra-corrente superficial de declive ou de compensação devida a 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 em direção à costa em toda a coluna vertical e agrava-se durante a maré enchente de sizigia; 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 velocidades médias. A determinação da turbulência oceânica exige a caracterização das flutuações aleatórias de velocidades.

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 realizadas semanalmente, campanhas de observação da misturação oceânica através de injeção de solução radioativa de $\text{NH}_4^{82}\text{Br}$ na área cogitada para o lançamento e o subsequente 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 $\text{NH}_4^{82}\text{Br}$ segue-se com o barco o deslocamento da nuvem radioativa. Fixando-se um detector junto a parte lateral do barco que se movimenta, constantemente, para dentro e para fora da nuvem radioativa, obtém-se dados suficientes para definir a



BRASIL - COSTA SUL

PÔRTO DE SANTOS

Levantamento efetuado pela Marinha do Brasil em 1959

SONDAGENS EM METROS
reduzidas aproximadamente ao nível da baixa-mar média de sizígia

ALTITUDES EM METROS ACIMA DO NÍVEL MÉDIO

Para símbolos e abreviaturas ver carta No. 12 000

Escala natural 1:23 000 na lat. 24° 00'

Projeção de Mercator

REFERÊNCIAS

Planos da Companhia Docas de Santos de 1956 e 1959

24°

2°

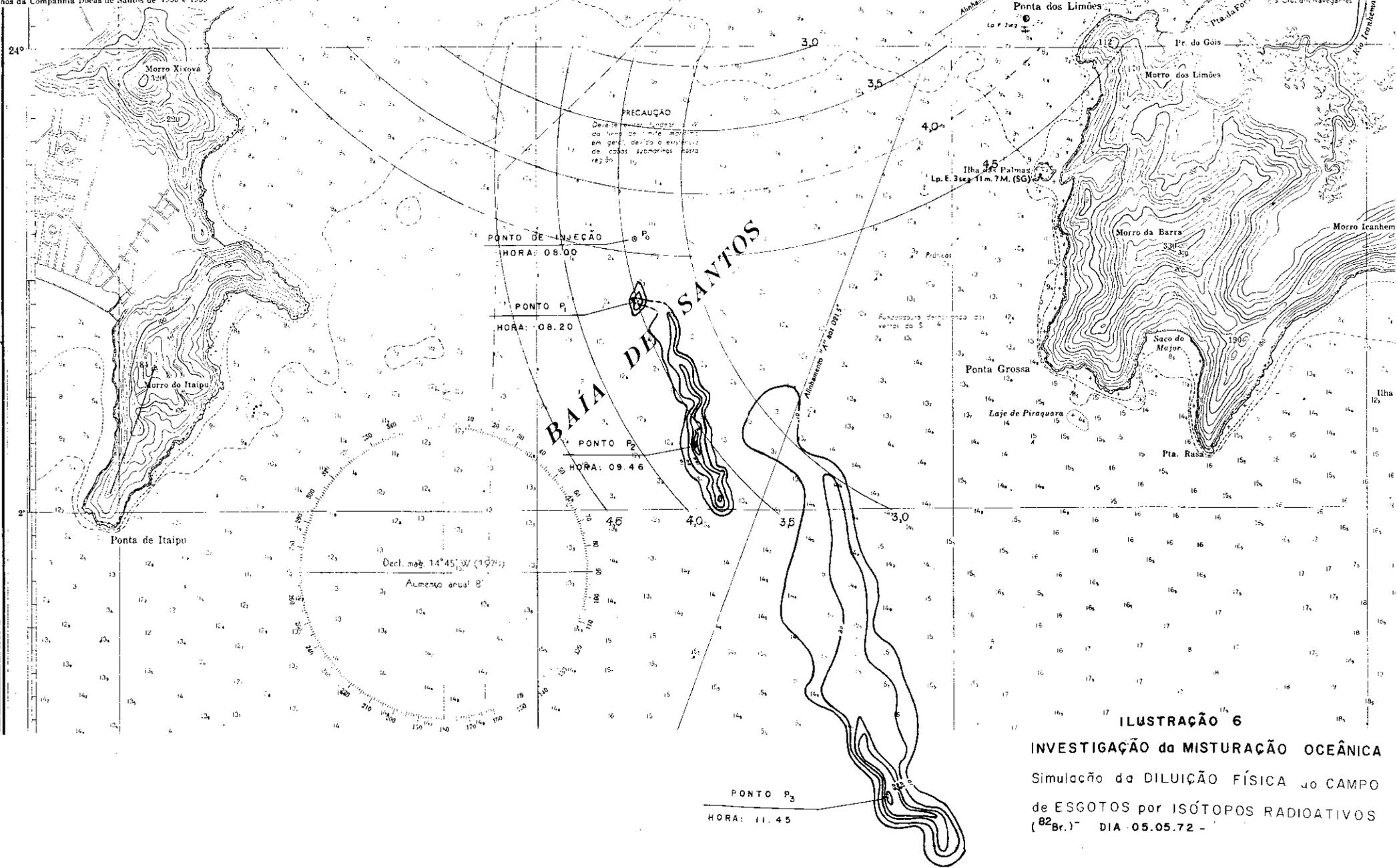


ILUSTRAÇÃO 6

INVESTIGAÇÃO da MISTURAÇÃO OCEÂNICA
Simulação da DILUIÇÃO FÍSICA do CAMPO
de ESGOTOS por ISÓTOPOS RADIOATIVOS
(⁸²Br.) - DIA 05.05.72 -

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 salgada misturada com corante (rodamina B 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 40 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 estaciômetro. Um exemplo do caminhamento do barco é mostrado, na ilustração 5. Depois de cada cruzamento da onda radioativa é possível traçar curvas de isoatividade. A radioatividade é traça-

da 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 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 a 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 traçador e a velocidade da corrente, em superfície.

9.4.3 — Dados e Resultados:

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, decaimento radioativo, 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 dos núcleos de ondas radioativas, obtidas em diferentes experiências realizadas junto a Ponta do Itaipú.

ILUSTRAÇÃO 5

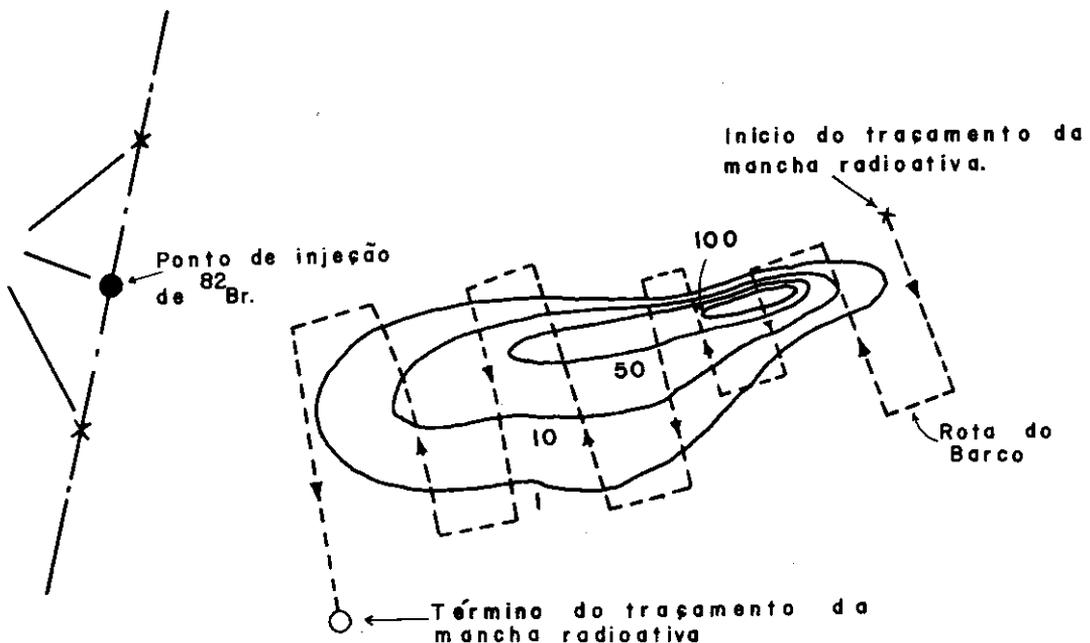
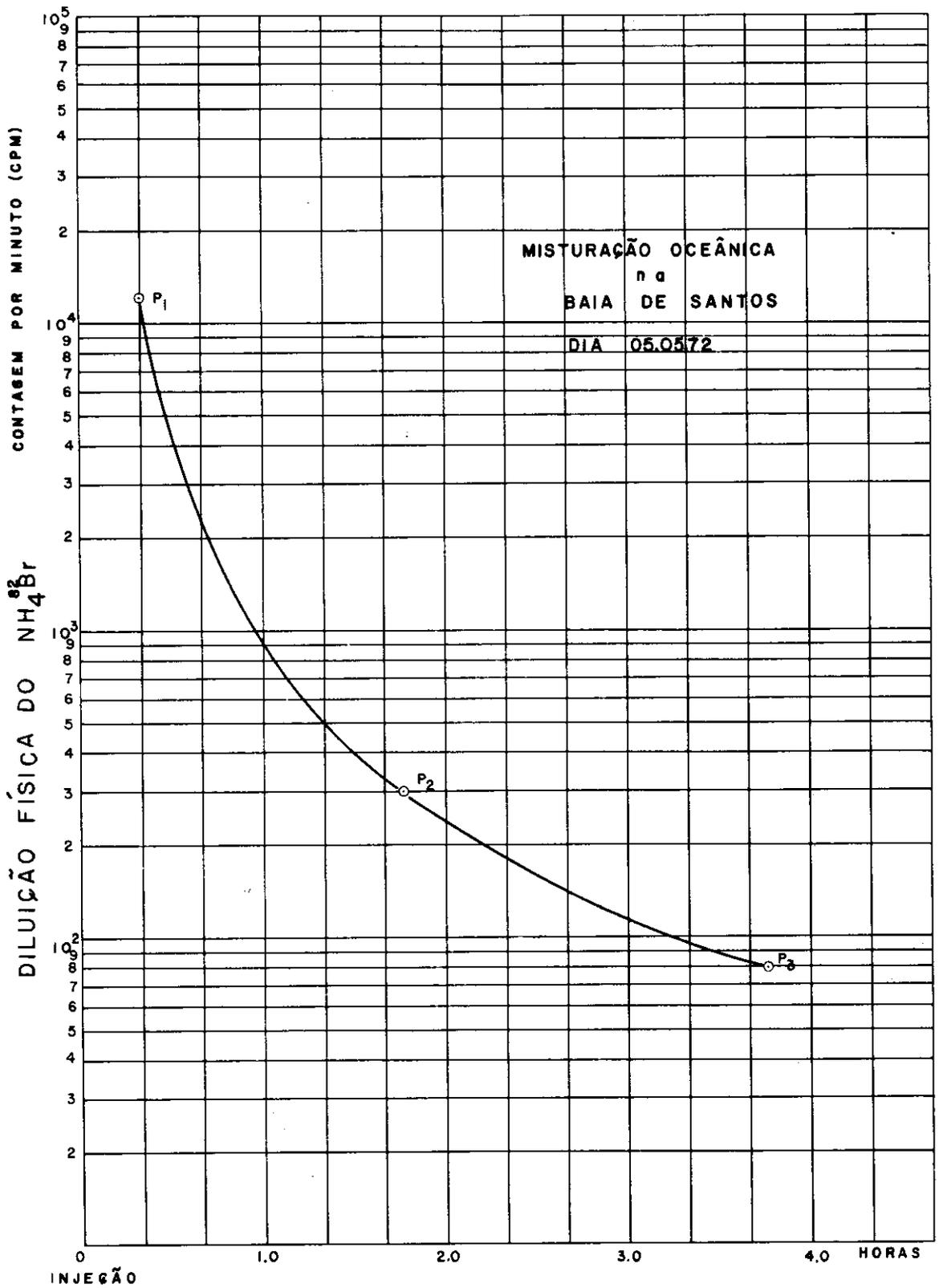
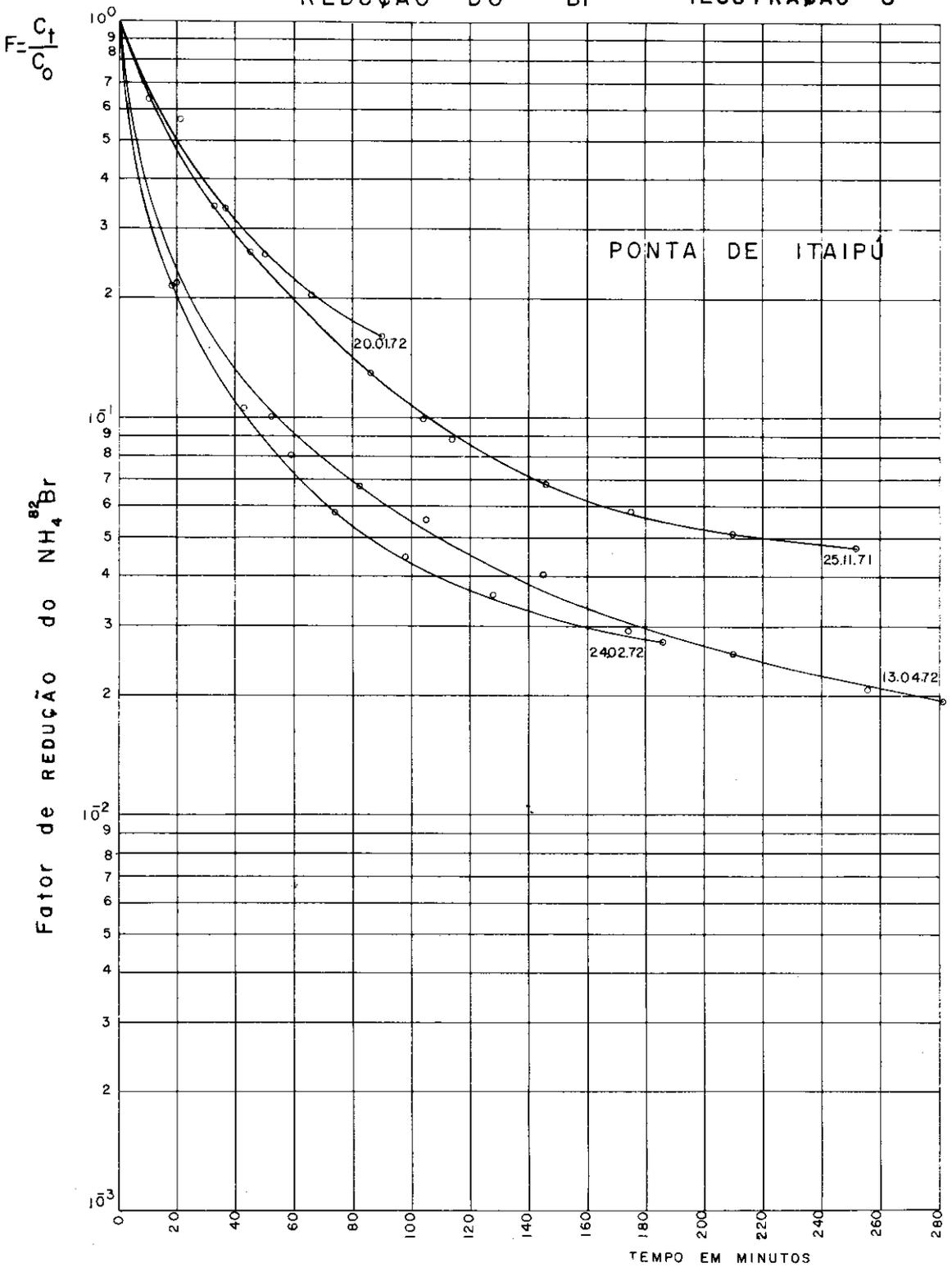


ILUSTRAÇÃO 7



REDUÇÃO DO ^{82}Br ILUSTRAÇÃO 8



A diluição física que o campo de esgotos experimentalmente 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 uma diluição de 10 partes em 35 minutos e de 100 partes cerca de 155 minutos (ver ilustração 7).

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

10 — EFICIÊNCIA DA CLORAÇÃO

Afim 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.

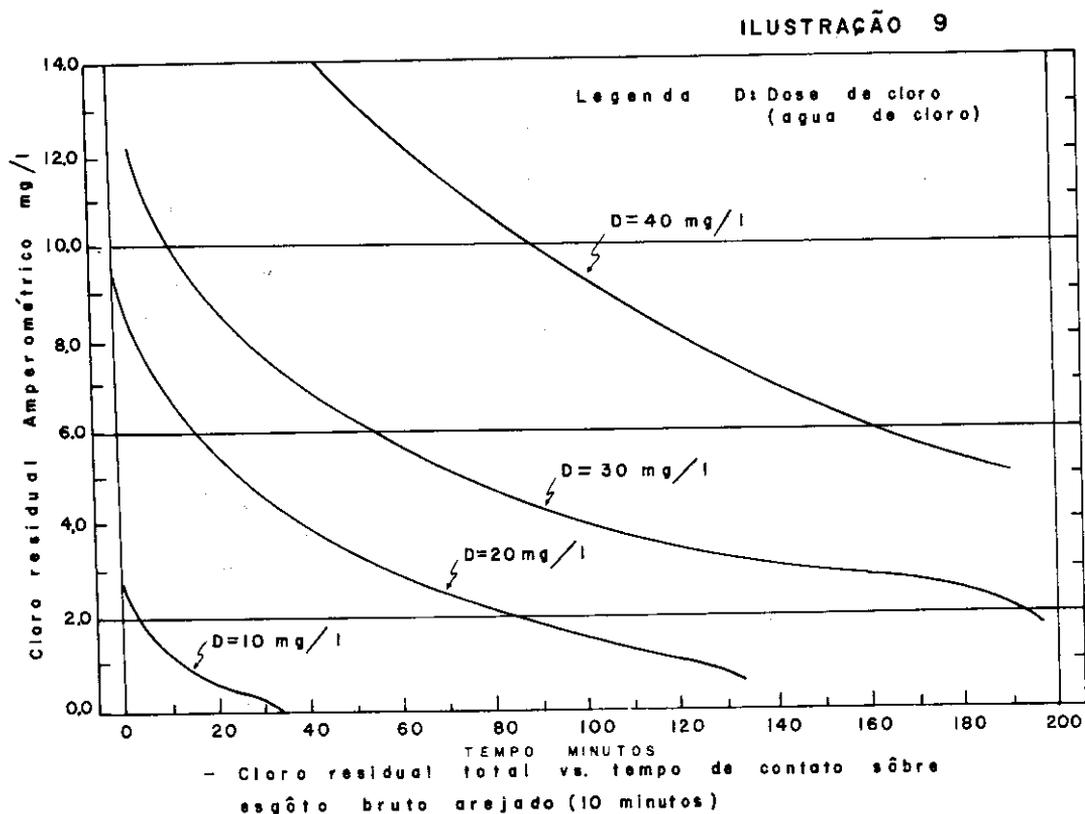
Admitindo-se que o emissário terá 4,5 km, partindo da atual Estação Central de Recalque do José Menino em Santos seguindo na direção Sul até o meio da Baía de Santos, estimou-se em 1 hora o tempo aproximado de caminhamento do esgoto no emissário, da Usina ao ponto de lançamento.

10.1 — Experiências em laboratório

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

Quanto a qualidade do esgoto, pelas próprias condições de projeto são muito variáveis uma vez que está previsto apenas um tratamento preliminar. 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 a 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 13.^a 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 nulos). 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.

10.1.2) 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 pode-se 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.

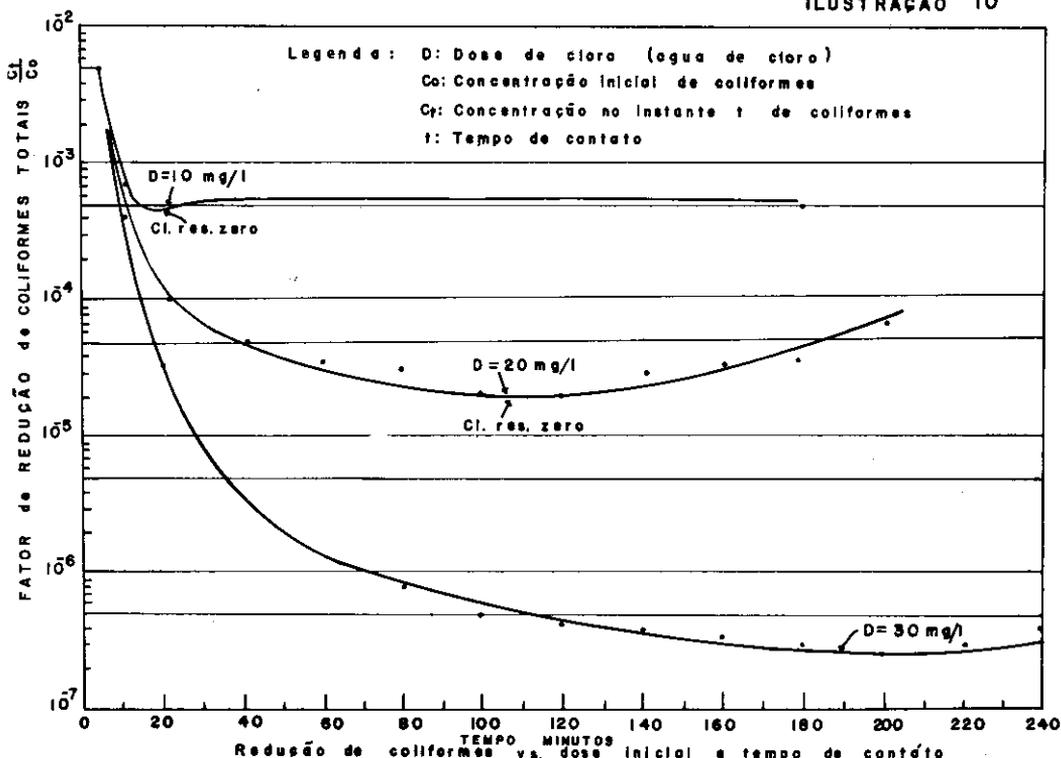
10.1.3) Comportamento do esgoto bruto e clorado quando lançado no mar.

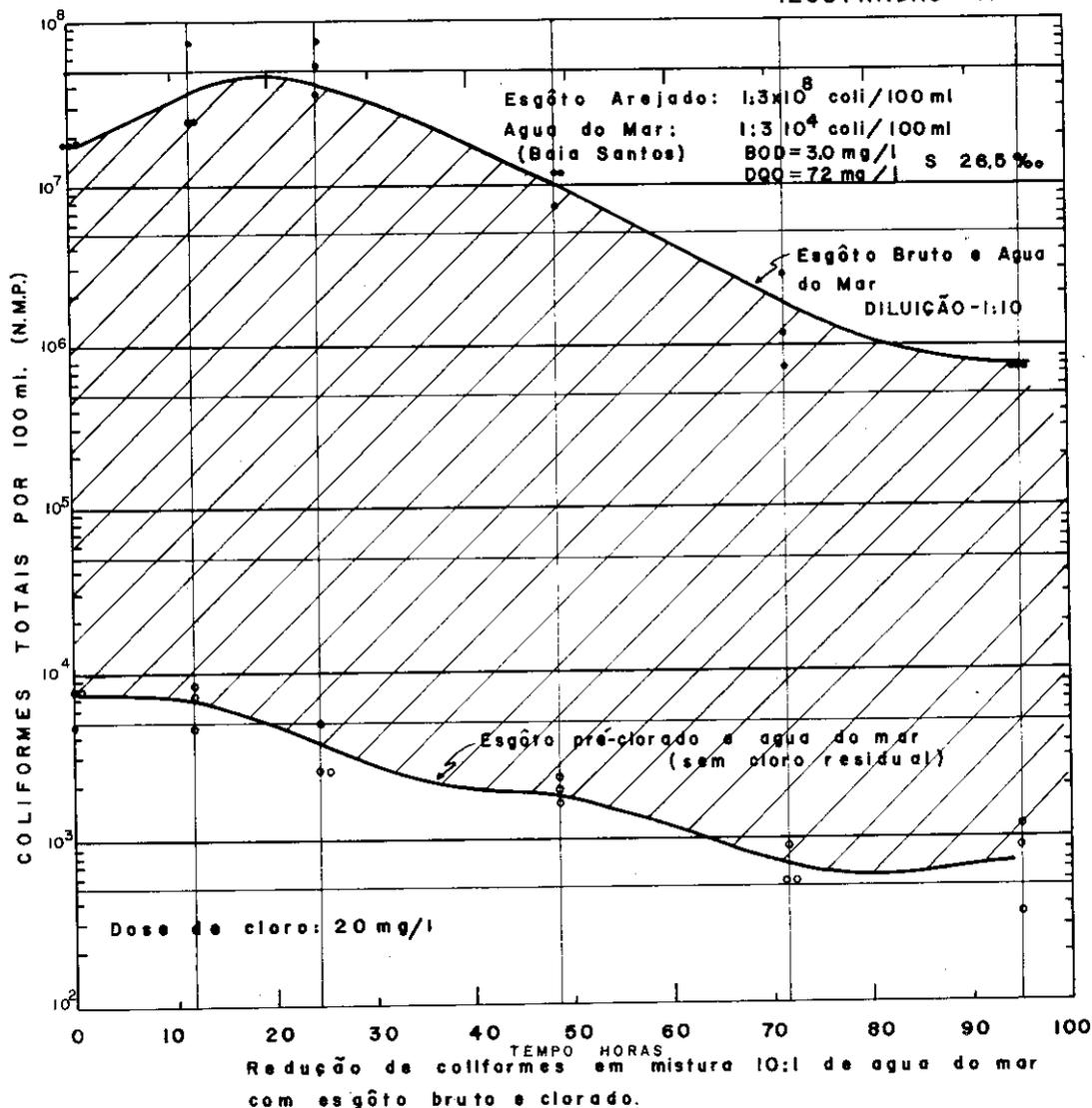
Para simular em laboratório o comportamento do esgoto na água do mar foram preparadas diversas misturas de esgoto e água do mar num volume de 4 litros e realizados exames bacteriológicos (coliformes totais) empregando-se a técnica de tubos múltiplos e ensaios em triplicatas.

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, meio da Baía e em ponto Baía afora). 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.

ILUSTRAÇÃO 10





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 constatou 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.

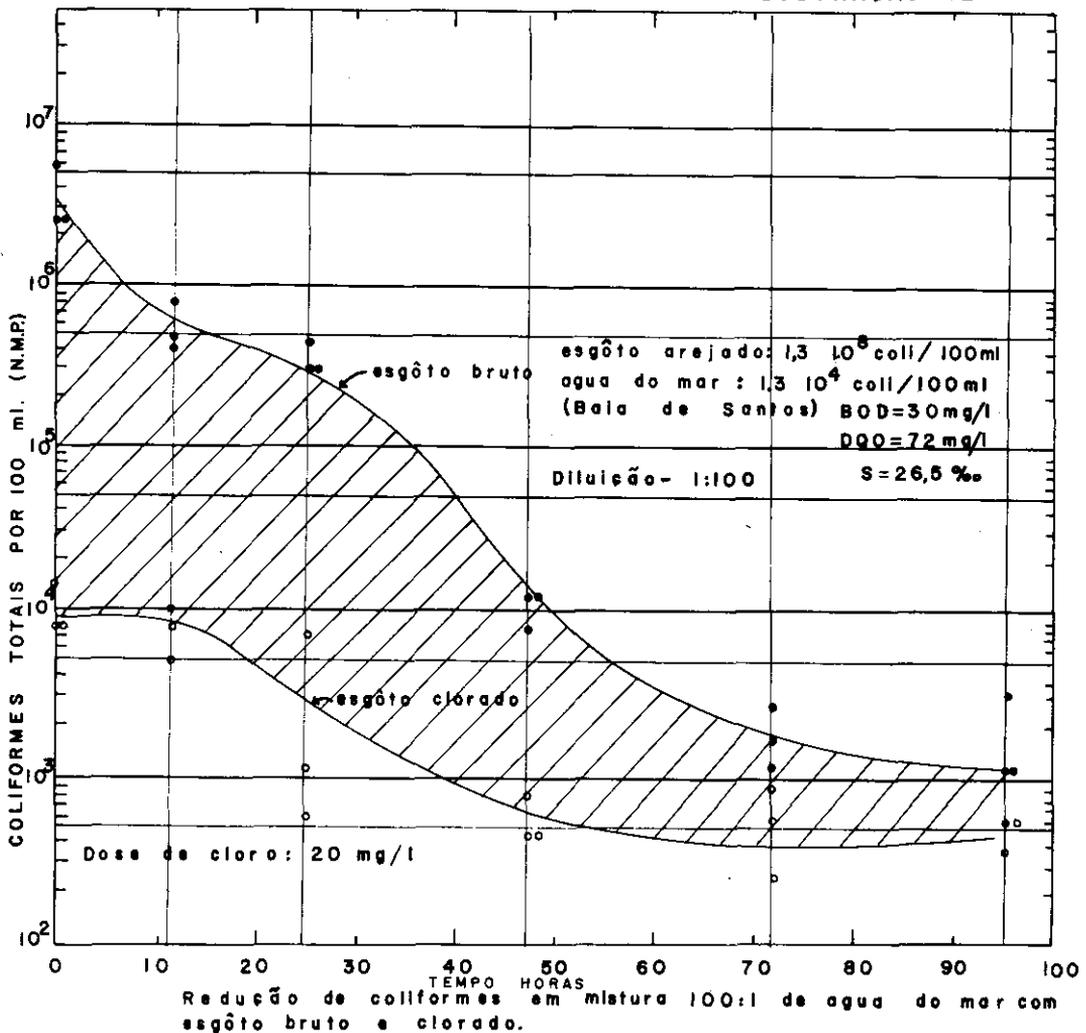
Os gráficos obtidos com outras diluições e outros corpos receptores apresentaram as mesmas tendências. Destacamos que as amostras de água do mar em geral apresentavam BOD baixo (1,7 mg/l e 0,6 mg/l).

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 também que são necessários vários dias para que uma alteração na dose de cloro produza uma modificação correspondente no declínio bacteriológico, havendo necessidade de aclimação.

O atual lançamento de esgotos da cidade de Santos, na Ponta do Itaipú, poderá ser utilizado para simular as condições reais. Esta 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 as pesquisas bacteriológicas e oceanográficas veem 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 sobre jatos turbulentos submersos. O modelo dimensiona o difusor e ensaia o seu desempenho para todas 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 eficiência de tratamento, os custos anuais e de capital do sistema de tratamento, do sistema 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 — CONCLUSÕES PRELIMINARES

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, 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 tornou-se viável em face à existência da contra-corrente de declive ou de compensação, em superfície, dirigida pelo 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 pycnocliná, 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 kg/m³, condição limite para que o escoamento gravitacional seja crítico; a diluição inicial não deve ser inferior a 30.

d) As experiências de misturação 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 misturação 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 T90 que varia de 1 a 2 horas, com duração média de 2 a 3 horas.
- fase resistente, com T90 variando entre 100 e 300 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 deve-se entretanto contar em termos técnicos e econômicos com reduções, no esgoto submetido a tratamento preliminar, superiores a 60.

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

h) O padrão de qualidade estabelecido para as águas das praias é de 10^3 coli/100 ml.

14 — APRESENTAÇÃO FINAL DOS ESTUDOS

Os estudos resumidos nesta nota técnica deverão estar concluídos no mês de setembro próximo futuro.

Todos os dados, as análises, os resultados, as conclusões e recomendações serão condensadas em um relatório final.

O relatório conterá em detalhe as técnicas e a metodologia das pesquisas e estudos realizados, com um breve resumo teórico, 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.