

Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

Laguna dos Patos. Influências nos Depósitos Lamíticos Costeiros

Luro Julio Calliari, Sandra Fachin

Pesquisas em Geociências, 20 (1): 57-69, Mai./Ago., 1993.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/21282>

Publicado por

Instituto de Geociências



Portal de Periódicos UFRGS

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - Mai./Ago., 1993.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Laguna dos Patos. Influência nos Depósitos Lamíticos Costeiros

LAURO JÚLIO CALLIARI E SANDRA FACHIN

Departamento de Geociências, FURG, Caixa Postal 474, CEP 96500-900, Rio Grande, RS, Brasil

(Recebido em 14/04/93. Aceito para publicação em 09/09/93.)

Abstract — Granulometric analysis of surficial and sub-bottom sediments from the Rio Grande do Sul continental shelf demonstrated that the Laguna dos Patos is a potential source of fine sediments to the inner continental shelf. Textural maps indicate that bottoms, composed of equal amounts of sand, silt, and clay reach the 22 m isobath in front of the estuarine mouth. Muddy sediments are more representative toward the south as a result of the association of frequently northeast winds with periods of high rainfall. The fine sediments transported by a southwest plume flocculate and are deposited as "fluid mud". Isopach maps indicate that the greater thickness of fluid as well as consolidate mud occur between the 14 and 20 m isobaths. Maximum mud thickness around 0.8 m occurs south of the estuarine mouth. This area coincides with the occasional deposition of mud alternating with sand of variable thickness caused by rapid changes of the inner shelf hydrodynamic regime.

Resumo — A análise granulométrica de sedimentos superficiais e subsuperficiais, obtidos na Plataforma Continental do Rio Grande do Sul durante a Operação Geocosta Sul I, demonstram que a Laguna dos Patos é uma fonte potencial de sedimentos finos para a plataforma interna. Mapas texturais, baseados no conteúdo de areia, silte e argila, indicam a ocorrência de uma fácies mista até profundidades de 22 m. Fundos argilo-silticos e siltico-argilosos ocorrem ao sul da desembocadura lagunar, em função do predomínio de ventos do quadrante NE, os quais, associados a altas taxas de precipitação, propiciam a formação de uma pluma em direção SW. Os sedimentos finos, assim transportados, flocculam e depositam em forma de lama fluida. Mapas de isópacos indicam que as maiores espessuras de lama encontram-se entre as isóbatas de 14 e 20 m. Espessuras máximas de 0.8 m de lama superficial foram detectadas ao Sul da Barra de Rio Grande, coincidindo com a área de ocorrência esporádica de depósitos lamíticos no perfil praiial. Os testemunhos apresentam seqüências alternadas de lama e areia com contatos bruscos bem definidos indicando alterações rápidas no regime hidrodinâmico da plataforma interna.

INTRODUÇÃO

A compreensão da inter-relação estuário-plataforma é de grande importância no gerenciamento de zonas costeiras. Graves problemas ambientais têm sido gerados devido a alterações na morfologia da desembocadura de estuários e no seu regime hidrodinâmico, causando modificações nas interações sedimentológicas com a plataforma e afetando, dessa forma, o tipo de fundo, a qualidade da água costeira e a biota.

Uma das importantes funções sedimentológicas dos estuários é a mistura e diluição de sedimentos fluviais, funcionando como uma bacia receptora natural para a acumulação e armazenagem destes, particularmente silte e argila em suspensão que muitas vezes podem estar contaminados. Alterações nessas funções podem fazer com que as águas e sedimentos fluviais passem diretamente para o oceano, com um curto tempo de residência e diluição, alterando dessa forma o seu papel geológico de ser predominantemente um sumidouro de sedimentos fluviais e marinhos, para ser uma fonte de sedimentos fluviais, implicando em um aumento na ocorrência de depósitos de lama na plataforma.

A presença de depósitos lamíticos em plataformas internas, devido à influência de estuários, tem sido descrito por vários autores, Avoine *et al.* (1981) no estuário do Seine, França, Castaing & Allen (1981) no estuário de Gironde, França, Nair & Hashimi (1986) em estuários no Oeste da Índia.

Nair & Hashimi (*op. cit.*) demonstraram, através de análises granulométricas no oeste da plataforma continental da Índia, que a textura dos sedimentos da plataforma interna parece ser determinada pelo número e tamanho de estuários presentes na costa. Em regiões onde ocorre um grande número de estuários, os sedimentos da plataforma interna são finos (5.02 phi), ricos em matéria orgânica (> 2%) e pobres em carbonatos (< 25%). Ao contrário, em regiões com relativamente poucos estuários, os sedimentos são compostos por areia (1.53 phi), pobres em matéria orgânica (< 1%) e ricos em carbonato de cálcio (> 30%).

A ocorrência de depósitos lamíticos no perfil praiial, ao sul da desembocadura da Laguna dos Patos, sempre despertou uma grande curiosidade entre os pesquisadores e a população da região. Esses depósitos ocorrem ocasionalmente, em períodos de grande energia de ondas, associados ou não a tempestades (ressacas), transportando para a praia grande quantidade de lama.

As primeiras referências da ocorrência de lama foram noticiadas pelo jornal do Rio Grande em 29 de dezembro de 1954. Segundo aquele periódico: "A praia do Cassino foi invadida por extensa camada de lama, onde os banhistas enterram os pés, as pernas e, segundo o pensamento talvez exagerado de alguns, o próprio corpo até o peito". Na época especulava-se a sua proveniência devido as dragagens do canal.

Delaney (1962) comentou a existência de depósitos de argila arenosa na praia do Cassino apresentando

espessuras de até 1m, as quais acreditava serem provenientes da Laguna dos Patos.

Villwock & Martins (1972) através de estudos sedimentológicos dos depósitos lamfíticos da região do pós-praia entre Cassino e Querência, observaram que suas propriedades texturais eram semelhantes às dos sedimentos finos que ocorrem na porção meridional da Laguna dos Patos.

Villwock *et al.* (1972) através de estudos da mineralogia das argilas desses depósitos, concluíram que os mesmos provinham da descarga lagunar.

Martins *et al.* (1978) complementaram a pesquisa anterior, utilizando dados referentes a deposição de lama causada por uma tempestade de ondulação na segunda quinzena de fevereiro de 1978.

Borzzone & Griep (1991) caracterizaram os sedimentos superficiais do infralitoral da região costeira adjacente à desembocadura da Laguna dos Patos, relacionando a formação e existência de depósitos de lamas existentes nestas zonas (infralitoral raso) com a formação de lama fluída na plataforma e sua deposição na porção subaérea da praia.

Este trabalho pretende caracterizar a influência da descarga da Laguna dos Patos na zona costeira, através do mapeamento superficial e subsuperficial dos depósitos lamfíticos, e sua distribuição e associação com os fenômenos episódicos de deposição de lama na porção subaérea entre as praias do Cassino e Querência.

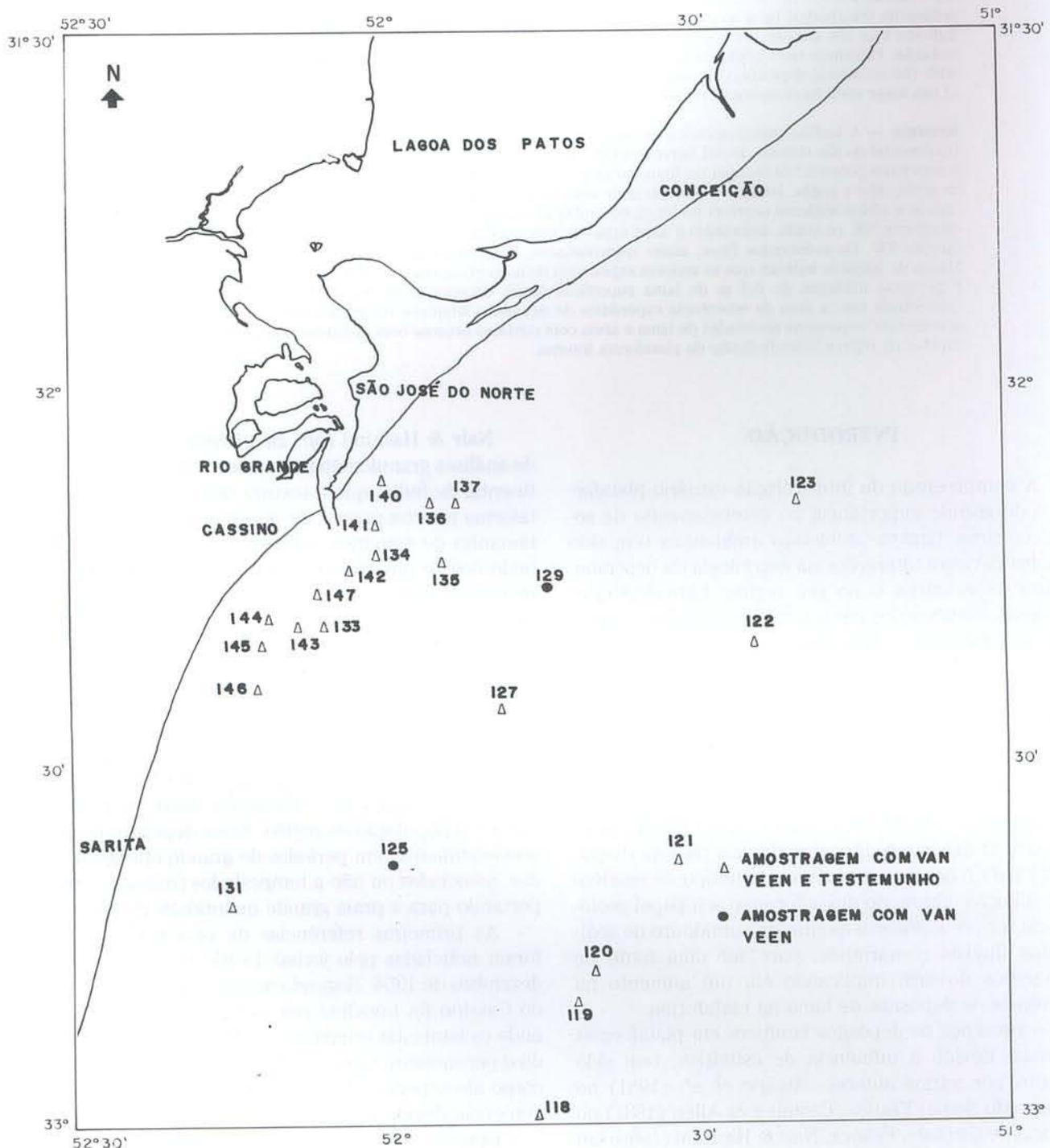


Figura 1 — Área de amostragem.

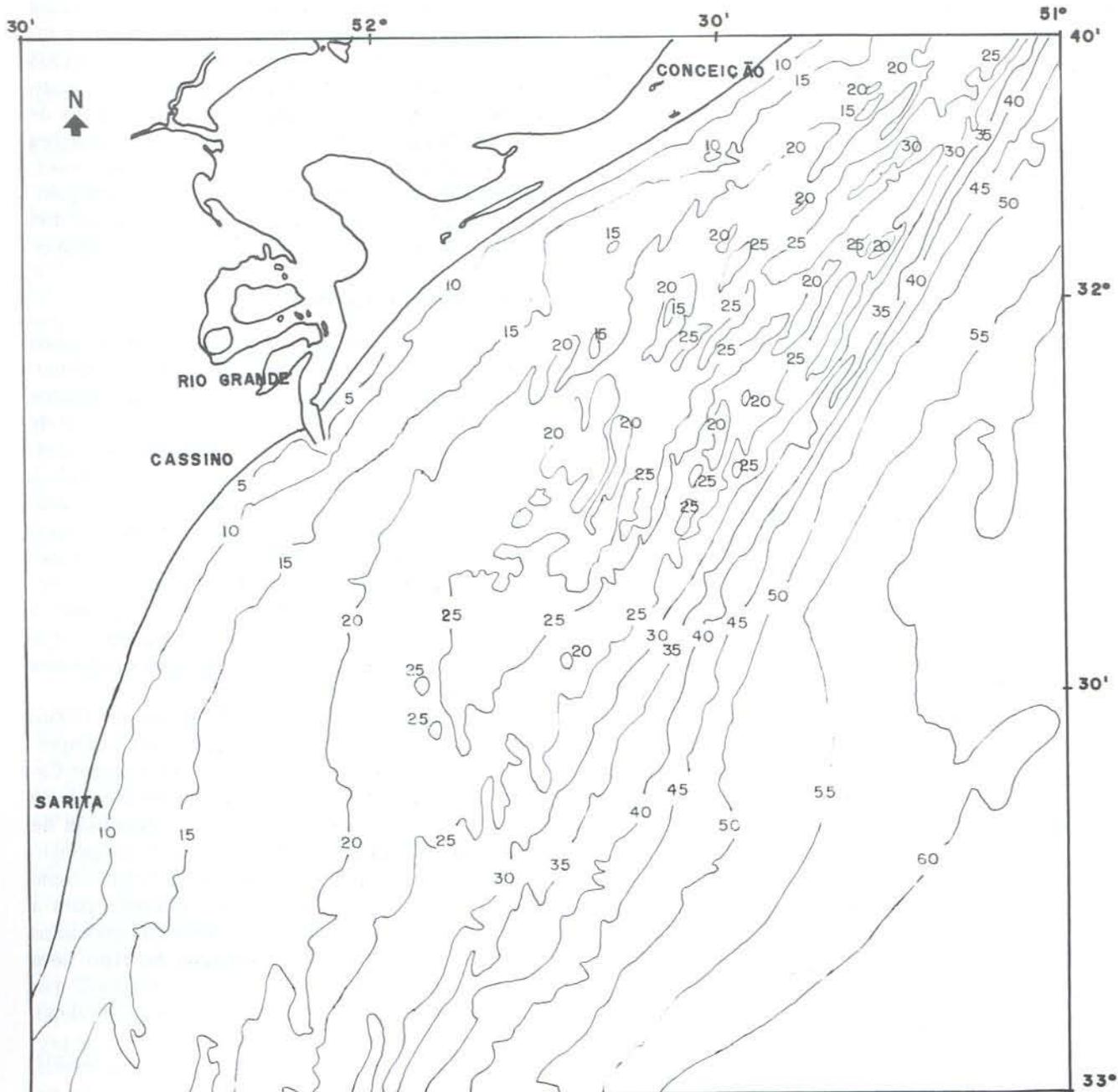


Figura 1a — Mapa batimétrico da área de estudo.

CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA

A área de trabalho constitui a plataforma continental interna adjacente a desembocadura da Laguna dos Patos, delimitada pelos paralelos $31^{\circ}57'S$ e $33^{\circ}S$ entre as isóbatas de 15 m e 50 m. (Figs. 1, 1a)

Plataforma Continental

Martins, *et al.*, (1967) estudando as plataformas sul-brasileira e uruguaia, delimitaram as principais províncias faciológicas como sendo constituídas por:

- seqüência arenosa interna, ocorrendo entre 20 m e 40 m de profundidade, composta predominantemente por sedimentos recentes constituídos por areias quartzosas depositadas em ambiente praias e eólico, resultantes do retrabalhamento de depósitos pleistocênicos. Essa seqüência é interrompida apenas na altura

da desembocadura lagunar, pela Fácies Patos de composição predominantemente lamítica, de expressão local;

- seqüência transicional mista, composta de areia e lama, e

- seqüência lamítica externa, cujos componentes se acham desvinculados dos depósitos finos lançados pelo Rio da Prata e da costa sul-rio-grandense, mas teriam sido depositados durante o Wisconsiniano, quando a rede fluvial proveniente do ocidente se distribuía sobre o platô continental.

De acordo com a morfologia de fundo a área apresenta duas regiões com características diferentes. A região ao sul da Barra do Rio Grande apresenta-se extremamente homogênea e lisa. Ao norte a plataforma apresenta irregularidades topográficas representadas por bancos arenosos lineares, cujas diferenças entre crista e cava atingem 5 m.

Laguna dos Patos

O complexo Lagunar Patos-Mirim possui uma área de 13.680 km² e recebe as águas provenientes de uma vasta rede de drenagem, com aproximadamente 183.523 km² de área, dos quais, 75% correspondem ao sistema hidrológico Patos (9.910 km²) e 25% ao sistema hidrológico Mirim (3.770 km²), tendo como única ligação com o oceano o canal do Rio Grande. O extremo sul da Laguna se caracteriza como um estuário de planície costeira, apresentando um comportamento hidrodinâmico extremamente variável, em função da sua configuração morfológica (Fig. 1) e das condicionantes meteorológicas. O canal da desembocadura lagunar apresenta um estreitamento, profundidade média de 14 metros e largura aproximada de 1 km, terminando com dois molhes de aproximadamente 4 km de extensão.

REGIMES METEOROLÓGICO E HIDRODINÂMICO

Marés

As marés astronômicas são praticamente insignificantes na área em estudo. As principais observações realizadas em Rio Grande, foram efetuadas por Malaval (1923), que registrou uma média/ano de 0.47m, o que caracteriza o estuário como do tipo microtidal. Entretanto, quando associadas à uma baixa descarga fluvial, são capazes de gerar desníveis no interior do estuário modificando a direção ou intensidade do fluxo.

Ventos

Malaval (*op. cit.*) fez um estudo de ventos durante o período de 1913 a 1915 observando que os ventos de NE são os mais freqüentes, seguidos dos de ENE, SE e SW, respectivamente, sendo a dominância dos ventos do setor NE de 45% do total.

O regime de ventos da região está ligado às altas pressões subtropical e polar representadas pelo anticiclone semi-fixo do Atlântico Sul e pelo anticiclone polar. A alternância de ação desses dois anticiclones, durante todo o ano, faz com que ocorram ventos do quadrante NE, com maior freqüência nos meses de setembro a fevereiro, enquanto que de abril a agosto predominam os ventos provenientes de SW.

Durante a passagem do anticiclone polar, sua circulação induz a uma variação na direção do vento de NE para SW. Essa variação do vento afeta diretamente o sistema de correntes da laguna e sobretudo, o regime de enchente e vazante do estuário.

Regime de vazante e enchente

O aumento de contribuição da bacia hidrográfica e os ventos de N a E tendem a aumentar as vazantes, devido ao fato de coincidirem com o eixo principal da laguna. Por sua vez, a diminuição das contribuições de montante e os ventos de SE a W favorecem o regime de enchente (Motta, 1969).

Estudos efetuados por Malaval (*op. cit.*) procura-

ram investigar qual a situação dominante, enchentes ou vazantes, bem como a relação entre duração e intensidade dos mesmos. Através de médias anuais (1908 e entre 1911-1915), observou que os períodos de vazantes consecutivas são bem mais numerosos que os de enchentes. Tal fato deve-se à combinação das variações pluviométricas sazonais com os ventos predominantes. A análise dos dados demonstrou as seguintes freqüências dos regimes: vazantes 205 dias/ano; enchentes 108 dias/ano; períodos de vazão nula (estofa), 52 dias/ano.

Hidrodinâmica estuarina

Os regimes de fluxo no sistema estuarino, estão relacionados aos desníveis que ocorrem dentro da laguna e na costa oceânica. Estes desníveis são gerados pela contribuição a montante, proveniente da rede de drenagem lagunar, pelos ventos e pela ação das marés.

A descarga fluvial está diretamente relacionada à pluviosidade da região, apresentando um padrão sazonal. Períodos com alta descarga lagunar favorecem o regime de vazante e, portanto, de exportação de material em suspensão. Baixas descargas lagunares permitem que outras variáveis possam agir, modificando o regime do fluxo. Períodos de estiagem na região, em que as descargas são fracas, são períodos de mínima exportação para a plataforma.

Estudos efetuados por Paim & Moller Jr. (1986) demonstram que o Estuário da Laguna dos Patos apresenta os quatro tipos de circulação propostas por Cameron & Pritchard (1963), os quais variam em função dos fatores meteorológicos. Situações de **ausência de circulação estuarina** são devidas a uma descarga lagunar muito alta, na qual o estuário se comporta como grande exportador de material em suspensão para a plataforma. Geralmente, tais situações estão associadas a ventos do quadrante NE. **Estuário do tipo bem estratificado**, favorece à floculação e deposição porém, não permite a consolidação dos finos recém-depositados, devido a inversões dos fluxos de enchente próximo ao fundo criando, dessa forma, contínuas ressuspensões, as quais favorecem a exportação de material pela porção superior da coluna d'água. **Estuário parcialmente estratificado**, quando associado a fluxos intensos de enchente ou fracas descargas fluviais, favorece a importação de material em suspensão devido ao transporte residual para o interior da Laguna, bem como a deposição e consolidação desse material. Quando da ocorrência de **Estuário homogêneo**, as descargas fluviais são extremamente baixas ou os níveis junto à costa oceânica excepcionalmente altos, gerando assim condições que favorecem a entrada de água salgada para o interior da Laguna. Estas situações não são favoráveis à concentração e deposição de finos na região, devido às águas oceânicas se apresentarem pobres em material em suspensão. Entretanto, quando associado as fortes tempestades de SE, se comporta como grande importador.

Devido às dificuldades de se avaliar os fluxos estratificados bi-direcionais na área, estudos precisos sobre as contribuições de totais sólidos em suspensão do estuário para a região costeira são muito escassos. Hart-

mann & Schettini (1991), através da análise do material em suspensão, nas diferentes situações de circulação estuarina demonstraram que a exportação para a plataforma é mais significativa que a importação.

Correntes

Trabalhos referentes a correntes no Estuário da Laguna dos Patos são muito escassos. Gaffrée (1927), através de estudos dentro e fora do canal, observou que as correntes de vazante seguem trajetórias paralelas pelo lado oeste do canal e, ao alcançarem uma determinada velocidade, se dirigem para cima do banco (em frente à desembocadura dos molhes).

Cortes (1929) constatou que, ao sair dos molhes, as correntes de vazante de grande velocidade se dirigem para o S ou para SW, ao passo que, as correntes de fraca velocidade se dirigem para SW. Quanto às correntes de enchente, as máximas intensidades são geradas pelos ventos de WSW-SSW, as quais têm sua direção acentuada para ENE. Essas correntes podem atingir valores máximos de velocidade da ordem de 136 cm/s e podem ocasionar um desnível de até 1 m entre os dois molhes.

Correntes Litorâneas

Como os ventos predominantes na região são de NE, as correntes litorâneas geradas por vento tem direção NE-SW durante a maior parte do ano. Os ventos de SW, S e SE geram correntes de sentido oposto. As correntes de sentido SW apresentam variações de velocidade entre 14 e 62 cm/s (Motta, 1969). As correntes geradas por ventos apresentam um transporte preferencial de finos em direção ao Sul. Contrariamente, as correntes litorâneas geradas por incidência oblíqua de ondas são mais efetivas na remobilização de sedimentos arenosos apresentando um transporte preferencial para o Norte.

Ondas

Motta (*op. cit.*) verificou que as ondulações (swell) de maior energia e menor esbelteza provém de SE. As ondas provenientes do quadrante leste-nordeste, em decorrência dos ventos reinantes de NE, são predominantemente vagas, mais curtas e esbeltas, de período mais variado e de menor energia. Segundo este mesmo autor, 23% dos dias por ano ocorrem vagas e ondulações, cuja altura significativa de maior ocorrência é de 1,5 m a profundidade de 15 a 20 m. Durante 16% do tempo, a altura significativa é superior a 2 m, sendo superior a 2,40 m somente 3% do tempo. O período significativo mais freqüente é de 9 seg.

METODOLOGIA

A Operação Geocosta Sul I foi realizada no ano de 1983, dentro do Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM), com o objetivo de estudar a plataforma interna adjacente à desembocadura da Laguna dos Pa-

tos, com ênfase especial à região de interação entre o estuário e o oceano. As operações foram realizadas pelo NOc. Almte. Câmara, da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) do Ministério da Marinha. A área de amostragem do Geocosta Sul I cobriu as fácies ocorrentes na Plataforma interna desde o Farol Sarita até as proximidades do Banco Capela.

A primeira etapa consistiu em um reconhecimento geral da área de estudo através de levantamentos com sonar de varredura lateral e amostragem superficiais. (Fig. 1)

Na segunda etapa foram realizadas amostragens superficiais e subsuperficiais através de dragagens e testemunhador a pistão. Foram obtidos 17 testemunhos com comprimento variando entre 0,40-3,70 m; amostragens de material em suspensão e levantamento de alguns parâmetros ambientais (hidrofísicos e hidroquímicos).

Neste trabalho foram utilizados alguns dados obtidos durante a Operação Geocosta Sul II (1984), em que foram realizados levantamentos correntométricos através de fundeios ao SE da desembocadura lagunar. Foi usado um correntômetro Hidrocean modelo IRFE S/2, sendo as medições tomadas de hora em hora em dois níveis, a 3 m do fundo e superfície. Paralelamente foram fornecidos pela equipe do navio dados de vento, (direção e intensidade). Os dados obtidos foram plotados na forma de diagrama de vetor progressivo (Fig. 9).

A partir das amostragens superficiais e dos padrões do sonar de varredura lateral foi feito um mapa textural da área. Para a confecção dos mapas de isópacas de lama superficial e total dos depósitos, foram utilizados 13 testemunhos localizados mais próximos à costa.

Através dos dados hidroquímicos e hidrofísicos foram feitos os mapas de distribuição de material em suspensão e salinidade.

RESULTADOS

Mapa textural

O mapa de fácies texturais mostra que a Fácies Patos é mais abrangente em frente à desembocadura até a isóbata de 22 m. Em direção ao Sul, entre 4 e 16 milhas da barra, esta fácies raramente ultrapassa a isóbata de 20 m, sendo constituída pelos sedimentos finos provenientes da rede de drenagem Patos-Mirim. A presença dos bolsões de lama encontrados ao sul da desembocadura, dentro da Fácies Patos, se encontram limitados entre as isóbatas de 15 e 17 m (Fig. 2).

Testemunhos

Os testemunhos apresentaram conteúdos significativos de sedimentos finos, conforme pode ser observado nos testemunhos T-136 e T-143. Intercalações de lama e areia com contatos bruscos bem definidos evidenciam um comportamento hidrodinâmico variável (Figs. 3, 3a, 3b, 3c, 3d, 4).

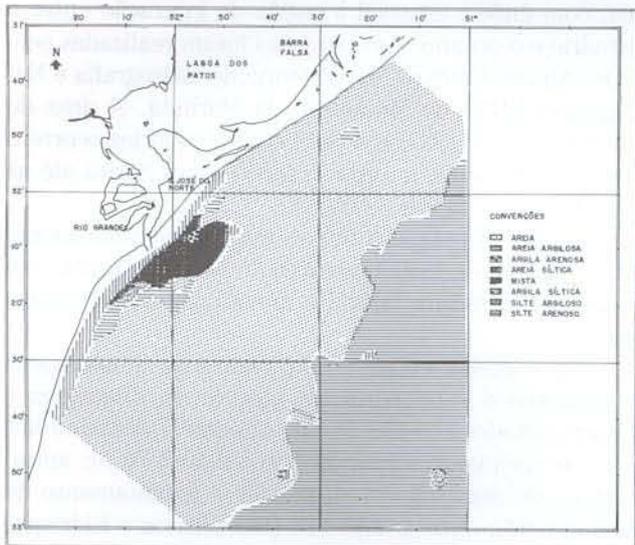


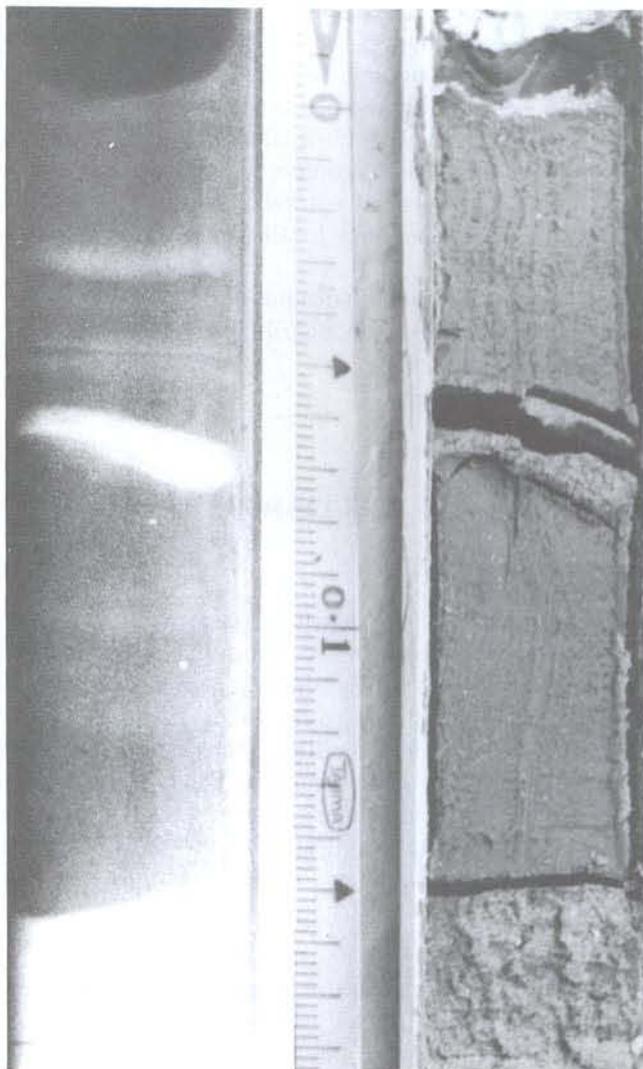
Figura 2 — Mapa textural da Plataforma Interna adjacente à desembocadura da Laguna dos Patos.

Mapa de isópacas

O mapa de isópacas de lama superficial permitiu detectar espessuras de até 0,80 m. A análise deste mapa mostra as maiores espessuras entre as isóbatas de 14 e 20 m, diminuindo tanto em direção à praia como em direção ao mar aberto. Pontos de maior espessura aparecem predominantemente ao sul da Barra, porém restritos à área de influência direta da descarga lagunar (Fig. 4).

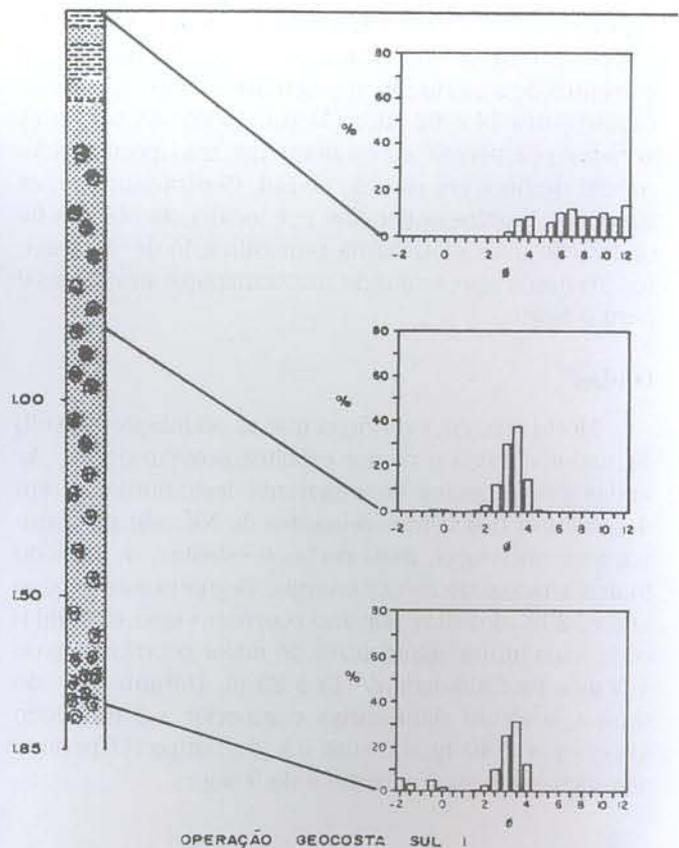
O mapa de isópacas de lama total (soma de todos os níveis de lama) evidencia um aumento de espessura em direção à praia, apresentando uma distribuição mais ampla que a lama superficial demonstrando, assim, a grande variabilidade da influência lagunar (Fig. 5).

O Mapa de isópacas de lama arenosa total caracteriza espessuras de até 0,60 m principalmente ao sul da embocadura lagunar, numa área intermediária entre a linha de costa e profundidades de 40 m (Fig. 6).



T 147

14 m



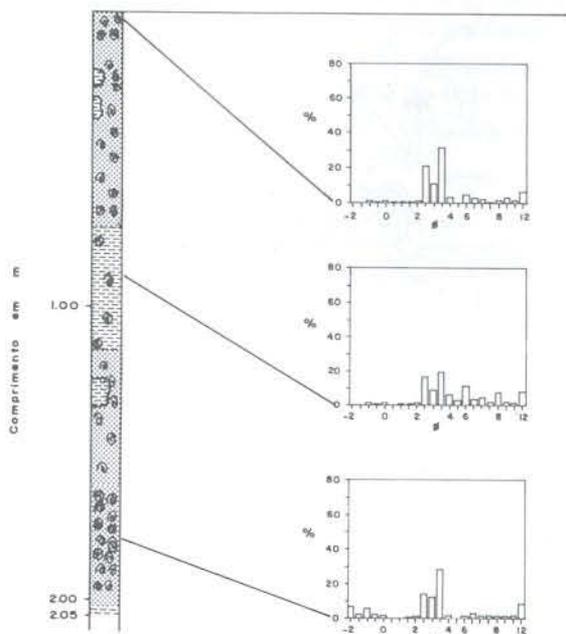
OPERAÇÃO GEOCOSTA SUL I

LEGENDA

- AREIA
- BIÓDETritos
- LAMA

Figura 3 — T-147 apresenta nítidas intercalações de lama com areia na sua porção superior. A foto e o raio-X mostram mais detalhadamente o contato brusco entre as duas camadas.

13 m

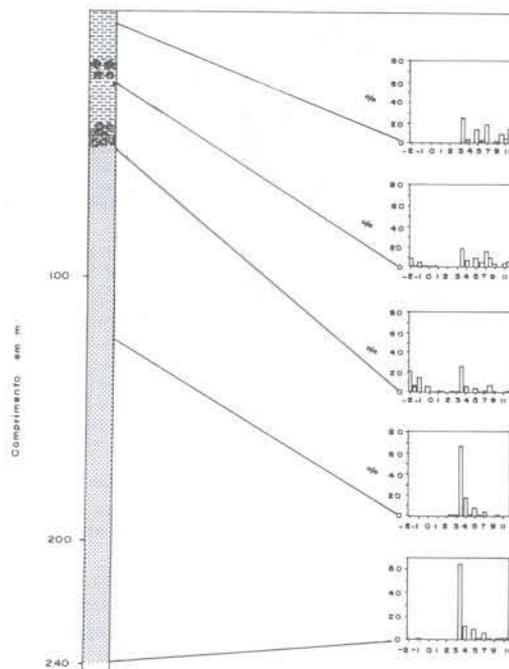


OPERAÇÃO GEOCOSTA SUL I



T 136

NORTE DA EMBOCADURA - 14 m



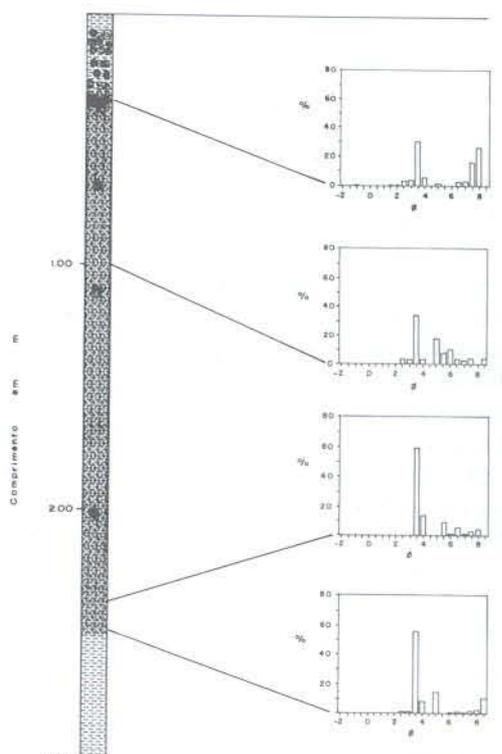
OPERAÇÃO GEOCOSTA SUL I



Figura 3a - T-144 apresenta bolas de lama isoladas, bem como a presença constante de biodetritos por toda a extensão do testemunho com um aumento gradual em direção à base.

T 133

QUERÊNCIA 16.5 m

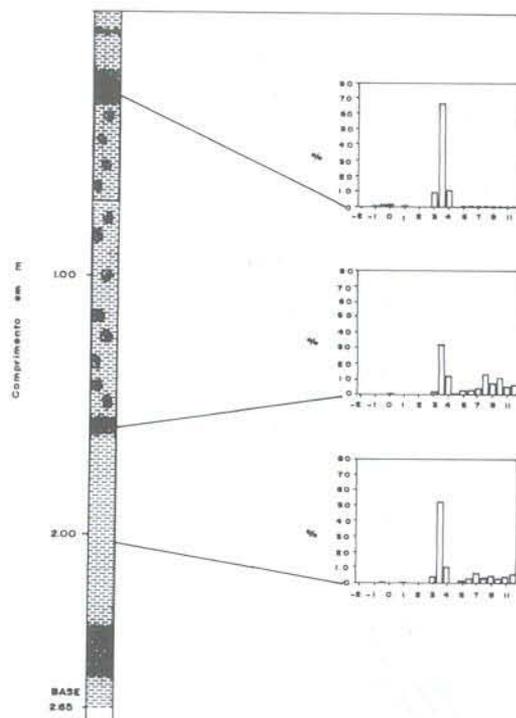


OPERAÇÃO GEOCOSTA SUL I



T 141

14 m



OPERAÇÃO GEOCOSTA SUL I



Figura 3b - T-133.

Figuras 3c-3d - T-136 e T-141 se localizam ao norte da desembocadura lagunar e apresentam camadas de sedimentos finos intercaladas por camadas de biodetritos, indicando uma mudança abrupta na hidrodinâmica local.

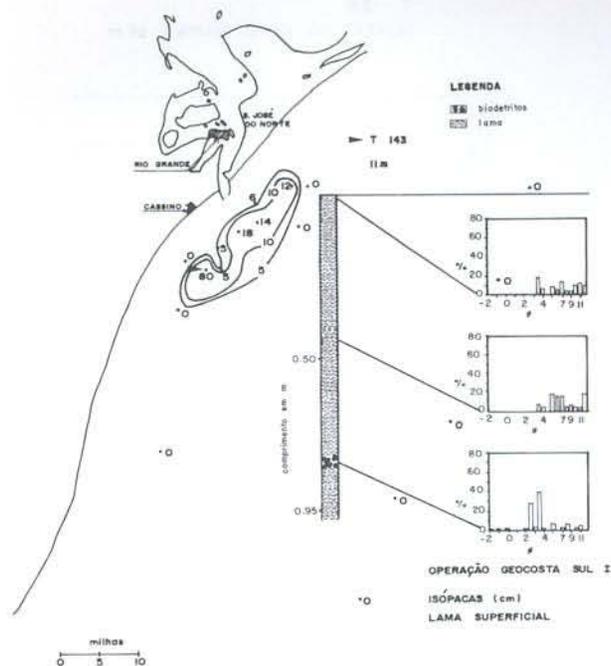


Figura 4 — Mapa de isópacos de lama superficial. Observa-se que o T-143 localizado ao sul da desembocadura lagunar, apresentou uma camada contínua de 80 cm de sedimentos pelíticos.

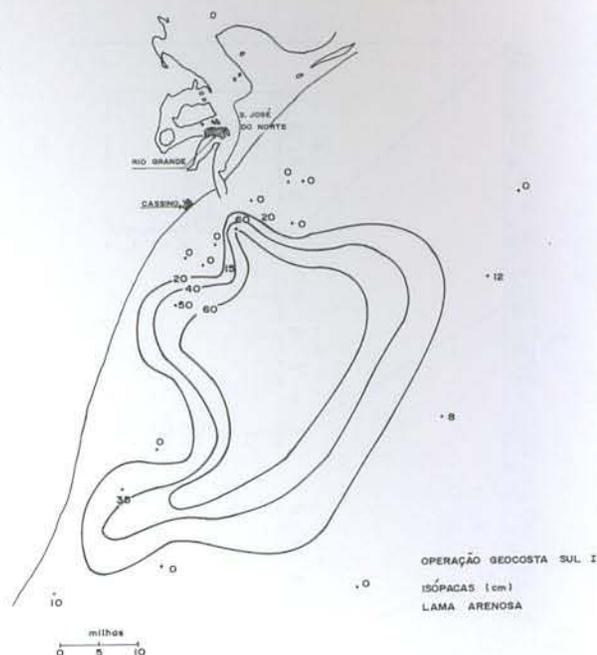


Figura 6 — Mapa de isópacos de lama arenosa total.

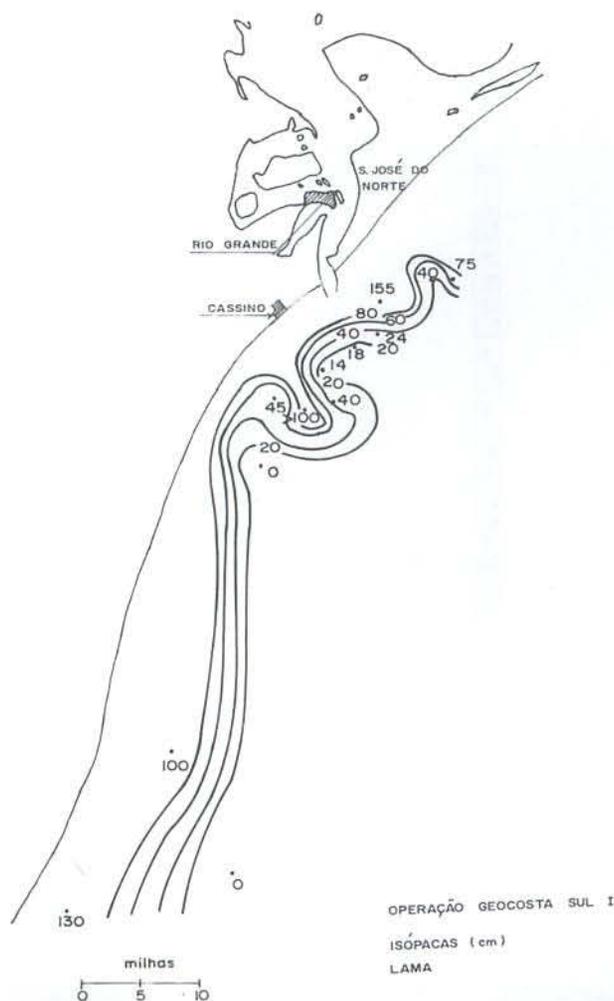


Figura 5 — Mapa de isópacos de lama total (soma de todos os níveis de lama).

Parâmetros ambientais

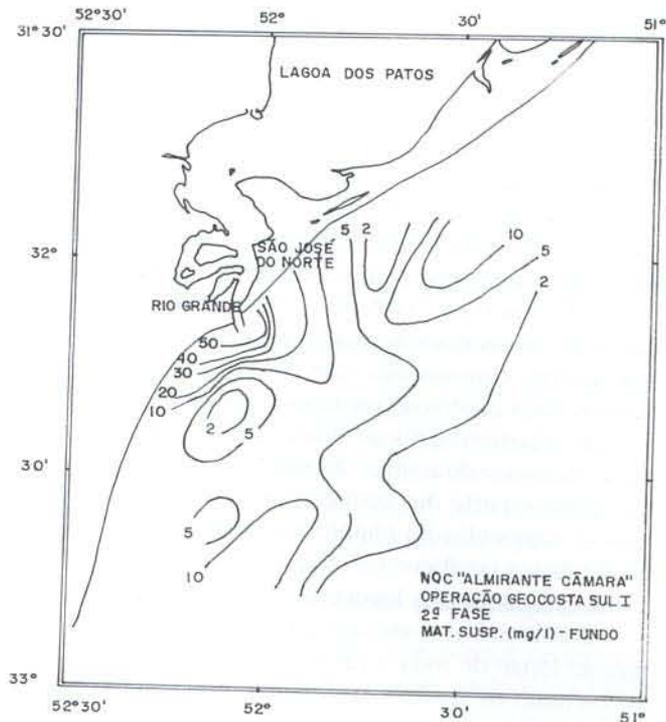
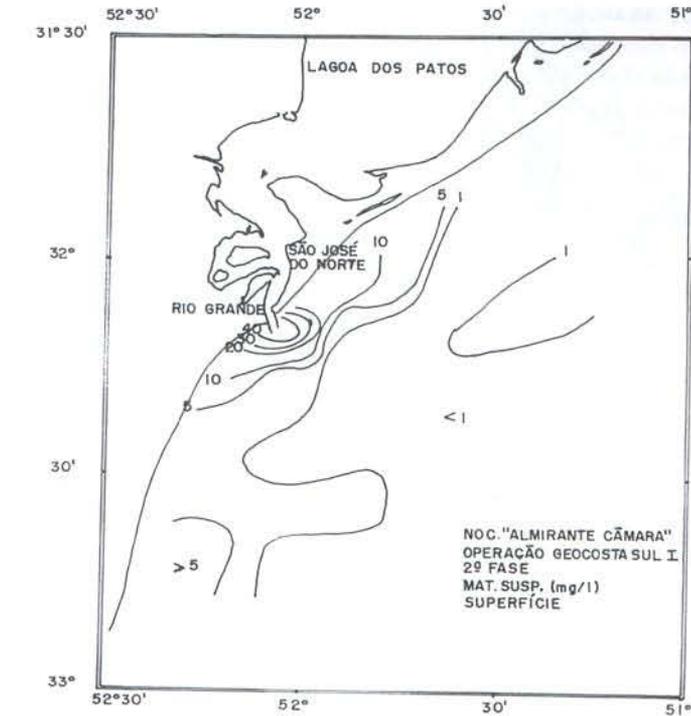
Durante a segunda etapa do Geocosta Sul I (14 a 18/4/83), foi possível observar a influência da situação atmosférica nos parâmetros ambientais da área, determinada pela passagem de um anticiclone polar que se deslocava no sentido SW-NE provocando variações na direção do vento e girando no sentido SW-E-NE, depois, houve a penetração de uma frente fria causando uma mudança brusca de direção do vento (em torno de 140 graus), no sentido NW-W-SW.

Os valores mais altos de material em suspensão de superfície estão situados próximos a desembocadura da Laguna dos Patos. Nesta área observou-se um forte gradiente com valores mínimos de 10 mg/l e máximos de 40 mg/l. As concentrações de fundo apresentam valores maiores que os de superfície, com mínimos em torno de 2 mg/l e máximos de 50 mg/l, ocorrendo valores mais altos em áreas mais afastadas da desembocadura resultantes da ressuspensão dos sedimentos por efeito de ondulações e correntes (Figs. 7, 7a).

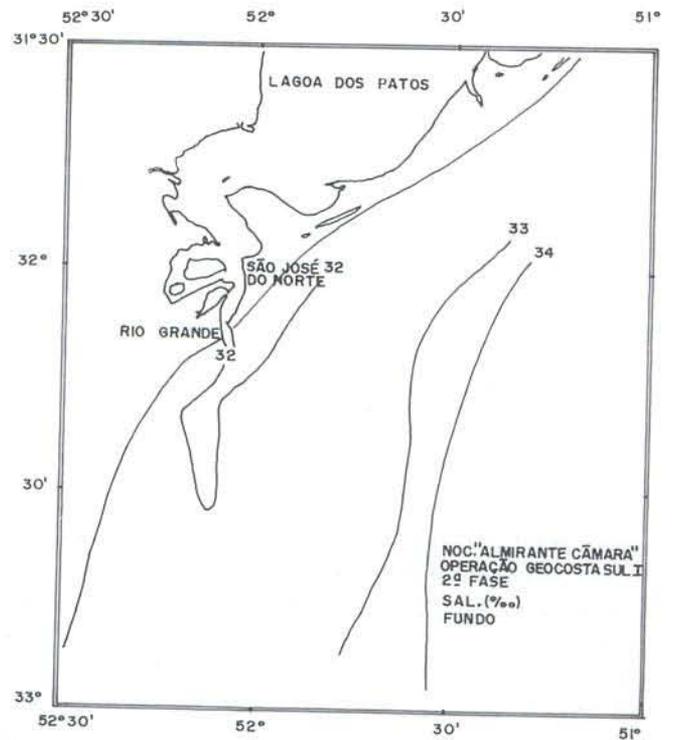
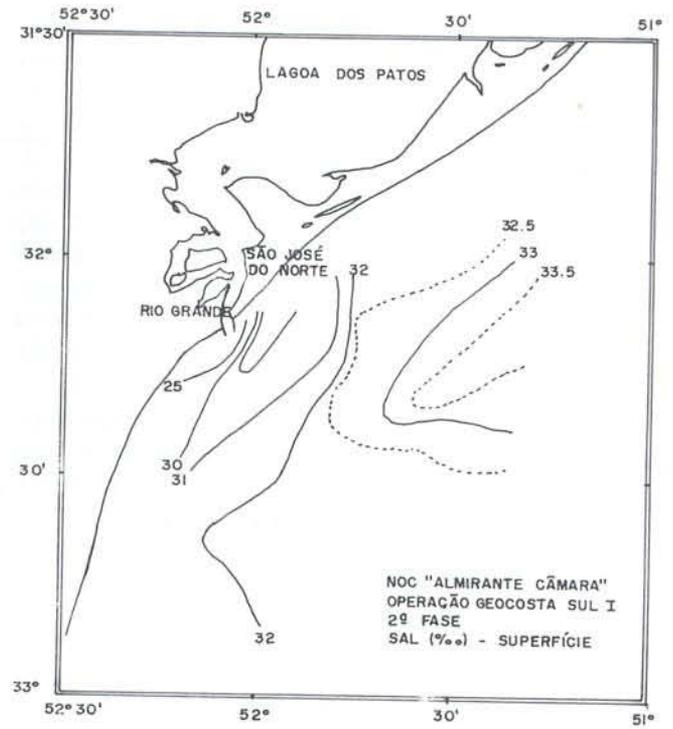
A região costeira apresenta um forte gradiente de salinidade (2,8 ppm/milhas náuticas), principalmente na região sul dos Molhes da Barra não sendo evidente ao norte. Embora a salinidade aumente em direção a mar aberto seus valores ainda são característicos de águas costeiras (Figs. 8, 8a).

Os resultados obtidos durante o fundeio (Geocosta Sul II), indicam valores máximos de correntes da ordem de 30 cm/s, tanto em superfície como no fundo. Notou-se uma correlação direta entre a direção do vento e as correntes superficiais. Ventos do quadrante SE geraram correntes de direção NE, paralelas à costa. Inversões na direção do vento para NE, implicaram em

uma resposta imediata na direção da corrente, para SW. O comportamento das correntes de fundo diferenciou-se da superficial, apresentando uma mudança antecipada de direção independente da mudança na direção do vento. Especula-se que tal comportamento foi ocasionado pelo "empilhamento" de água na costa, em função de 16 horas de vento SE contínuos, produzindo fenômenos de "downwelling" (Fig. 9).



Figuras 7-7a — Mapa de distribuição de material em suspensão na superfície e fundo.



Figuras 8-8a — Mapa de isohalinas de superfície e fundo.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Mecanismos de Transporte e Deposição

A maior parte dos sedimentos provenientes da rede de drenagem da Laguna dos Patos são depositados no corpo lagunar de forma seletiva, ou seja, do Norte para o Sul se depositam, primeiramente, os mais grosseiros, permanecendo grande parte dos finos em suspensão até ingressarem no estuário onde apresentam um mecanismo de deposição mais complexo. De ma-

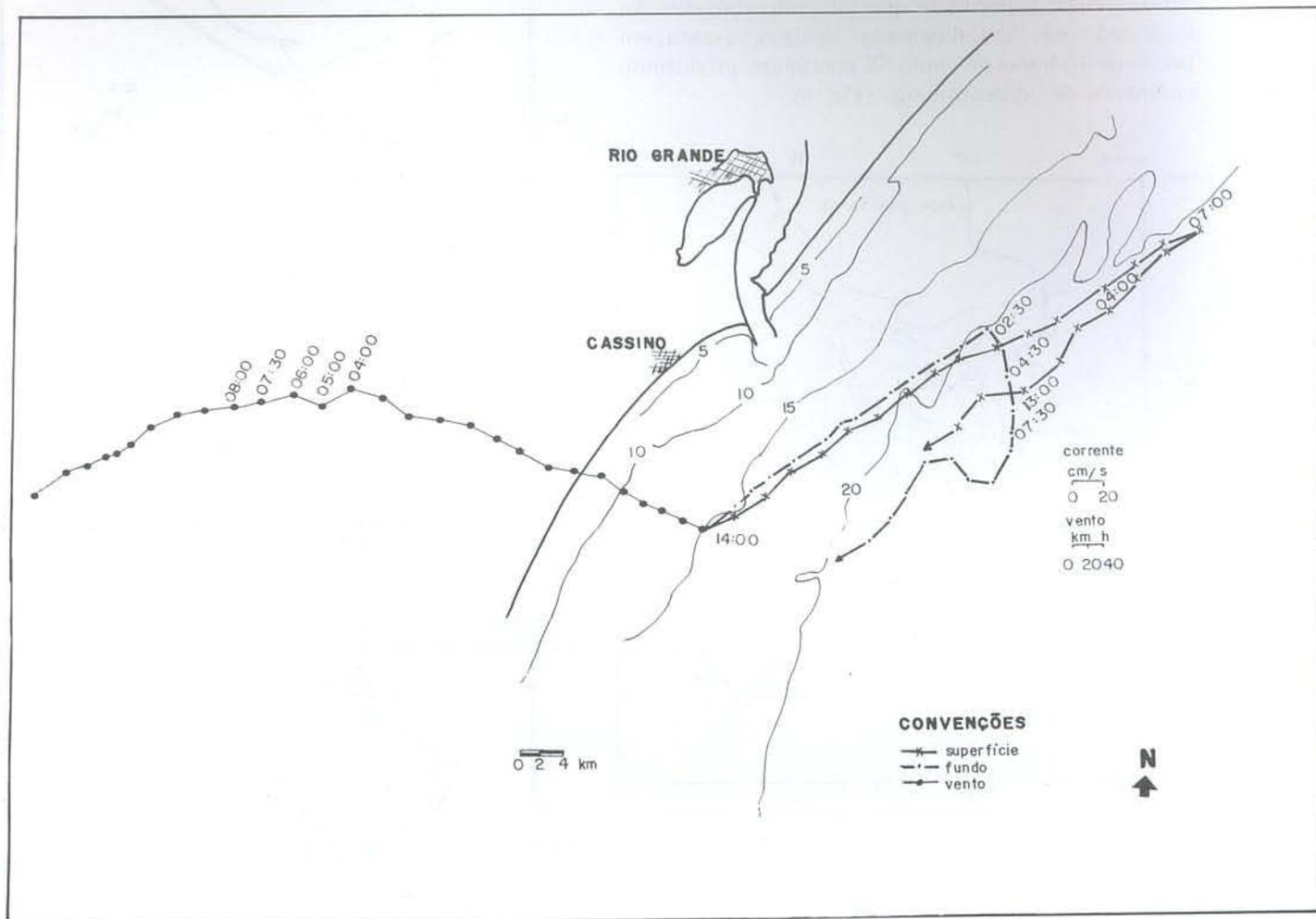


Figura 9 — Diagrama do vetor progressivo para vento e correntes de superfície e fundo próximo aos depósitos lamíticos. Profundidade de 16 m. Os vetores representam velocidade média e direção tomadas de forma horária durante 5 minutos de observação.

neira geral, a concentração de material em suspensão e sua precipitação no estuário são condicionadas, principalmente, pelo aporte de água doce (pluviosidade) e pela extensão da intrusão da água salgada que, dependendo da intensidade, pode ressuspender o material já depositado. O limite da cunha salina se caracteriza pela ocorrência de uma zona de máxima turbidez, pois a floculação das argilas aumenta a deposição de partículas, promovendo a deposição no limite da intrusão salgada.

Geralmente, sedimentos finos necessitam de ambientes de baixa energia com velocidades de correntes inferiores a 10 cm/s para serem depositados. Entretanto, Einstein & Krone (1962), McCave (1970, 1972) *in* Drake (1976) através de estudos efetuados em canais, sugerem que a deposição de lama pode ocorrer com velocidades de correntes surpreendentemente altas. A deposição de silte e argila a velocidades de 10 a 15 cm/s estaria relacionada a presença de uma subcamada viscosa no limite do fluxo turbulento. Assim, as partículas finas que ingressam na camada próxima ao fundo, de fluxo laminar, são depositadas. Logo após a sua depo-

sição, a lama pode ser facilmente ressuspensa devido ao seu baixo grau de consolidação (alto conteúdo de água).

Mapas texturais da região estuarina demonstram que a distribuição faciológica predominante é a arenosa, sendo a presença de finos restrita aos ambientes de baixa energia como as regiões mais profundas dos canais e as zonas mais abrigadas do estuário (enseadas). Tais fatores demonstram que o trapeamento de sedimentos finos dentro do estuário é limitado aos períodos em que a hidrodinâmica é fraca, permitindo a consolidação desses sedimentos, floculados ou não. Dessa forma, grande parte dos sedimentos finos escapa para as regiões adjacentes na plataforma interna. A ocorrência de depósitos lamíticos na plataforma interna adjacente à desembocadura da laguna é uma evidência disso.

Geralmente, os escoamentos de vazante não ocorrem ao longo de toda a profundidade do canal, mas se apresentam de modo estratificado. Entretanto, em períodos de grande vazão, a cunha salina pode ser totalmente expulsa do estuário, descaracterizando o ambiente estuarino e exportando uma grande quantidade

de sedimentos. O estreitamento do canal faz com que aumente o fluxo de corrente e a turbulência, aumentando a turbidez. Dessa forma, ao sair dos molhes, o jato de água é comprimido lateralmente pelas águas oceânicas, se misturando gradualmente com as águas marinhas, em função do volume e velocidade da corrente.

Essa mistura ocorre tanto longitudinalmente ao eixo da pluma, quanto transversalmente. Dessa forma, a manutenção do volume de água lagunar pode ser mantido por muitos quilômetros para dentro do oceano, embora ocorra decréscimo de velocidade (Hartmann & Silva, 1988) formando um vórtice. Em períodos de alta pluviosidade associados com ventos de NE, essa pluma pode apresentar uma alta concentração de material em suspensão que ao encontrar as águas salgadas floculam, formando um lençol de lama fluída, o qual pode deslocar-se sob a ação de ondas e correntes. Propicia-se assim, a formação de depósitos lamfíticos em áreas de baixa profundidade.

Motta (1969) comenta sobre indicações esparsas e um tanto vagas de ocorrência de vasa ao largo da costa, em particular por fora e na sombra do banco em frente a desembocadura lagunar.

Habiaga *in* Calliari (1980), observou a ocorrência de registros de camadas de dispersão sônica semelhantes às produzidas pelo fenômeno de "Lama fluída" (Crème de Vase), fora da desembocadura.

Através da distribuição de salinidade e material em suspensão (Figs. 7, 8) pode-se observar a influência das águas lagunares até aproximadamente 20 milhas ao norte da desembocadura lagunar. Esta influência atinge áreas ao sul e ao norte da barra com contribuição mais importante para o sul, em função dos ventos predominantes de NE e NW quando da época de amostragem.

As análises de isópacas de lama total demonstram um transporte sedimentar preferencial na direção sul a partir da barra, onde são encontradas as maiores extensões e espessuras de sedimentos finos. Este padrão de transporte sedimentar foi observado no transporte de sedimentos erodidos pelas correntes de vazante no banco em frente à desembocadura, na direção NE-SW por Gaffrée (1927). Através de imagens obtidas com o satélite Landsat, bem como dados de campo de material em suspensão na área estuarina, Hartmann *et. al.* (1990) demonstram que o transporte sedimentar está condicionado pela ação predominantemente do vento NE na região.

A porção norte da plataforma interna adjacente ao molhe leste, se caracteriza morfologicamente pela presença de bancos arenosos lineares. A presença desses bancos indica um ambiente de maior hidrodinâmica, o que, adicionado ao fato do regime de ventos do quadrante sul não ser predominante, faz com que esses depósitos apresentem extensões menos significativas.

Mecanismos de Consolidação e Ressuspensão

Uma explicação usual sobre depósitos de lama em plataformas, tem sido apresentada por McCave (1970, 1972) que enfatiza o fato de que a localização e taxa de acumulação de lama são controlados pelo balanço entre o suprimento de sedimentos e pela habilidade do trans-

porte marinho. Dessa forma, sedimentos, como silte e argila em suspensão, podem ser depositados a uma determinada profundidade na plataforma, onde as correntes geradas por ondas apresentam velocidades abaixo de 5-10 cm/s. Essa profundidade geralmente varia de 20 a 50 m, e depende da exposição da costa, ou seja, onde a ressuspensão por ondas é baixa e, a concentração de material em suspensão é alta o bastante para suprir e manter depósitos de lama permanentes que resistam aos efeitos de bioturbação e às correntes erosivas de tempestade (Smith & Hoplins, 1972 *in*: Drake, 1976).

A ressuspensão de sedimentos finos, maiores que 4 ϕ , apresenta maior complexidade quando se adicionam os efeitos de coesão e compactação. A resistência à ressuspensão é função do grau de compactação, o qual depende do conteúdo de água. Logo após a deposição, a lama pode ser facilmente ressuspensa devido a grande quantidade de água ainda presente. Porém, em períodos nos quais os processos de floculação são favorecidos, a deposição dos flocos é rápida, formando camadas com altas concentrações, cuja porção superior pode variar entre 2 e 10 g/l, e a inferior de lama fluída entre 10 e 320 g/l (Migniot, 1968 e Owen, 1970 *in*: Drake, *op. cit.*).

Experiências feitas por Drake demonstraram que a ressuspensão desses sedimentos parece ocorrer com velocidades de 20 a 25 cm/s, medidas a 1 m do fundo. Porém, se a deposição nestes locais é lenta, ocorrendo uma menor incorporação de água no fundo, ou, se uma camada for depositada de forma que o fundo seja compactado sobre seu peso, a velocidade crítica de erosão pode aumentar drasticamente para mais de 50 cm/s.

A formação dos depósitos de lama na plataforma ocorrem somente em períodos nos quais a deposição não é imediatamente seguida por eventos que produzam altas velocidades de corrente. Isso permitirá que os sedimentos lamosos possam aumentar a sua tensão de cisalhamento, tendo uma boa possibilidade de resistir à ressuspensão (exceto sob a ação de correntes mais intensas). Experiências realizadas por Migniot e Owen (*op. cit.*) mostram que a saída de água é um processo lento, levando de 10 a 500 horas para seu escape, através dos interstícios dos flocos depositados, e, mais de 800 horas para sua completa consolidação, a qual pode ser alterada pela presença de organismos bentônicos que podem causar distúrbios nos sedimentos de fundo.

A ocorrência esporádica de lama no perfil praiial, ao sul da desembocadura, não parece ser devido à ressurreição de um depósito originado por um aporte recente, mas sim à acumulação de vários aportes, formando depósitos que, em períodos de maior energia de ondas, podem ser ressuspensos. O fluxo oscilatório associado a ondas com alta velocidade orbital de fundo é capaz de gerar um mecanismo efetivo de agitação, o qual interagindo com os sedimentos de fundo, pode deslocar os sedimentos lamfíticos.

Correntes geradas por ventos e ondas associadas a passagem de sistemas frontais são agentes eficazes na erosão de sedimentos lamfíticos e no seu transporte.

Estudos de correntes efetuados a 13 e 21 m de profundidade por Figueiredo (1980) na plataforma continental do Rio Grande do Sul (proximidades Farol do Albardão), demonstraram que durante a passagem de uma frente fria, velocidades de corrente medidas a 2 m do fundo, aumentaram de 3 para 62 cm/s em poucas horas.

Dados correntométricos obtidos com a passagem de um sistema frontal de média intensidade (vento de 28 nós), nas proximidades dos depósitos lamíticos (Fig. 9), demonstraram que os valores de velocidades de correntes medidos a 3 m do fundo, podem atingir 30 cm/s.

Sabe-se que a ação de ventos provenientes de S a W provocam ondulações e correntes paralelas à praia, revolvendo os sedimentos arenosos do Banco em frente a desembocadura lagunar, transportando os sedimentos no sentido das correntes parte para a praia, entre a raiz do molhe Oeste e o Cassino; parte para dentro do canal, entre os molhes e, por fim, uma parte cruzando na frente dos molhes em direção norte "engordando" a praia adjacente ao molhe Leste (Gaffrée, 1927). Esse mecanismo de transporte descrito por Gaffrée próximo à desembocadura, parece atuar em toda a porção interna da plataforma, onde os sedimentos arenosos tendem a ser ressuspensos e transportados em direção à praia, o qual se encontra bem evidenciado na presença intercalada de lama, areia e cascalho nos testemunhos, demonstrando uma grande variação na dinâmica da área. A presença de camadas gradacionais bem como os nítidos contatos bruscos entre a alternância das camadas demonstram que a dinâmica da área é totalmente condicionada pelos parâmetros meteorológicos os quais podem mudar rapidamente.

Esses depósitos podem ser ressuspensos em períodos de maior energia de ondas provenientes do quadrante S, transportados para o perfil praiado em forma de suspensão concentrada, onde são depositados e posteriormente retrabalhados pelo regime de ondas normais. Esse mecanismo de deposição é explicado detalhadamente por Martins *et al.* (1978).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A plataforma interna adjacente à desembocadura da Laguna dos Patos, pode ser caracterizada como uma zona de inter-relação entre o estuário e o oceano, cujos parâmetros sedimentológicos e ambientais são fortemente influenciados pelas condições de vento e chuvas na bacia de drenagem dos sistemas Patos-Mirim. As condições meteorológicas da área é que controlam o regime hidrodinâmico da Laguna, condicionando assim uma maior ou menor contribuição de sedimentos para a costa.

De maneira geral, a região estuarina devido a sua hidrodinâmica e morfologia se apresenta como fonte potencial de sedimentos finos para a plataforma interna. Tais evidências, acrescidas de dados já existentes da mineralogia das argilas, e as condições oceanográficas das áreas caracterizam esses depósitos como atuais.

A maior contribuição de sedimentos ao sul da desembocadura, é devido à predominância dos ventos do

quadrante NE que, quando associados a uma alta precipitação pluviométrica, propiciam a formação de uma pluma de direção SW. Os sedimentos finos transportados nessa pluma floculam e depositam nas adjacências da desembocadura em forma de lama fluida.

A grande variabilidade dos regimes de ventos propicia períodos de menor energia favorecendo, dessa forma, a consolidação dos depósitos.

A ação das ondulações de E ou SE são as responsáveis pelo transporte dos sedimentos arenosos sobre os depósitos lamíticos, caracterizando as alternâncias observadas nos testemunhos.

Os depósitos lamíticos mapeados coincidem com a área de ocorrência de aporte de lama no perfil praiado em períodos de maior energia de ondas do quadrante S.

Agradecimentos — Nossos mais sinceros agradecimentos aos Oc. Maria Inês F. dos Santos e Oc. Mauricio M. Matta pela revisão crítica e sugestões dadas quando da confecção do manuscrito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avoine, J.; Allen, G. P.; Nichols, M.; Salomon, J. C. & Larssonneur, C. 1981. Suspended-sediment transport in the Seine estuary, France: effect of man-made modification on estuary-shelf sedimentology. *Marine Geology*, 40: 119-137.
- Borzzone, C. A. & Griep, G. H. 1991. Características do Sedimento Superficial Infralitoral da Região Costeira Adjacente à Desembocadura da Laguna dos Patos, RS, Brasil. *Pesquisas*, 18 (1): 71-78.
- Borralho, S. M. V. (1929). *Relatório da Enchente de Maio de 1941*. Diretoria de Obras do Porto e Barra do Rio Grande. Porto Alegre, p. 53-54 (Relatório s/nº).
- Calliari, L. J. 1980. *Aspectos sedimentológicos e ambientais na região estuarial da Laguna dos Patos*. Curso de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. 190 p.
- _____; Paim, P. S.; Moller, O. O.; Niencheski, L. F. H. & Paz, R. S. 1984. Operação Geocosta Sul. Súmula. *I Seminário sobre pesquisa da Laguna dos Patos*, Porto Alegre, p. 98-107.
- Castaing, P. & Allen, G. P. 1981. Mechanisms controlling seaward escape of suspended sediment from the Gironde: a macrotidal estuary France. *Marine Geology*, 40: 101-118.
- Cortes, C. M. 1929. *Relatório da Enchente de Maio de 1941*. Diretoria de Obras do Porto e Barra do Rio Grande. Porto Alegre, p. 53-54 (Relatório s/nº).
- Drake D. E. 1976. Suspended Matter on Continental Shelves. In: D. J. Stanley e D. J. P. Swift. (ed.) *Marine Sediment Transport and Environmental management*. p. 127-158.
- Delaney, P. J. V. 1965. Fisiografia e geologia de superfície da planície costeira do Rio Grande do Sul. *Publicação Especial*. Escola de Geologia, Porto Alegre, 6: 1-105.
- Figueiredo Jr., A. G., 1980. Response of water column to strong wind forcing, southern Brazilian inner shelf: implications for sand ridge formation. *Marine Geology*, 35: 367-376.
- Gaffrée, C. L., 1927. *Relatório da Enchente de Maio de 1941*. Diretoria de Obras do Porto e Barra do Rio Grande. Porto Alegre, p. 48-52 (Relatório s/nº).
- Hartmann, C. & Schettini, C. A. F. 1991. Aspectos Hidrológicos na Região da Desembocadura da Laguna dos Patos, RS. *Revista Brasileira de Geociências* (no prelo).
- _____; Silva, O. F. 1988. Dinâmica sazonal da pluma de sedimentos na desembocadura da Laguna dos Patos, através de imagens MSS/Landsat. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, RN (no prelo).
- Komar, P. D., 1976. The Transport of Cohesionless Sediments on Continental Shelves. In: D. J. Stanley & D. J. P. Swift. (ed.) *Marine Sediment Transport and Environmental Management*. John Wiley & Sons Inc, New York. p. 107-126.
- Malaval, E. I. B., 1923. *Relatório da Enchente de Maio de 1941*.

- Diretoria de Obras do Porto e da Barra de Rio Grande, Porto Alegre, p. 56-59 (Relatório s/nº).
- Martins, L. R.; Urien, C. M. & Eichler, B. B., 1967. Distribuição dos Sedimentos Modernos da Plataforma Continental Sul Brasileira e Uruguaia. *Anais, 21º Congresso Brasileiro de Geologia*, Curitiba, p. 31-32.
- _____; Martins, I. R.; Villwock, J. A.; Calliari L. J. 1978. Ocorrência de lama na praia do Cassino, (RS). *Anais Hidrográficos*, 35: 159-170.
- Motta, V. F. 1969. Relatório-diagnóstico sobre a melhoria e o aprofundamento do acesso pela barra do Rio Grande. *Instituto de Pesquisas Hidráulicas*, Porto Alegre, 114 p.
- Nair, R. R. & Hashimi, N. H. 1986. Influence of estuaries on shelf sediment texture. *Journal of Coastal Research*, 2 (2): 199-203.
- Paim P. S. G. & Moller Jr., O. O. 1986. *Material em suspensão e dissolvido no estuário da Laguna dos Patos - Fase III*. FURG, Rio Grande, 47 p. Relatório.
- Paz, R. da S. 1985. *Aspectos meteorológicos da Laguna dos Patos, RS. 1º Seminário sobre Pesquisa da Lagoa dos Patos*. Porto Alegre (no prelo).
- Villwock, J. A. & Martins, L. R. 1972. Depósitos lamíticos de pós-praia, Cassino (RS). *Pesquisas*, 1 (1): 69-75.
- _____; Martins, I. & Formoso, M. L. L. 1972. Contribuição ao estudo da mineralogia de argilas dos sedimentos de fundo da Laguna dos Patos (RS, Brasil). *Revista de Estudos Sedimentológicos*, 2 (1/2): 13-34.