

ESTUDO DA MOVIMENTAÇÃO DE SEDIMENTO DE
FUNDO NA REGIÃO DA EMBOCADURA DO RIO
POTENGI, NATAL, RIO GRANDE DO NORTE

- Dezembro/78 -

ESTUDO DA MOVIMENTAÇÃO DE SEDIMENTO DE FUNDO NA REGIÃO DA
EMBOCADURA DO RIO POTENGI, NATAL, RIO GRANDE DO NORTE

Utilização de Traçadores Radioativos
em Regime de Verão e de Inverno

AUTORES

Pedro Edmundo Aun
Jefferson Vianna Bandeira
Rubens Martins Moreira
Virgílio Lopardi Bomtempo

EQUIPE DE CAMPO

Jefferson Vianna Bandeira	José Joaquim L. de Campos
Rubens Martins Moreira	Geraldo Godinho Pinto
Virgílio Lopardi Bomtempo	Antônio Fioravante Neto
Rodrigo Otávio P. Dolabela	Edgard de Andrade Chagas
José Olympio N. M. de Castro	Duarte Augusto Costa
Luiz Fontoura Lorenzoni	Ricardo da Silva Gomes

EQUIPE DE ANÁLISE

Pedro Edmundo Aun
Virgílio Lopardi Bomtempo
Vera Lúcia M. Dias da Costa
José Joaquim Lima de Campos
Luiz Raphael Aun

Dezembro/78

RELAÇÃO DAS FIGURAS

- Figura 1 Carta da região em estudo.
- Figura 2 Pontos de coleta de amostra.
- Figura 3 Curva granulométrica do material injetado.
- Figura 4 Localização dos pontos de injeção.
- Figura 5 Curvas de isocontagem (28/11/77).
- Figura 6 Curvas de isocontagem (29/11).
- Figura 7 Curvas de isocontagem (03/12).
- Figura 8 Curvas de isocontagem (31/01/78).
- Figura 9 Curvas de isocontagem (10/03).
- Figura 10 Curvas de isocontagem (13/06).
- Figura 11 Curvas de isocontagem (03/08).
- Figura 12 Diagrama transporte (28/11/77).
- Figura 13 Diagrama transporte (03/12).
- Figura 14 Diagrama transporte (10/03/78).
- Figura 15 Diagrama transporte (03/08).
- Figura 16 Curvas de isocontagem (24/01/78).
- Figura 17 Curvas de isocontagem (27/01).

- Figura 18 Curvas de isocontagem (01/02).
- Figura 19 Curvas de isocontagem (15/03/78).
- Figura 20 Curvas de isocontagem (18/03).
- Figura 21 Curvas de isocontagem (04/08).
- Figura 22 Diagrama transporte (15/03/78).
- Figura 23 Diagrama transporte (18/03).
- Figura 24 Diagrama transporte (04/08).
- Figura 1A Curvas de isocontagem (05/11/78).
- Figura 3A Diagrama de transporte (05/11/78).

ESTUDO DA MOVIMENTAÇÃO DE SEDIMENTOS NA REGIÃO
DA BARRA DO RIO POTENGI - NATAL (RN)

I. INTRODUÇÃO

O presente relatório refere-se à execução do trabalho previsto no Contrato nº 143/76, estabelecido entre a Empresa de Portos do Brasil S.A. - PORTOBRÁS - e as Empresas Nucleares Brasileiras S.A. - NUCLEBRÁS -, para estudos da movimentação de sedimentos na região da Barra do Rio Potengi, em Natal, bem como à apresentação de resultados quantitativos desses estudos, de acordo com o Plano de Trabalho apresentado pelo Instituto de Pesquisas Radioativas - IPR -, atual Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN. São órgãos executores deste Contrato o Instituto de Pesquisas Hidroviárias - INPH -, de parte da PORTOBRÁS e o Instituto de Pesquisas Radioativas - IPR -, por parte da NUCLEBRÁS. O IPR designou para execução dos trabalhos a Divisão de Radioisótopos, pelo fato de envolver a utilização de traçadores radioativos e ainda, em experiência pioneira, de traçadores fluorescentes.

A necessidade de um estudo dessa natureza se prende ao fato de a PORTOBRÁS pretender melhorar o acesso ao porto de Natal, com o alargamento do canal e o aprofundamento da barra do Rio Potengi, fig. 1.

O estudo da movimentação dos sedimentos nessa re

gião poderá subsidiar o projeto e a execução das obras de engenharia necessárias.

Ao largo dos recifes ao sul da entrada da barra, foi executado o trabalho com traçadores radioativos, já que o fundo arenoso razoavelmente livre de obstáculos permite o emprego de tal técnica. Para a movimentação de sedimentos próxima aos recifes optou-se, em experiência pioneira, pelo uso de traçadores fluorescentes; o resultado desse trabalho será objeto de um relatório separado.

Através do uso de traçadores radioativos pode-se acompanhar por períodos longos o comportamento do material no fundo, integrando todas as ações hidráulicas que ocorreram no período de acompanhamento. Há dois regimes hidráulicos distintos na região de Natal; um característico de verão e outro, de inverno. Daí ter sido o trabalho programado para cobrir esses dois regimes: foram feitos estudos entre novembro e março, durante o verão, e entre abril e agosto, no período de inverno.

II. O EMPREGO DE TRAÇADORES

Entende-se por traçador uma determinada substância que permita marcar uma fração de uma população e que apresente alguma propriedade que permita acompanhar seu comportamento, quando sujeito aos mesmos processos a que está sujeita a população.

Para que se possa inferir, do comportamento do traçador, os processos por que passa também a população, é necessário que o traçador seja representativo. Portanto, ele deve reagir do mesmo modo que a população aos fenômenos a que estão sujeitos.

No caso em estudo, o comportamento do traçador deve permitir conclusões sobre velocidades de movimentação, dispersão e concentrações em pontos determinados.

Dois foram os tipos de traçador utilizados nos trabalhos de sedimentologia em Natal.

A princípio foi utilizado o Irídio 192. Sendo um emissor gama de espectro complexo, com 74 dias de meia-vida (tempo para que uma dada quantidade de radioisótopo se reduza à metade de seu valor inicial), permite seu emprego em experimentos que exijam tempo de observação longo. Como não existe um método simples de marcação do sedimento de fundo com Irídio, adota-se um processo alternativo de eficiência comprovada. Assim, após recolher amostras do material jazente no fundo e estudar sua granulometria, compõe-se uma curva granulométrica, feita com vidro moido,

o mais próxima possível da curva obtida com as amostras. Na composição desse vidro está presente o irídio. Após irradiação em reator nuclear, o material está pronto para ser injetado no fundo, de acordo com o que se mostra no capítulo IV. Foram realizadas, na região, 2 injeções; uma apresentando granulometria exata do material do fundo e a segunda, com uma fração fina do sedimento.

Tanto o vidro injetado com granulometria total quanto aquele de granulometria fina, ambos marcados com i rídio 192, foram obtidos pelas mesmas técnicas.

O trabalho de marcação de amostra de granulometria fina com ouro 198, o outro tipo de traçador utilizado nos experimentos de Natal, difere do trabalho de marcação com irídio.

Inicialmente a areia é lavada e tratada com HCl e NaOH para eliminação de carbonatos e sulfetos. Após ser novamente lavada, é feita a secagem e a classificação granulométrica final, por peneiramento. A seguir, por processo de laboratório exaustivamente testado, é feita a marcação da areia com prata inativa, que fica adsorvida aos grãos.

Finalmente, adiciona-se o ouro radioativo, previamente dissolvido em água régia, a quente. A areia é então lavada com água destilada para neutralização, e tem-se pronto para a injeção o material radioativo, areia marcada com ouro 198.

Deve aqui ser citada a característica de ser integrador o método de traçadores. Em um dado instante, a configuração apresentada pelo traçador representa a resultante de todas as ações por ele sofridas durante o período de observação.

A ação conjunta de vários agentes de movimentação, como ventos, correntes, ondas e marés determina a distribuição do traçador. A priori não é possível separar o efeito produzido por cada um desses agentes. Para a compreensão do fenômeno é importante, então, conhecer e quantificar todos os possíveis agentes que atuarão sobre o traçador. Os objetivos gerais do uso de traçadores no estudo dos fenômenos de transporte podem ser resumidos em:

- a. descrição do transporte ocorrido, com determinação das áreas atingidas pelo traçador e das direções de movimentação;
- b. quantificação dos parâmetros relativos ao transporte, tais como velocidades de movimentação e, em casos especiais, vazões sólidas;
- c. verificação das hipóteses baseadas em informações hidráulicas prévias ou explicação dos fenômenos ocorridos, em função dos dados hidráulicos coletados.

Estas determinações sedimentológicas, obtidas a partir da utilização de traçadores, além de proporcionar uma melhor compreensão do que se passa na natureza, tem grande utilidade no trabalho de regulação de modelos reduzidos.

zidos do fundo móvel eventualmente necessários para o estudo dos efeitos das intervenções humanas que se pretendam realizar em um trecho costeiro, estuarino ou fluvial.

A análise dos dados colhidos permitirá conclusões sobre o comportamento do material do fundo da região em estudo. Apesar dessa análise seguir uma metodologia conhecida, a interpretação do trabalho dependerá sempre da experiência e do bom senso da equipe que o executou.

III. APLICAÇÃO DE TRAÇADORES EM ESTUDOS DE MOVIMENTAÇÃO DE SEDIMENTOS EM FUNDOS.

No capítulo II tratamos da marcação do material para a injeção no fundo. Cada injeção é um problema particular que merece uma solução específica. Logo após a injeção é feita uma detecção de radiações nas proximidades do ponto para avaliar a sua qualidade.

Nos dias, semanas e até meses seguintes, dependendo do caso, faz-se novas detecções do material radioativo, quando se procura cobrir, com linhas de navegação retilíneas e paralelas entre si, toda a nuvem radioativa.

Para a navegação usa-se barcos adequados, onde se instala toda a eletrônica de detecção e de posicionamento. Esse barco arrasta o trenó metálico, ao qual se fixa a sonda de detecção, e que corre no fundo do mar.

O intervalo de tempo decorrido entre cada detecção será menor se, entre detecções consecutivas, observar-se grande movimentação do sedimento.

A integração das contagens obtidas em uma dada detecção permite determinar a quantidade de material radioativo depositado no fundo da área em estudo.

A forma da nuvem radioativa a cada detecção, bem como a quantidade de traçador que se recupera, representam fenômenos importantes. Por exemplo, se ambos permane

cem constantes com o tempo, é sinal de que não houve movimentação do material no fundo. Por outro lado, se diminui a quantidade de material detetado e se as ações hidrodinâmicas que ocorreram no período de observação não são consideradas suficientes para remover do local o material radioativo, pode-se deduzir que houve um enterramento desse material. A espessura da camada que recobriu o material pode ser calculada pelo método do balanço de traçador (ref. 1), a partir da quantidade recuperada do material e de uma calibração da sonda de detecção. Conhecida tal espessura, pode-se calcular a vazão sólida de arraste.

Se as ações hidrodinâmicas sobre o material forem suficientes para recolocá-lo em suspensão, diminui a quantidade recuperada e torna-se possível estimar qual a quantidade de material que se perdeu.

As análises dos dados de campo seguem uma rotina já estabelecida e testada.

Para se tratar o valor das contagens obtidas, desconta-se dele o ruído de fundo causado pela atividade natural na região. Corrige-se também o decaimento radioativo, conhecendo-se a meia-vida característica de cada radioisótopo. As contagens obtidas são divididas pelo tempo durante o qual foram feitas, de modo a se conseguir as taxas de contagem médias durante a detecção. Cada taxa de contagem deve ser relacionada com o local onde foi obtida. Daí haver a necessidade de se posicionar, a cada instante o barco que faz o trabalho de detecção. Posicionando o barco está-se indiretamente, posicionando a sonda de de

teção, pois se conhece a geometria sonda-barco-profundida de média local.

Numa carta que contenha os diversos pontos de passagem da sonda, lança-se os valores das contagens obtidas em cada um deles. Unindo por linha contínua os pontos que apresentam a mesma taxa de contagem, obtém-se o diagrama conhecido como curvas de isocontagem ou de isoconcentração. Através desse diagrama, feito para cada deteção, pode-se acompanhar a evolução do tamanho e da forma da nuvem, a direção em que há movimento do material e se essa movimentação é ou não significativa. Pode-se também calcular a quantidade de material radioativo presente na deteção pelo cálculo da área interior a cada curva, seguida pela construção de um gráfico onde se lança como abcissas as taxas de contagem e como ordenadas as áreas correspondentes. A medição da área sob a curva assim traçada dá o valor $N \left(\frac{C}{S} \times m^2 \right)$ da recuperação do material radioativo. Caso se queira, N pode ser dado como atividade (mCi, por exemplo), por meio de uma calibração da sonda, feita em laboratório. Nesta calibração determina-se a resposta f da sonda a uma atividade unitária uniformemente distribuída a várias profundidades z do material. Normalmente, f tem a forma:

$$f = f_0 e^{-\alpha z}$$

onde

f_0 = resposta da sonda (c/s) para $z = 0$ e para $1 \mu\text{Ci}/m^2$.

α = coeficiente de absorção da radiação pelo material de fundo.

Estando a atividade distribuída na superfície, seu valor pode ser determinado pela divisão de $\underline{N} \left(\frac{C}{S} \times m^2 \right)$ por $f_0 \left(\frac{C}{S} / \frac{\mu Ci}{m^2} \right)$, resultando a atividade \underline{A} (μCi).

Para o cálculo do valor de \underline{N} é usual um método mais exato, que permite inclusive uso de computador. Aqui, integram-se as contagens referentes a cada linha de detecção, sendo necessário para isso fazer-se uma correção da velocidade do barco. Ela pode ser feita a partir das posições sucessivas do barco e do intervalo de tempo, constante, entre cada posição consecutiva. O barco pode ser posicionado por teodolitos ou por equipamento eletrônico mais moderno, como o sistema Motorola, baseado na emissão e captação de micro-ondas.

Multiplica-se cada contagem pela velocidade do barco (sonda) no trecho correspondente e integra-se esses valores ao longo de cada e toda a linha. Esses valores são lançados como ordenadas em um gráfico que tem por abscissas as posições das linhas correspondentes, referidas ao ponto em que cada uma delas corta a direção média de transporte. Esse é o chamado "diagrama de transporte" cuja área também fornece o valor de $\underline{N} \left(\frac{C}{S} \times m^2 \right)$. Deve-se determinar também a posição do centro de gravidade de cada fase da nuvem, pois com essa posição e com o valor de \underline{N} correspondente pode-se dizer se, a cada duas detecções consecutivas, houve ou não movimento do material.

Caso haja movimento, pode-se determinar a vazão sólida por meios também conhecidos.

A expressão:

$$\frac{\alpha N}{f_0 A} = \frac{1 - e^{-\alpha E}}{E}$$

onde A é a atividade injetada, permite calcular a espessura média de transporte E. Usando esse valor de E na expressão

$$Q = \rho V_m L E$$

pode-se obter a vazão sólida de arraste; nessa expressão,

ρ - densidade do material do fundo

V_m - velocidade média de movimentação do traçador (obtida a partir das sucessivas posições do centro de gravidade da nuvem)

L - largura da faixa em que há transporte de material

Deve ser ressaltada a existência de uma metodologia conhecida para a análise da movimentação do material no fundo. No entanto, cada caso poderá apresentar peculiaridades que tornam necessária a interferência de pessoal experiente para evitar obter-se resultados não con

fiáveis ou, até mesmo, inteiramente errados. Este é um dos motivos para que a análise não seja inteiramente programada para computador, já que isto limitaria a intervençãõ da equipe técnica ao longo da análise.

IV. O TRABALHO DE CAMPO

Definida a área de interesse para o estudo, tornou-se necessário coletar amostras do fundo para estudos de granulometria. Os pontos de retirada de amostras foram definidos pela Divisão de Radioisótopos e aparecem na Fig. 2.

O trabalho de análise granulométrica ficou a cargo do INPH, por intermédio do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, que forneceu à Divisão os resultados. Estes possibilitaram a montagem de uma curva granulométrica, fig. 3, feita com vidro moido, curva essa correspondente à média das curvas dos pontos de amostragem da região de estudo que apresentaram granulometria semelhante. Tais pontos (L, M e N) delimitam um patamar de granulometria uniforme, fig. 2.

Na região correspondente a estes pontos de amostragem foi escolhido o ponto (9903,4917) num sistema de coordenadas baseado no sistema UTM, para ponto de injeção do material em granulometria total, conforme fig. 4.

Tomou-se 500g de vidro marcado com irídio, na faixa granulométrica já especificada, e fez-se sua irradiação em reator nuclear.

Transportado para Natal em blindagem especial de chumbo, o material foi injetado no fundo no dia 26/11/77. Nos dias anteriores foi feito um cuidadoso trabalho de levantamento da atividade natural da região escolhida para

os estudos.

O equipamento de injeção utilizado foi escolhido em vista de sua simplicidade. O material irradiado é retirado da blindagem de transporte, por meio de pinças especiais, e introduzido em uma grande garrafa de vidro, colocada em um suporte que pode ser descido até o fundo. Presa ao suporte, nas proximidades da garrafa, é colocada uma espoleta de fulminato de mercúrio. O barco se desloca até o ponto de injeção, onde lança ferros. A garrafa com o traçador é descida até próximo ao fundo, por meio de um cabo. Ao atingir-se a altura desejada em relação ao fundo, a espoleta é feita explodir, com o auxílio de uma bateria: completou-se a injeção. O método, além de simples, tem a vantagem de permitir que se varie o tamanho da mancha radioativa produzida imediatamente após a injeção, pela variação da altura na qual ela for realizada. Sabe-se que uma injeção muito concentrada produz, em geral, dificuldades nas detecções posteriores, pela dificuldade em se localizar o ponto de atividade máxima.

Logo após, verificou-se, por meio da detecção de "mise en place", que a injeção havia sido bem feita e no dia 28/11 fez-se a primeira detecção completa da nuvem radioativa. O equipamento utilizado foi, para todas as detecções, o seguinte:

- sonda de detecção SRAT, tipo SPP3
- contadores de impulsos Hewlett Packard
- registradores Moseley

- Impressoras Hewlett Packard

O conjunto é alimentado por um gerador Honda controlado por voltímetro, amperímetro e frequencímetro, existentes em um quadro de controle.

A localização do barco a cada 30s de navegação foi feita com auxílio de 2 teodolitos, colocados nas seguintes bases:

BASE	COORDENADAS UTM	
	N	E
A	9362768,54	256801,68
B	9362007,95	256797,03

A comunicação barco-bases é feita com auxílio de rádio-transmissores portáteis, operando na Faixa do Cidadão, prefixo PX7 - 0447.

Do mesmo modo, e empregando-se a mesma técnica, foram feitas as deteções de 29 de novembro e de 03 de dezembro, que encerraram a primeira campanha de deteções.

Uma análise preliminar dos dados colhidos nessas tres deteções evidenciou a quase imobilidade da nuvem radioativa. Tal fato é visto com mais detalhes no capítulo V.

Em vista disso, surgiu a idéia de se realizar

uma outra injeção de material com uma faixa limitada da curva granulométrica. A faixa a ser injetada seria determinada a partir de estudos hidráulicos. Adotar-se-ia uma faixa a partir da qual se previsse início de movimento em função da profundidade do local e das características ondulatórias reinantes. Para que houvesse segurança nos resultados obtidos, seria realizada uma injeção de areia na faixa granulométrica escolhida, marcada com Au 198. Neste caso, se o movimento encontrado fosse importante, os resultados obtidos com o Au 198 seriam suficientes; se o movimento fosse pequeno, seria realizada uma nova injeção com vidro marcado com irídio.

Programou-se, então, nova campanha de detecções, na qual foi realizada também a injeção do material marcado com ouro 198 como traçador. Foram marcadas 300g de areia, na faixa granulométrica de 0,177 mm a 0,210 mm.

Após novo levantamento do ruído de fundo foi feita, no dia 21 de janeiro de 1978, a injeção deste material, no ponto de coordenadas (5753,3235) referidas ao sistema UTM, de acordo com a fig. 4.

Nos moldes das detecções anteriores, foram feitas quatro detecções, nos dias 24, 27 e 30 de janeiro e 01 de fevereiro, todas durante o período de verão. Os resultados são examinados no capítulo V.

Ainda nesta mesma campanha, foi feita mais uma detecção do material marcado com irídio 192, com curva granulométrica total, no dia 31 de janeiro de 1978.

Uma nova detecção de granulometria total foi realizada no final do regime de verão, em 10 de março.

Novamente, a análise preliminar dos resultados das detecções do ouro 198 forneceu indicações de pequeno movimento do material de granulometria fina, conforme de talhamento no capítulo V.

Assim, programou-se nova injeção, desta vez usando-se vidro moído marcado com irídio, na mesma faixa granulométrica da areia anteriormente utilizada com Au 198.

Foram injetadas no fundo, pelo processo já mencionado, 295,4g de vidro moído, com atividade de 650 mCi. O ponto de injeção foi o de coordenadas (6340N,3357E) também referidas ao sistema UTM, mostrado na fig. 4. A injeção ocorreu no dia 13 de março de 1978, após o levantamento do ruído de fundo natural, feito no mesmo dia.

Seguiram-se, pelo processo já descrito, 3 detecções do material no fundo: nos dias 15 e 18 de março, no período de verão, e no dia 04 de agosto, esta no inverno. Houve uma detecção em junho cujos resultados não foram considerados aproveitáveis.

Ainda no inverno foram feitas mais duas detecções do material injetado em 26 de novembro: uma no dia 13 de junho e a última, no dia 03 de agosto.

A seguir um quadro resumindo o trabalho de campo:

OS TRABALHOS DE CAMPO

TRABALHO NO CAMPO	DATA	REGIME	GRANULO METRIA
Levant. Atividade Natural	25-26/11/77	V	
1a. Injeção Ir 192	26/11	V	T
1a. Deteção	28/11	V	T
2a. Deteção	29/11	V	T
3a. Deteção	03/12	V	T
4a. Deteção	31/01/78	V	T
5a. Deteção	10/03	V	T
6a. Deteção	13/06	I	T
7a. Deteção	03/08	I	T
Levant. Atividade Natural	21/01/78	V	
Injeção Au 198	21/01	V	F
1a. Deteção	24/01	V	F
2a. Deteção	27/01	V	F
3a. Deteção	30/01	V	F
4a. Deteção	01/02	V	F
Levant. Atividade Natural	13/03/78	V	
2a. Injeção Ir 192	13/03	V	F
1a. Deteção	15/03	V	F
2a. Deteção	18/03	V	F
3a. Deteção	04/08	I	F

NOTA: I - Inverno
V - Verão

T - Total
F - Fina

V. ANÁLISE DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

No capítulo anterior, esclarecemos que 7 detecções do material seguiram-se à primeira injeção de irídio 192. Cinco delas foram feitas em regime de verão e as duas restantes, no inverno. Os dados obtidos foram analisados com o uso de uma calculadora HP-9820, de mesa, com entrada por fita perfurada.

As curvas de isocontagem correspondentes às detecções da 1a. injeção estão mostradas nas figuras 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11. Nelas fica claro que não houve movimentação significativa da nuvem após a acomodação inicial do material no fundo, nas primeiras horas que se seguem à injeção. Daí porque ser a primeira detecção tomada como origem dos tempos e o comportamento da nuvem radioativa nas detecções seguintes ser comparado com a primeira detecção.

O espalhamento inicial da nuvem se faz para NNW. Pode-se observar que as variações nas curvas de isocontagem são pequenas, sendo mesmo inerentes às técnicas de detecção.

O fato de não haver grandes variações nas nuvens é um indicativo da pequena movimentação do traçador no período de verão. Apesar de pouco importante, ocorre alguma movimentação no inverno. Outro indicativo dessa pequena movimentação é dado pela observação dos diagramas de transporte (figuras 12, 13, 14 e 15), correspondentes às

deteções 1a., 3a., 5a. e 7a. Como se sabe, os diagramas de transporte representam a distribuição do traçador ao longo da direção de transporte e as áreas desses diagramas representam a quantidade de material radioativo recuperado (a menos da constante f_0 - parâmetro de calibração da sonda, obtido em laboratório). As recuperações estão no quadro abaixo

RECUPERAÇÕES DO MATERIAL RADIOATIVO

DIA	$N \left(\frac{C}{S} \times m^2 \right)$
28/11/77	$1,40 \times 10^7$
29/11/77	$1,40 \times 10^7$
03/12/77	$1,84 \times 10^7$
31/01/78	$1,28 \times 10^8$
10/03/78	$1,14 \times 10^8$
13/06/78	$6,40 \times 10^7$
03/08/78	$1,30 \times 10^8$

As tres primeiras deteções realizadas num pequeno período de tempo, apresentam recuperações praticamente iguais. Além disso, tais valores de recuperação são inferiores aqueles obtidos nas deteções seguintes. Tal fato se explica ao se saber que, logo após a injeção, o material se achava muito concentrado, o que diminuiu a probabilidade de a sonda passar próxima ao pico de atividade da nuvem.

As quatro últimas deteções (com exceção daquela de 13/06 que não teve a mesma qualidade das outras) confirmam a pequena mobilidade da nuvem, indicada pelos valores de recuperação semelhantes entre si, bem como pela forma bastante próxima dos diagramas de transporte de cada deteção, como também a concentração da atividade em torno dos picos.

Novos dados vêm confirmar a pouca movimentação e a concentração do material em torno do ponto de injeção. São as coordenadas dos centros de gravidade das nuvens, tomadas em relação a um sistema de eixos N/E de origem (6802,2769), referido ao sistema UTM.

COORDENADAS DOS CENTROS DE GRAVIDADE DAS NUVENS

DATA	X _G	Y _G
28/11/77	7540	2663
29/11/77	7539	2660
03/12/77	7538	2661
31/01/78	7539	2670
10/03/78	7537	2671
03/08/78	7536	2686

Levando esses valores às figuras 5, 6, 7, 8, 9 e 11 observa-se que os centros de gravidade estão situados

próximos à região de maior atividade da nuvem, indicando grande concentração de material na região do pico e, en tão, pequena movimentação.

Após a realização das 3 primeiras detecções e a a nálise preliminar dos dados colhidos, quando foi constatada a pequena movimentação do material no fundo, foram feitos cálculos para se determinar qual a faixa de granulometria que deveria estar se movendo. Esses cálculos, baseados na altura e período das ondas locais, bem como na profundidade média, levaram a concluir que a areia fina abaixo de 0,21mm poderia se movimentar.

Para comprovar a validade desses cálculos, foi programada uma injeção de material marcado com ouro 198, um isótopo de meia-vida curta (2,7 dias), que se prestaria bem ao trabalho, pois a marcação da areia com esse i sótopo é simples e já bastante conhecida. Além disso, há maior facilidade e menor custo de irradiação, além de se evitar a contaminação do fundo.

Foram injetadas 300g de areia, na faixa granulométrica de 0,17 a 0,21mm, marcada com ouro 198, no dia 21 de janeiro de 1978.

A seguir foram feitas quatro detecções, todas durante o regime de verão.

As figuras 16, 17 e 18 mostram as curvas de isocontagem para cada detecção.

Observando-se essas nuvens, nota-se que, após o espalhamento inicial, há um movimento pequeno do material. As recuperações dessas deteções são apresentadas no quadro abaixo:

RECUPERAÇÕES DO MATERIAL RADIOATIVO

DIA	$N \left(\frac{c}{s} \times m^2 \right)$	Pico de Atividade (c/s x m)	$N' \left(\frac{c}{s} \times m^2 \right)$
24/01/78	$8,48 \times 10^5$	170×10^3	$1,38 \times 10^6$
27/01/78	$1,15 \times 10^6$	190×10^3	$1,19 \times 10^6$
30/01/78	$2,12 \times 10^6$	330×10^3	$3,19 \times 10^6$
01/02/78	$3,35 \times 10^6$	510×10^3	$3,12 \times 10^6$

- OBS.:
- a. N' - recuperações após transferido o pico de 01/02.
 - b. O maior pico obtido corresponde à deteção de 01/02/78. Como não existem maneiras de se concentrar o material radioativo após a realização de uma injeção, é claro que o mesmo pico estava presente nas outras deteções, não tendo sido determinado por causa do pequeno diâmetro da mancha radioativa. Em vista disso, o mesmo valor de pico deve ser incluído nas deteções anteriores, para o cálculo da recuperação.

Deve ser considerado que esse movimento foi registrado num intervalo de sete dias, apenas. Isso levou a

supor que detecções efetuadas durante um período mais longo poderiam indicar uma taxa de movimentação maior.

Foi então planejada nova injeção de vidro moído, na faixa granulométrica 0,17 a 0,21mm, marcado com irídio 192. Desta feita, tomou-se 295,4g de material, e a injeção foi feita no dia 13/03/78. Atividade injetada: 650mCi.

Pela observação das Figuras 19, 20 e 21, que mostram as curvas de isocontagem das detecções feitas com o irídio em granulometria fina, verifica-se a movimentação da nuvem na direção NNW.

A primeira detecção encontrou a nuvem ainda muito concentrada, o que dificultou o trabalho e levou à obtenção de um diagrama de transporte (Fig. 22) com pico muito agudo. Praticamente todo o material injetado estava concentrado em redor desse pico. A segunda detecção, realizada tres dias após a primeira, vem indicar que, embora pequeno, houve movimento da nuvem. Novamente o diagrama de transporte (Fig. 23) registra um pico agudo e o material ainda se mostra bastante concentrado em torno dele.

Prova disso são também as coordenadas dos centros de gravidade das nuvens, no quadro a seguir:

COORDENADAS DOS CENTROS DE GRAVIDADE DAS NUUVENS

DIA	X _G	Y _G
15/03/78	7557	3160
18/03/78	7556	3160
04/08/78	7539	3207

Observa-se que são iguais as coordenadas para as duas primeiras detecções, indicando centros de gravidade imóveis, bem próximos à região de maior atividade, devido à grande concentração de material na região do pico.

Deve-se notar que essas detecções foram feitas no verão e que, tendo em vista as detecções feitas para granulometria total e para a areia marcada com ouro, é de se esperar movimento da nuvem num prazo mais dilatado.

Tal constatação se faz comparando as curvas de isocontagem (Fig. 21) da última detecção, realizada em 04 de agosto, com as curvas das detecções anteriores (Figuras 19 e 20). Não se considerou aqui os dados colhidos em junho de 1978, pois não foi de boa qualidade a detecção.

O material espalhou-se na direção NNW e possibilitou uma recuperação melhor que as anteriores. Note-se o significativo espalhamento da nuvem, comparada com as detecções anteriores.

DATA	N ($\frac{C}{S} \times m^2$)
15/03/78	$3,80 \times 10^6$
18/03/78	$8,82 \times 10^6$
04/08/78	$1,17 \times 10^7$

O aumento progressivo dos valores de recuperação confirma a concentração inicial do material, com a consequente dificuldade de se recuperar todo ele. O valor da recuperação na última detecção, maior que os anteriores, indica o espalhamento da nuvem, com consequente melhoria da recuperação, já que não existe meio de criação, no local, de material radioativo.

O diagrama de transporte para a última detecção (fig. 24) apresenta um fato curioso: há dois picos de atividade ao longo da direção de transporte. Isso indica um provável enterramento do material injetado, na região de injeção, por areia do fundo, durante o longo período em que o traçador esteve depositado, sem movimentar-se. Ao sobrevirem as ações mais intensas de inverno, apenas a parte superior do traçador deslocou-se, causando o aparecimento do segundo pico de atividade. Esta hipótese poderá ser mais bem avaliada na detecção final, que se pretende realizar em outubro de 1978. De outro lado, os valores de contagens nesses picos são bastante inferiores aos valores dos picos dos diagramas anteriores, indicando também espalhamento do material e/ou seu enterramento.

O cálculo da espessura de transporte pode ser feito tomando dados da última detecção. De acordo com a fórmula citada no capítulo III, determina-se para E o valor de 0,17m.

O cálculo da vazão sólida de arraste entre as duas últimas detecções pode ser feito:

- a. distância percorrida pelo CG da nuvem:

$$d = \sqrt{(7556 - 7539)^2 + (3160 - 3207)^2} = 50\text{m}$$

- b. velocidade média de deslocamento

$$V_m = \frac{50\text{m}}{139\text{d}} = 0,36 \text{ m/dia}$$

- c. vazão sólida

$$Q = \rho V_m L E = 162000\text{g/m.dia}$$

O valor de E está exagerado; só se obtém grandes espessuras de transporte para movimentos acentuados. Ainda assim, se utilizarmos esse valor grande de E para o cálculo de Q , encontramos uma vazão sólida pequena de 160kg por metro linear e por dia, o que vem confirmar as observações anteriores.

Tendo em vista todas as detecções, especialmente aquelas realizadas no inverno, é prudente concluir que há

movimentação pequena do material na direção aproximadamente norte, que se pode considerar paralela ao cordão de recifes nas proximidades do Forte dos Reis Magos. Isto quer dizer que ao longo do tempo há caminhamento do material em direção à barra. Entretanto, a maior parte do material de fundo não se movimenta, ou movimenta muito pouco, tanto em condições de verão, como em regime de inverno. O movimento observado em condições de inverno, sob ações hidrodinâmicas bastante mais intensas, deve-se principalmente à fração do material de fundo inferior a 0,2mm.

VI. CONCLUSÕES

O presente relatório refere-se ao estudo do movimento de sedimento no fundo da região próxima à barra do Rio Potengi, em Natal.

Foram feitos estudos no verão e no inverno, estudos esses que constaram de injeção no fundo e acompanhamento do comportamento de material radioativo.

Foram utilizados dois tipos de traçadores:

- a. irídio 192 para marcação de vidro moído com granulometria total (correspondente à granulometria do material de fundo) e para marcação de vidro moído em granulometria fina, conforme se tornou necessário no decorrer dos trabalhos;
- b. ouro 198 para marcação de areia em granulometria fina, coletada em diversos pontos de amostragem no local.

As diversas campanhas de detecção foram realizadas de novembro de 1977 a agosto de 1978. Em todas elas utilizou-se a metodologia de campo e de análise de resultados já largamente empregada pela Divisão de Radioisótopos.

As várias detecções foram confirmando a quase imo

bilidade do material, durante o verão, em especial o de granulometria mais grossa. Estudos feitos com material da granulometria fina mostraram que havia movimento, apesar de pequeno, ao longo dos recifes, durante o inverno. A vazão sólida é da ordem de 160kg por metro linear e por dia.

Esse transporte, acredita-se, ficará mais caracterizado a partir de uma nova detecção do material radioativo depositado no fundo.

Um trabalho de coleta de amostras de areia marcada com traçador fluorescente, que está em curso, poderá fornecer dados adicionais valiosos na caracterização do transporte na região mais próxima dos recifes, junto a barra, onde não se pode usar da navegação para estudos com traçadores radioativos, bem como do modo de transpasse de areia na embocadura do rio Potengi. Esse trabalho será objeto de um relatório separado, a ser apresentado pela Divisão de Radioisótopos.

APRESENTAÇÃO DO ANEXO AO RELATÓRIO

"ESTUDO DA MOVIMENTAÇÃO DE SEDIMENTO DE FUNDO NA REGIÃO DA EMBOCADURA DO RIO POTENGI, NATAL, RN."

O Relatório acima citado referia-se às campanhas de medição com traçadores radioativos, realizadas na região próxima à embocadura do Rio Potengi. Dos dados nele obtidos, concluiu-se pela conveniência de uma nova campanha de medição, que cobrisse os resultados das ações hidrodinâmicas intensas do final do período de inverno. Verificou-se que, na realidade, esta campanha forneceu informações de grande utilidade para a compreensão geral do problema.

Por simplicidade de apresentação, resolveu-se apresentar os resultados obtidos nesta última campanha como anexo ao relatório anterior, que também sofreu algumas pequenas modificações na forma de apresentação.

Com o presente relatório, fica terminada a parte relativa aos estudos com traçadores radioativos prevista no contrato entre a NUCLEBRÁS e a PORTOBRÁS.

O relatório sobre traçadores fluorescentes, que foi realizado pela Divisão de Radioisótopos sem ônus para a PORTOBRÁS está em fase final de análise e redação.

ANEXO

1. TRABALHO DE CAMPO

Conforme conclusões apresentadas no relatório que é complementado pelo presente, sugeriu-se a necessidade de mais uma campanha de detecções do material radioativo. Acreditava-se, então, que o trabalho de análise dos dados colhidos nessa campanha poderia melhor caracterizar a movimentação do sedimento no fundo, por integrar o acompanhamento do período agosto-novembro de 1978, fechando assim o ciclo de 1 ano de acompanhamento do material de granulometria igual a do fundo.

Essa campanha constou de dois trabalhos de detecção. Um deles, realizado no dia 03/11/78, tinha como objetivo a detecção do material de granulometria fina, a baixo de 0,21mm, injetado no ponto de coordenadas (6340; 3357), no sistema UTM, no dia 13 de maio de 1978. Deve aqui ser lembrado que esse valor de 0,21mm marcava o início da faixa de granulometria abaixo do qual o material de fundo deveria apresentar princípio de movimento, segundo cálculos teóricos referidos anteriormente.

O segundo trabalho de detecção, ocorrido no dia 05/11/78 visou detectar o material injetado no ponto (9903; 4917), no sistema UTM, a 26/11/77. Esse material foi vidro moído, na granulometria mais próxima da granulometria média da região marcada na Fig. 2 do relatório inicial, marcado com Irídio 192.

Ambos os trabalhos foram realizados dentro das técnicas usuais utilizadas pela Divisão de Radioisótopos, com a utilização do equipamento apresentado no Capítulo IV do relatório principal.

2. ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS DA ANÁLISE

Os dados recolhidos durante os trabalhos de detecção foram convenientemente tratados e os resultados obtidos permitem uma análise dos possíveis fenômenos acontecidos e detectados.

Trataremos primeiramente do material de granulometria fina.

Conforme mencionou-se no relatório inicial, a injeção de material de granulometria fina resultou da ideia de se tentar confirmar o valor de granulometria a partir do qual o material iniciasse movimentação. Foram feitos cálculos que conduziram ao valor 0,21mm. Tais cálculos tiveram sua justeza confirmada por uma injeção experimental de areia fina marcada com Ouro 198 e, a partir desse resultado, injetou-se vidro moído na faixa granulométrica de 0,17 a 0,21mm, marcado com Irídio 192.

Conforme conclusões do relatório anterior, o material fino comportou-se como era esperado, ou seja, apresentou um movimento bem mais acentuado que o material de granulometria total, que contém, inclusive, grãos na faixa fina.

Tendo já cumprido a finalidade para a qual fora planejado, o trabalho de detecção do material fino, já no final do período de inverno, mostrou-se bastante difícil e penoso. Tendo se espalhado por uma ampla área no fundo, tornou-se difícil encontrar-se pontos de atividade al

ta ou, pelo menos, regiões de atividade homogênea que permitissem o traçado de curvas de isocontagem. Não houve como traçar essas curvas, já que a nuvem radioativa fragmentou-se em diversos pontos esparsos de atividade. Entretanto, pela plotagem dos pontos de atividade obtidos, percebe-se a tendência anteriormente detectada de movimentação na direção NNW e um claro afastamento dos pontos de maior atividade do ponto de injeção desse material fino. Como se constatou a inexistência de uma nuvem contínua que representasse o real espalhamento do material fino, ficam sem sentido parâmetros tais como centro de gravidade da nuvem e diagrama de transporte. Tem-se como certo, então, apenas uma pareciação qualitativa do espalhamento, que aconteceu, e de maneira intensa e desordenada, entre agosto e novembro.

Por outro lado, o espalhamento do material de granulometria total pode ser mais bem caracterizado e, mesmo, quantificado.

Mais uma vez mostrou-se a tendência de espalhamento na direção NNW, conforme demonstra a Figura 1.A., que apresenta as curvas de isocontagem para a detecção do material de granulometria total.

Essas curvas mostram ainda um curioso espalhamento transversal de material com valores de contagem entre 150 e 1500cps, de onde resultou uma nuvem mais larga que aquela obtida em 03/08/78.

Esse espalhamento pode ser explicado como uma

triagem mais acentuada do material mais fino para o largo, devido a ação das ondas do regime de inverno.

Nota-se que ele ocorreu apenas a partir do mes de agosto, quando eram relativamente mais intensas as ações hidrodinâmicas de natureza ondulatória. Calculando-se a quantidade de material radioativo detectado a leste e a oeste da linha AA' (Fig. 1.A.) obtém-se, respectivamente, 10% e 90%. Isso significa que entre agosto e novembro de 1978 cerca de 10% do material que anteriormente se situava a oeste da linha AA', foi triado para o largo (leste). Supondo que o material que sofreu triagem seja o da parte inferior da curva granulométrica (Figura 3) vemos que o diametro correspondente a 10% é $\phi \approx 0,2\text{mm}$. Assim os materiais mais finos com $\phi < 0,21\text{mm}$ teriam sofrido essa triagem.

Isso é uma hipótese pois não há meios de se garantir que realmente foram os mais finos que se deslocaram.

Mas, essa hipótese é reforçada pelos estudos clássicos de movimentação de sedimentos em perfis de praias e pelos resultados dos estudos realizados no local com sedimentos de granulometria entre $0,17\text{mm} < \phi < 0,21\text{mm}$.

Na Tabela 2.A. encontram-se as coordenadas dos

centros de gravidade das duas últimas nuvens.

TABELA 2.A.

COORDENADAS DOS CG DAS NUVENS			
DETECÇÃO	DATA	X_G	Y_G
8 ^a	03/08/78	7536	2686
9 ^a	05/11/78	7539	2722

Estes valores permitem calcular em 36,12m o deslocamento do centro de gravidade da nuvem entre os dois últimos trabalhos de detecção. Considerando um intervalo de tempo de 94 dias entre as duas detecções, obtém-se uma velocidade de deslocamento de $36,12m/94d = 0,38m/dia$.

A observação do diagrama de transporte na Figura 15, correspondente à detecção de 03/08/78 e do diagrama de transporte da Figura 3.A., correspondente à última detecção permite também conclusões a respeito desse espalhamento. No primeiro diagrama de transporte, observa-se uma clara concentração do material radioativo em torno do pico de maior atividade, pico esse que atingiu $2250 \times 10^3 \text{cps} \times m$. No segundo diagrama, já se percebe um espalhamento do material para leste do pico, que chegou a atingir $1480 \times 10^3 \text{cps} \times m$. Tal espalhamento em relação ao pico, bem como a inflexão à sua direita, provavelmente correspondem à tendência já detectada de alargamento da nuvem e de sua separação, respectivamente, configurando a tria

gem para o largo mencionada anteriormente.

Na Tabela 4.A encontram-se os valores das recuperações para as duas últimas detecções. Essas recuperações, como se sabe, correspondem às áreas dos diagramas de transporte.

TABELA 4.A.

RECUPERAÇÕES	
DATA	ÁREA DO D.T. (cps x m ²)
03/08/78	1,28 x 10 ⁸
05/11/78	1,38 x 10 ⁸

A segunda recuperação, um pouco maior que a primeira, traduz a melhor cobertura da nuvem realizada na detecção de 05/11/78, já que esta se encontrava mais espalhada. De qualquer modo, esses valores próximos podem indicar pequeno enterramento da nuvem entre as duas últimas detecções.

Para cálculo da vazão sólida, é necessário conhecer-se a espessura de transporte. Por se tratar de uma movimentação pouco intensa, um valor de E da ordem de 10cm resultará certamente em um valor por excesso da vazão sólida de fundo. Sendo $\rho = 2,65$, a utilização da expressão

$$Q = \rho V_m L E$$

conduz a um valor de cerca de 60kg/m.dia. Trata-se de um valor bastante pequeno.

Conclui-se, portanto, que o material com a granulometria do fundo movimenta-se muito pouco para NNW, sob a ação hidrodinâmica mais intensa de inverno. Provavelmente, esta movimentação é devida ao deslocamento da fração mais fina presente no material, que se demonstrou mover-se em condições de inverno.

Além disso, a areia do fundo sofreu, durante o inverno, uma ação de triagem para o largo, produzida, pela ação das ondas.

3. CONCLUSÕES

A campanha de que trata esse relatório, anexo ao relatório principal, surgiu da necessidade de se tentar caracterizar de modo mais perfeito o movimento do material de fundo.

Constatou-se a desagregação da nuvem formada pelo material fino e o espalhamento descontínuo desse material para NNW, impossibilitando mesmo a obtenção das curvas de isocontagem.

Quanto ao material de granulometria total, constatou-se seu espalhamento na direção NNW, com uma vazão sólida pequena, da ordem de 60kg/m.dia, na qual se encontra, provavelmente, parte de material fino.

Constatou-se também uma triagem de material fino ($\phi < 0,2\text{mm}$) para o largo de um valor em torno de 10% do material total recuperado. O processo de triagem, que era anteriormente uma ligeira tendência, acentuou-se entre agosto e novembro, por prováveis efeitos de ações ondulatórias.

./mgs.

VII. REFERÊNCIA

1. ANGUENOT, F.; CAILLOT, A.; COURTOIS, G. - "Utilisation de Traceurs Radioactifs à l'Étude Sédimentologique du Lac de Maracaibo".
DR/SAR.S/69.7/GC/JJ - Março 1968.