

ESTUDO DA DILUIÇÃO DE EFLUENTES DE ESGOTOS NO  
RIO SERGIPE

Maio-Junho/1976

# ESTUDO DA DILUIÇÃO DE EFLUENTES DE ESGOTOS NO RIO SERGIPE

## RESPONSÁVEIS TÉCNICOS

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

## EQUIPES:

### TRABALHO DE CAMPO

Pedro Edmundo Aun  
José Olympio N.M. de Castro  
Jefferson Vianna Bandeira  
Geraldo Godinho Pinto  
Duarte Augusto Costa  
Dario da Cruz

### PREPARAÇÃO

Pedro Edmundo Aun  
José Olympio N. M. de Castro  
Jefferson Vianna Bandeira  
Vera Lucia M. Dias da Costa  
Altair D. de Sousa  
Ricardo da Silva Gomes  
José Soares dos Santos  
Antonio Fioravante Neto  
Geraldo Godinho Pinto  
José Joaquim Lima de Campos  
Luiz Raphael Aun

### ANALISE E RELATÓRIO

Pedro Edmundo Aun  
Duarte Augusto Costa  
Vera Lucia M. Dias da Costa  
Luiz Raphael Aun  
José Joaquim Lima de Campos  
Antonio Fioravante Neto

## ÍNDICE

	PÁGINA
RESUMO	
I. INTRODUÇÃO	1.
II. MEDIDAS DE DISPERSÃO COM A UTILIZAÇÃO DE TRAÇADORES	3.
II.1. Observações Gerais.	3.
II.2. O Método da Integração.	3.
II.3. O Método da Injeção a Vazão <u>Cons</u> tante.	5.
III. A METODOLOGIA UTILIZADA EM ARACAJU	7.
III.1. Parte Preparatória.	7.
III.2. O Trabalho de Campo	9.
IV. ANÁLISE DOS RESULTADOS	15.

## RESUMO

Este relatório apresenta os resultados das medidas de diluição de efluentes de esgotos, realizadas em A racaju pelo Laboratório de Radioisótopos do Instituto de Pesquisas Radioativas. O trabalho foi realizado para a Engenheiros, Consultores, Projetistas S.A., por solicitação da Companhia de Saneamento de Sergipe (DESO).

Foi utilizado o método da injeção a vazão constan<sup>te</sup>, marcando-se o esgoto com ouro 198. Durante a dispersão do material marcado no Rio Sergipe, eram executadas detecções, por meio de um barco que transportava contadadores de cintilação e o equipamento associado.

As injeções cobriram uma maré de quadratura e uma maré de sizígia, sendo realizadas em diferentes estágios de maré: preamar, baixa-mar, meia maré enchente e meia maré vazante. Um total de 9 injeções, com 5Ci cada uma, foi executado, nos dias 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13 e 15 de maio de 1976.

Os resultados foram analisados pela comparação da atividade medida em cada ponto do rio com a atividade total injetada. Os pontos de mesma diluição foram unidos por curvas contínuas, que representam o resultado final do trabalho.

Concluiu-se que, do ponto de vista da diluição fisica, os períodos críticos são a baixa-mar e a preamar. Durante todo o trabalho, foram coletadas amostras de água do rio, para medidas biológicas e foram realizadas medidas de direção e de velocidade da corrente.

## ESTUDO DA DILUIÇÃO DE EFLUENTES DE ESGOTOS NO RIO SERGIPE

### I. INTRODUÇÃO

A Companhia de Saneamento de Sergipe (DESO) está estudando atualmente as condições de descarga dos esgotos de Aracaju no Rio Sergipe. Uma das soluções propostas para o problema é a construção de um emissário que transporte os efluentes até um ponto suficientemente afastado das margens para assegurar boas condições sanitárias às regiões próximas, residenciais ou de recreação.

Para complementar os estudos que realiza diretamente, o DESO contratou a empresa Engenheiros, Consultores, Projetistas S.A. (ECP) para a verificação da viabilidade do projeto. A ECP estabeleceu contatos com o Laboratório de Radioisótopos, do Instituto de Pesquisas Radioativas da NUCLEBRÁS para a realização de medidas de diluição de efluentes no Rio Sergipe, utilizando traçadores radioativos.

Durante a realização das medidas com radioisótopos, é necessário coletar amostras de água do estuário, para determinação de teores de E. Coli, ficando estas medidas a cargo de uma equipe contratada diretamente pela ECP.

Finalmente, para a execução e análise das medidas hidráulicas necessárias à interpretação dos dados de diluição, foi contratado o Instituto de Pesquisas Hidroviárias (INPH) da Portobrás.

O DESO encarregou-se diretamente da construção do emissário experimental, através do qual seria feito o lançamento do esgoto.

O estudo foi efetuado no estuário do Rio Sergipe, que se desenvolve praticamente no sentido S.N., em uma área situada entre  $10^{\circ}53'$  e  $10^{\circ}57'$  de latitude sul e entre  $37^{\circ}02'$  e  $37^{\circ}03'$  de longitude oeste. A área de trabalho situa-se em frente à cidade de Aracaju, estendendo-se da embocadura do Rio Pomonga até a embocadura do rio Sergipe.

## II. MEDIDAS DE DISPERSÃO COM A UTILIZAÇÃO DE TRAÇADORES

### II.1. Observações Gerais.

A técnica de traçadores, radioativos e/ou fluorescentes, em estudos de dispersão é amplamente usada em todo o mundo. A escolha de um ou outro tipo de traçador depende principalmente das condições locais, pois ambos apresentam vantagens e problemas. Há duas técnicas experimentais que podem ser utilizadas: o método da integração e o método da injeção a vazão constante.

### II.2. O Método da Integração.

Este é o processo mais utilizado em estudos em ambiente marinho. O Laboratório de Radioisótopos já o empregou em Itaorna (RJ), no Rio de Janeiro e em Santos (SP). Basicamente, o processo consiste em injetar um traçador, de modo instantâneo, no ponto a ser estudado. A sua evolução é acompanhada, em função do tempo, por meio de detectores transportados em um barco. Se for utilizado um traçador radioativo, os detectores são, em geral, cintilômetros; quando se empregam traçadores fluorescentes, utiliza-se, normalmente, um fluorímetro contínuo. O objetivo da detecção é determinar, em determinados instantes, a

posição e a distribuição de traçador na nuvem produzida pela injeção. Isto é conseguido fazendo-se o barco de detecção cobrir toda a nuvem radioativa, sendo sua trajetória determinada por um sistema de posicionamento tal como uma rede de teodolitos ou um sistema de navegação por radar ou rádio. Logo que o barco completa a cobertura da nuvem radioativa, ele inicia uma nova detecção da nuvem, em outra posição. O resultado das medidas é, portanto, uma série de configurações de nuvens isoladas de traçador desde o ponto de injeção até o ponto em que a diluição se torna maior do que a mensurável pelo detector. As diversas posições dos centros de gravidade das nuvens fornecem a velocidade média de propagação do traçador. A determinação da diluição em cada ponto é realizada a partir da seguinte propriedade: uma injeção contínua (que fornece diretamente a diluição em cada ponto) é a resultante de uma infinidade de injeções instantâneas. Os traçadores mais utilizados com este método são o Br-82, no caso de se utilizarem radioisótopos e a Rhodamina ou a fluoresceína, no caso de se empregar um material fluorescente.

Em Aracaju, o trecho de medida era da ordem de 3,5km, a montante e a jusante do ponto de injeção. Como o estuário apresenta correntes superiores a 1m/s, o tempo disponível para a detecção completa era inferior a uma hora. Este intervalo de tempo é insuficiente para determinar 3 ou 4 configurações da nuvem de traçador, como é necessário para a obtenção de resultados confiáveis. Em vista disso, optou-se pelo método da injeção a vazão constante.



### II.3. O Método da Injeção a Vazão Constante.

O método consiste em injetar-se, no ponto de descarga do efluente, uma vazão constante e conhecida de um traçador, durante um tempo suficientemente longo para estabelecer, em toda a região a ser estudada, um patamar de concentração. A injeção a vazão constante produz uma única nuvem, cobrindo toda a área de estudo. Quando o tempo de injeção é suficientemente longo, a concentração de traçador em um ponto qualquer da nuvem não varia com o tempo - diz-se, então, que se estabeleceu um patamar de concentração naquele ponto. Se considerarmos um outro ponto qualquer da nuvem, ele também apresentará uma concentração constante no tempo, porém diferente da concentração obtida no ponto anterior. Esta diferença nas concentrações é devida ao fenômeno da dispersão turbulenta e faz com que as diluições de traçador variem de um ponto a outro do rio. Para determinar as diluições em cada ponto, cruza-se o rio com um barco que transporta um detector de cintilação submerso a cerca de 1m da superfície.

A posição do barco é determinada, a intervalos de tempo pre-fixados, por um sistema de posicionamento. A diluição do traçador em cada ponto é obtida dividindo-se a concentração medida no ponto pela concentração do material injetado. Esta é determinada a partir de uma amostra da solução injetada. Com este método não é possível determinar-se a velocidade da nuvem de traçador, que deverá ser calculada a partir de medidas com flutuadores ou com correntômetros.

A análise dos resultados, para determinação de diluições, é mais simples no caso da injeção a vazão constante. A desvantagem principal do método é exigir a utilização de maior quantidade de traçador do que no caso do método por integração, pois, para se obter em um determinado ponto uma concentração constante, é necessário injetar-se o traçador durante um tempo superior ao da passagem completa, no ponto, de uma nuvem produzida por uma injeção instantânea.

### III. A METODOLOGIA UTILIZADA EM ARACAJU

#### III.1. Parte Preparatória.

Devido ao fato, citado anteriormente, de não haver tempo suficiente para a cobertura completa da nuvem radioativa proveniente de uma injeção instantânea, causa do pela combinação de uma distância curta de detecção com altas velocidades de corrente, decidiu-se utilizar o método de injeção a vazão constante.

Uma experiência prévia foi realizada nos dias 30 e 31 de março e 1º de abril, utilizando-se traçadores fluorescentes e injeção instantânea, com a finalidade de determinar-se a ordem de grandeza das durações da injeção a vazão constante. Os dados obtidos permitiram fixar esta duração entre 30 minutos e 1 hora, conforme as velocidades superficiais da corrente no estuário.

Devido a problemas de meia-vida (tempo necessário para que uma determinada quantidade de radioisótopo se reduza à metade) e de tempo de irradiação, não foi possível a utilização de bromo radioativo, optando-se pelo emprego de ouro. O radioisótopo escolhido foi o Au-198, emissor gama com uma meia-vida de 2,7 dias, que emite radiação com a energia principal de 411 kev, o que é favorável do ponto de vista da radioproteção e da eficiência de detecção.

A atividade a injetar foi estimada a partir dos dados das experiências preliminares, combinando as dimensões da nuvem, os tempos de passagem observados, hipóteses sobre o misturamento do traçador no rio e a resposta das sondas de detecção a atividades conhecidas. O valor encontrado a partir dessas considerações foi de 5Ci, o que é uma atividade relativamente importante e que exige manuseio por pessoal altamente especializado. Um modelo matemático simples, do tipo gaussiano, foi utilizado para calcular as concentrações esperadas em final de detecção, estimando-se os seus parâmetros a partir dos dados obtidos com traçadores fluorescentes. Seus resultados indicaram que a atividade anteriormente calculada deveria ser suficiente, o que foi confirmado na prática.

Em relação à proteção do público, as concentrações máximas permitidas em água potável, fixadas por normas internacionais, são de  $100\mu\text{Ci}/\text{m}^3$ . Como foram utilizados  $5 \times 10^6 \mu\text{Ci}$ , a dose máxima permissível para água potável será atingida quando o traçador estiver diluído em  $50.000\text{m}^3$  de água. Supondo-se que a profundidade média na região de trabalho é de 5m, que a largura da nuvem é 50m, e que o misturamento vertical é rápido, o que é um fato comprovado experimentalmente, esta diluição seria conseguida a 200m do ponto de injeção. Como o traçador nunca chegou à margem nos primeiros 200m após o ponto de injeção, as doses na margem devem ter sido sempre inferiores às concentrações máximas permissíveis, o que permite concluir-se que o público não sofreu qualquer risco radioativo.

Ainda em relação ao traçador utilizado, foram realizados testes de marcação de material de esgoto, no Laboratório de Radioisótopos, antes do início do trabalho. Verificou-se que parte do ouro se fixa, sobre os sólidos presentes no efluente, enquanto que o restante permanece em solução. Em um regime altamente turbulento como o do estuário do Rio Sergipe, não é de se esperar que os finos marcados se decantem entre o ponto de injeção e o final da detecção, visto que, em água calma, a sua velocidade de decantação é baixa. Considerou-se, então, que o ouro é capaz de representar bastante bem o comportamento global do material estudado, constituindo-se em um bom traçador.

Ainda durante a fase preparatória, foram calibradas, em laboratório, as 3 sondas utilizadas no trabalho. Esta calibração consiste em determinar a resposta de cada sonda a uma atividade conhecida, diluída em um volume conhecido de água.

### III.2. O Trabalho de Campo.

A equipe do Laboratório de Radioisótopos, com 3 engenheiros e 3 técnicos chegou a Aracaju no dia 2 de Maio. Os dias 3 e 4 foram dedicados à montagem do equipamento no barco de detecção (o "Bom Jesus dos Navegantes", barco de pesca com cerca de 10m de comprimento), à preparação da primeira injeção e a testes prévios.

O principal agente hidráulico que atua no estuário é a maré, que apresenta amplitudes em sizígia superiores a 2m. A dispersão dos efluentes lançados no estuário é causada principalmente pelas correntes de maré. Este fato levou à programação de uma série de lançamentos de traçadores radioativos, em diversas fases de maré, cobrindo uma fase de sizígia (5 injeções) e outra de quadratura (4 injeções).

As injeções foram realizadas em dias com marés de mesma amplitude, para tornar os resultados comparáveis entre si. Os estágios de maré em que foram feitas injeções foram a baixa-mar, a preamar e as meias marés, enchente e vazante.

O quadro abaixo resume as injeções planejadas e executadas.

Data	Estágio da maré	Hora Prevista	Amplitude (m)	Hora da Injeção
05/05	BM	14:30	1,2	15:15
06/05	PM	08:50	1,1	09:40
07/05	MMV	13:40	1,2	13:50
08/05	MME	08:30	1,1	08:30
11/05	PM	14:10	2,1	15:20
12/05	MME	12:05	2,1	12:10
13/05	BM	10:00	2,1	10:50
15/05	MMV	08:10	2,1	10:00
15/05	BM	11:30	2,0	12:35

Na prática, as injeções em meia maré foram realizadas nos horários previstos, exceto a do dia 15/5. As injeções em baixa-mar e preamar sempre tiveram seu início retardado de 40 minutos a 1 hora, pois se esperava o término da estofa, isto é, que se estabelecesse uma corrente com direção definida. A injeção em meia-maré, no dia 15, foi atrasada devido às fortes chuvas que caíram naquele dia.

Durante todo o período experimental, a equipe do INPH mediu correntes durante marés completas (cerca de 12 horas de medida) em pontos diversos de uma secção situada em frente à Capitania dos Portos. Registros da maré foram também efetuados em 2 marégrafos, um deles localizado na antiga Inspetoria Fiscal do Porto de Aracaju e o outro situado nas proximidades da Administração do Porto. Dados de vento foram obtidos no Aeroporto de Santa Maria.

O esquema de injeção foi assim organizado:

- i. Abertura da blindagem de transporte e retirada do tubo contendo o radioisótopo.
- ii. Abertura do tubo e transferência do radioisótopo para o frasco de dissolução, protegido por blindagem de chumbo.
- iii. Ataque, a quente, do ouro por água régia, até dissolução completa.
- iv. Neutralização da solução com hidróxido de sódio.

- v. Transferência da solução para outra blindagem de transporte, levada até o local de injeção.
- vi. Retirada da solução, que é lançada, com agitação, sobre 20 ou 30 litros do esgoto a ser marcado,
- vii. Retirada de uma alíquota do material marcado, para calibração.
- viii. Injeção do esgoto marcado, através de uma bomba peristáltica, a vazão constante.

As injeções em quadratura foram realizadas a partir de um barco alugado em Aracaju, o "Edna", suficientemente longo para permitir que os técnicos encarregados da injeção mantivessem uma distância suficiente, para a sua proteção, do material radioativo. As injeções em sizígia foram feitas diretamente no emissário construído pelo DESO e situado em frente à Rua Barão de Maruim. O emissário tinha cerca de 120m de comprimento e lançava o esgoto dentro do canal de navegação do estuário, em local com profundidade da ordem de 12m. A extremidade do emissário estava localizada a cerca de 1m abaixo da superfície da água, presa a um conjunto de boias. Nas proximidades da entrada do emissário foi construída, pelo DESO, uma parede de proteção com cerca de 50cm de espessura, atrás da qual era colocado o recipiente de injeção. Além disso, para proteção do público, a área, que se situa em local bastante movimentado, foi cercada por um cordão de isolamento.



O posicionamento do barco que executou as detecções foi realizado por triangulação a vante, a partir de uma rede de triangulação previamente estabelecida pela ECP. Foram utilizadas bases na Ponte do Imperador, no Iate Clube e na Ponta do Colombiano. A comunicação entre os teodolitos e o barco era feita por radio-transmissores portáteis.

Antes do início da injeção, o barco de detecção era colocado nas proximidades das boias que marcavam a boca do emissário. Após ser iniciada a injeção, deixava-se decorrer um período de 15 a 30 minutos sem se iniciar a detecção, para esperar-se o estabelecimento de um regime permanente nos locais de medida. Imediatamente antes do início da detecção era lançado um flutuador, sensível às correntes a 1m abaixo da superfície.

A detecção era feita sempre nas proximidades do flutuador, percorrendo-se o rio transversalmente até atingir-se uma região na qual a diluição era superior à sensibilidade do equipamento de medida. O detector utilizado era um detector de cintilação SRAT, tipo SPP3, com um cristal de iodeto de sódio, colocado a 1m abaixo da superfície.

O equipamento completo da detecção constava de:

- i. detectores de cintilação SRAT
- ii. registradores gráficos bi-canais Moseley
- iii. contadores de impulsos Hewlett Packard

- iv. impressora de dados Hewlett Packard
- v. quadro de controle
- vi. gerador a gasolina Honda, 1500W
- vii. radio-transmissores Tokay

Após o término de cada detecção, procedia-se à calibração da sonda em uma caixa de volume conhecido, na qual era colocado um volume conhecido da solução que fora injetada no rio. O resultado dessa calibração permitia calcular qual era a atividade total injetada no rio. Dividindo-se a atividade detectada em cada ponto pela atividade total injetada, obtém-se a diluição no ponto. Ligando-se por uma curva contínua todos os pontos que apresentam a mesma diluição, obtém-se um conjunto de curvas para cada detecção. Estas curvas de isodiluição são apresentadas nas Figuras 1 a 9 e indicam a dispersão do efluente de esgoto em cada condição estudada. Nestas figuras aparecem também os pontos nos quais foram colhidas amostras do rio para contagem de E. Coli.

A combinação da diluição física, fornecida pelas curvas de isodiluição, com o número de Coli presentes permite estimar-se o comportamento global do esgoto descarregado pelo emissário, a distâncias diferentes do ponto de injeção.

#### IV. ANÁLISE DOS RESULTADOS

O tratamento dos dados experimentais mostrou que os dados coletados no campo foram bastante coerentes, não havendo nenhuma dificuldade em se estabelecerem as curvas de isodiluição, que eram a finalidade básica deste trabalho.

As curvas do dia 05/05 são mais curtas do que as que se poderiam obter, visto que a detecção foi interrompida por falta de luz. As curvas correspondentes à injeção em baixa-mar, no dia 15/05, também foram truncadas, pois o barco de detecção apresentou um sério defeito mecânico durante a detecção. Entretanto, a injeção em baixa-mar teve uma detecção completa no dia 13/05.

Uma breve análise das Figuras 1 a 9 mostra que:

i. As condições mais críticas, isto é, aquelas em que ocorre menor diluição, são a baixa-mar e a preamar. A menor diluição deve-se, certamente, às menores velocidades de corrente que são observadas nestes períodos, pois a injeção era feita logo que terminava o período de estofa. As maiores diluições são, portanto, observadas nas meias marés, quando existem altas velocidades de corrente. Estas observações são válidas tanto em sizígia como em quadratura.

ii. Não foram observadas diferenças importantes em diluição quando se compara o período de sizígia com o

de quadratura.

Pode-se, entretanto, observar uma maior dispersão lateral no período de quadratura, o que se reflete por curvas de isodiluição mais largas.

Observa-se também que, em quadratura, a curvatura do estuário na região do Iate Clube tem um papel importante na dispersão. Após a curva, o traçador se distribui praticamente em toda a largura do estuário. Esta influência é menor em sizígia, do que em quadratura.

Nas figuras, aparecem também as posições em que foram coletadas as amostras de água, para medidas biológicas, no decorrer das detecções.