

Características Sedimentares da Desembocadura da Laguna dos Patos

J. A. F. de Antikeira¹ & L. J. Calliari¹

¹ Laboratório de Oceanografia Geológica - Fundação Universidade Federal do Rio Grande
Av. Itália – km 8, Cx. 474 Rio Grande (pgofjose@furg.br).



RESUMO

A porção inferior da Laguna dos Patos, um estuário micromaré é caracterizada por eventos de enchente e vazante regidos respectivamente por marés meteorológicas e pela descarga lagunar proveniente da bacia de drenagem. Com base em 179 amostras sedimentares, seis tipos de fundo foram identificados. Sedimentos arenosos encontram-se em áreas rasas adjacentes ao esporão arenoso gerado pelo transporte litorâneo induzido pela ação de ondas provindas do quadrante sul. Após do esporão, a existência de baixas condições hidrodinâmicas propicia a deposição de sedimentos finos representados por silte-argiloso, areia argilosa, um fundo misto e argila siltica. Com o aumento da profundidade, a quantidade de sedimentos finos aumenta. Devido ao complexo comportamento hidrodinâmico, um aumento no gradiente granulométrico transversalmente ao *inlet* a semelhança dos padrões descritos para os canais estuarinos localizados na porção média e superior do estuário inexistem. A falta do fundo areno-siltico é notável e provavelmente indique que os padrões sedimentares do *inlet* são dominados por correntes bi-direcionais. O padrão longitudinal indica a existência na porção norte do *inlet* de uma área siltico-argilosa, interpretada como sendo resultado do aprisionamento sedimentar causado pela excursão média da cunha salina a qual também controla os tipos de fundo mutáveis localizados mais ao sul. Os padrões aqui descritos podem representar situações efêmeras associadas a um regime hidrodinâmico predominantemente anual uma vez que durante o período amostrado, o fluxo de vazante atingiu $10.000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. A falta de fundo arenoso proveniente de fonte marinha no extremo sul indica que essa observação é fundamentada.

ABSTRACT

A microtidal estuary, the inner portion Patos Lagoon, is characterized by ebb and flood events, driven by intense runoff from the drainage basin and storm surge events from the southern quadrant. Based on 179 sediment bottom samples, six bottom types were identified. Sandy sediments are found in shallow areas adjacent to the sand spit, generated by longshore sand transport induced by wave action from the southern quadrant. Behind the spit, calm conditions develop and fine sediments represented by clayey silt, clayey sand, a mixed bottom and silty clay are deposited. As the depth increases, amounts of fine sediments predominate. Due to the complex hydrodynamic behavior, an increase in the gradient sediments transversely to the inlet, as described for the estuarine channels located at the medium and upper portion of the estuary, is missing. The lack of the silty sand bottom is remarkable and probably indicates that the sedimentation patterns on the inlet are driven by bi-directional currents. The longitudinal pattern indicates in the northern portion of the inlet a clayey silt area, which can be interpreted as the result of a sediment trap caused by the average incursion of the salt wedge, which also controls the interchangeable bottom types to the south. The pattern here described can be an ephemeral situation where the ebb flow predominated all year around. During the sampling period, the outflow reached $10,000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. The lack of the sand facies from marine source at southern end of the inlet indicates that this observation can be true.

Palavras chave: maré meteorológica, sedimentação estuarina, Laguna dos Patos.

INTRODUÇÃO

A área sul da Laguna dos Patos foi caracterizada em relação ao tipo textural de fundo por MARTINS (1971) e CALLIARI (1980). Em ambos os trabalhos os autores encontraram diferentes fácies sedimentares para a mesma área. Estas variações sazonais têm sido atribuídas por vários autores (NICHOLS, 1964; URIEN, 1967; KULM & BYRNE, 1966; COUTINHO, 1969 e MARTINS, 1971) para rios e estuários que são dominados por interações entre o oceano e as áreas costeiras adjacentes. A Laguna dos Patos é considerada uma laguna costeira estrangulada, onde os padrões de circulação são governados pelo vento e pela descarga de água doce (Fig. 1). Neste trabalho é discutida a dinâmica sedimentar da extremidade sul da Laguna dos Patos, considerando os diferentes padrões de circulação para a região.

plataforma interna, enquanto os fortes ventos do quadrante sul favorecem o represamento das águas e aceleram as correntes de enchente, propiciando um aporte de sedimento para o interior do estuário. As marés meteorológicas podem elevar o nível do mar ao longo da costa em até 2 m.

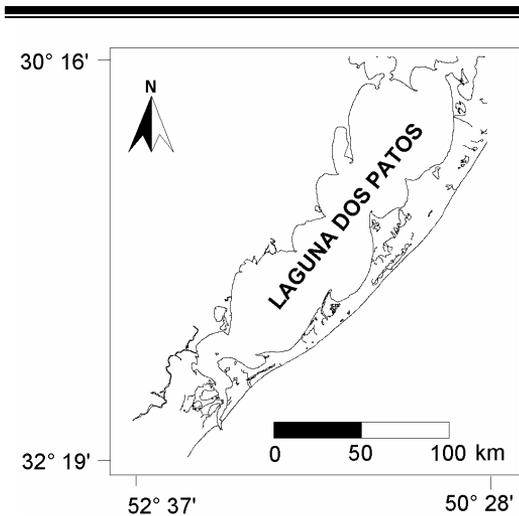


Figura 1. Localização da Laguna dos Patos.

Os padrões de circulação do estuário são governados pelo vento e pelos ciclos hidrológicos da bacia de sudeste. As velocidades das correntes na saída do estuário podem atingir $1,7 - 1,9 \text{ ms}^{-1}$ após prolongados períodos de chuvas. Os fluxos de água do mar atingem $1,3 \text{ ms}^{-1}$ e em algumas situações podem ocorrer velocidades de até 2 ms^{-1} . Os valores de vazão média são de aproximadamente $8.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Em situações de alta vazão mediram-se valores da ordem de $20.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, tornando a Laguna dos Patos uma importante fonte de sedimento para a

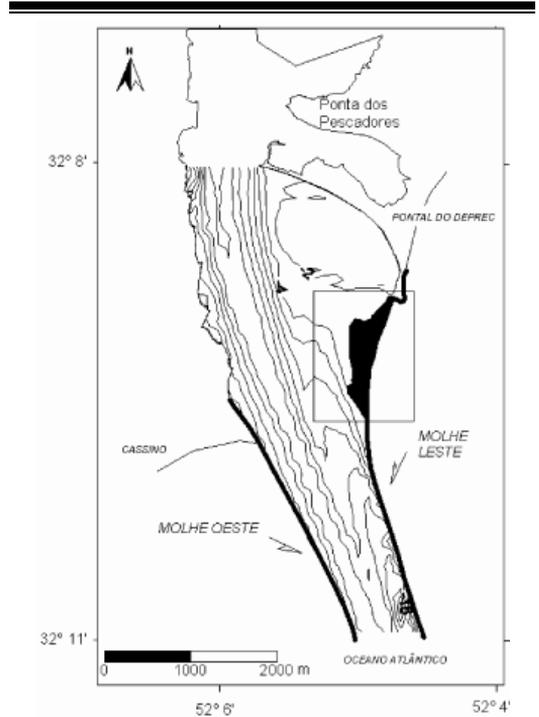


Figura 2. Batimetria e feições geomorfológicas na desembocadura da Laguna dos Patos.

A construção dos Molhes da Barra do Rio Grande modificou o processo de crescimento dos pontais. Antes da construção, os pontais formados apresentavam a forma côncava, função do transporte litorâneo de NE-SW e do retrabalhamento provocado pelas ondas providas de diferentes direções. Após a construção dos molhes, os novos pontais passaram a assumir a forma convexa, indicando uma tendência de transporte litorâneo para oeste/noroeste, devido às ondas de tempestades e correntes geradas por ventos do quadrante sul que, transportam material arenoso para o interior do estuário e elevam o nível e retrabalham os sedimentos já depositados.

METODOLOGIA

Um total de 179 amostras de fundo (Fig. 3) foram coletadas e analisadas mecanicamente por peneiramento e técnicas de pipetagem. Os dados de tamanho de grão foram processados no software (SysGran[®]) e a caracterização dos sedimentos presentes na área de estudo foi feita de acordo com o diagrama de SHEPARD (1954). A análise entre estes resultados e os obtidos por MARTINS (1971) e CALLIARI (1980) permitiu determinar a existência de padrões sedimentares na desembocadura da Laguna dos Patos.

PEJRUP (1988) propôs um novo diagrama triangular (Fig. 4) para a classificação de sedimentos, sendo este utilizado para avaliar o efeito da hidrodinâmica durante os processos deposicionais do sedimento, de acordo com o percentual de argila presente nos sedimentos estuarinos.

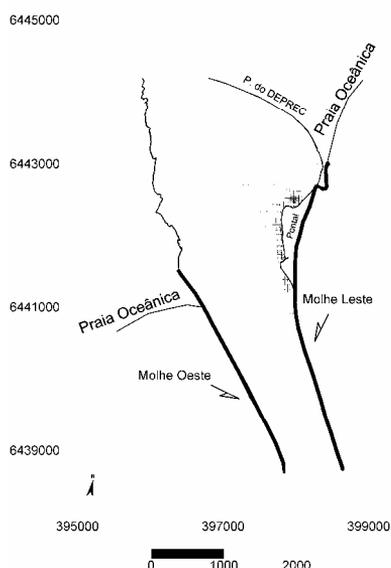


Figura 3. Localização das amostras superficiais de fundo.

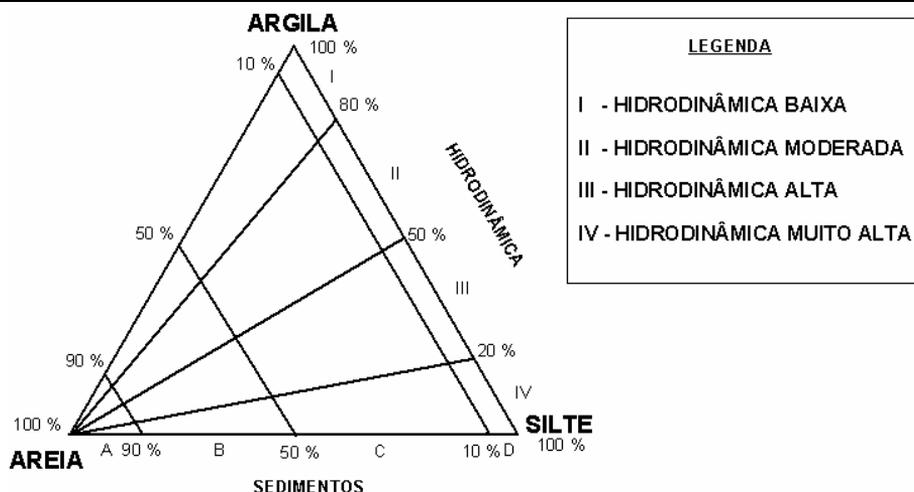


Figura 4. Diagrama triangular, modificado de PEJRUP (1988).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nas amostras superficiais de fundo é possível identificar seis classes de sedimentos na região de estudo e no seu entorno (Fig. 5). Sedimentos arenosos foram encontrados nas regiões mais rasas, onde a ação das ondas propicia um maior nível energético,

promovendo a retirada e impedindo a deposição das frações mais finas. Visualizando-se a batimetria do ano de 1996 (Fig. 2) é possível dizer que este tipo de fácies se prolonga sobre a extremidade final do banco axial que se encontra entre os molhes da barra e que se inicia na extremidade sul do canal.

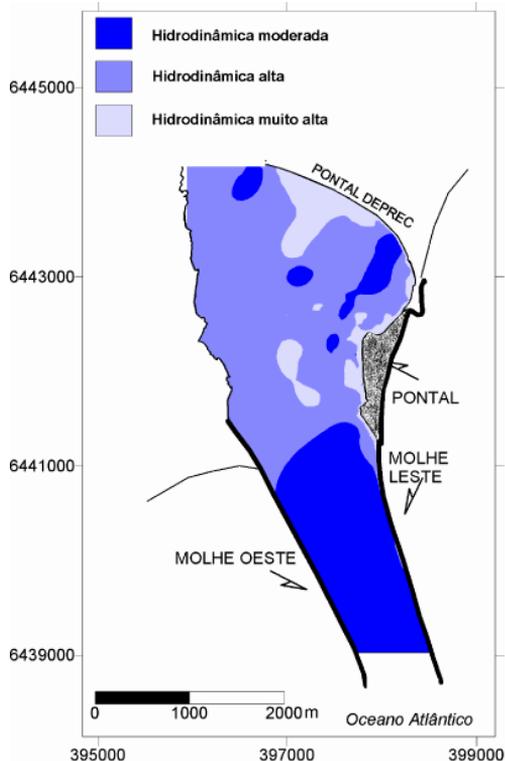


Figura 5. Mapa textural dos sedimentos de fundo do canal de acesso a barra de Rio Grande.

Segundo o que foi descrito por EVANS (1942, *apud* BIRD, 1969), a parte interna de um pontal, onde ação de ondas é bastante reduzida, constitui-se em um ambiente favorável para o depósito de sedimentos finos, bem como para a formação de pequenas lagunas devido ao arqueamento da porção final. Atualmente a presença do pontal do DEPREC II formou uma região abrigada, não admitindo que as intensas interações entre o estuário e a região oceânica adjacente se façam sentir. Desta forma, esta área atualmente protegida sofre a deposição de sedimentos mais finos por processos de floculação, devido à intrusão de águas salinizadas, quando da presença de ventos do quadrante Sul. Para esta região, encontrou-se um local muito bem definido, onde nas maiores profundidades foi possível perceber argila-siltica, areia-silte-argila e areia argilosa. Próximo às margens porém foi encontrada uma área dominada pelo efeito dos ventos locais, que geram ondas de pequena amplitude e curto

período, as quais não permitem a deposição de sedimentos mais finos que a areia.

Em uma análise comparativa entre a batimetria local e as fácies sedimentares, é possível dizer que os sedimentos arenosos foram encontrados nas regiões mais rasas, onde a ação das ondas, propícia um maior nível energético, promovendo a retirada e impedindo a deposição das frações mais finas, enquanto que os sedimentos mais finos foram encontrados em áreas protegidas da ação de ondas e correntes.

A partir dos resultados das análises granulométricas das amostras de fundo construiu-se um mapa baseado no diagrama triangular de PEJRUP (1988) (Fig. 6). Três foram as áreas representativas das condições hidrodinâmicas do local de estudo. Um aumento de energia a partir da parte mais externa do canal em direção a parte mais interna; as regiões marginais são caracterizadas por níveis de energia mais elevados e a região mais protegida atrás do pontal apresenta moderado nível de energia.

Uma pequena região central apresenta hidrodinâmica muito alta, as amostras caem dentro do grupo 4A (90 a 100% de areia), provavelmente em função da atuação das fortes correntes de vazante e enchente. Morfologicamente, nesta região encontra-se a extremidade final do banco axial, caracterizada pela presença de material biodetrítico. A região marginal também é caracterizada por alta energia hidrodinâmica, as amostras caem dentro do grupo 4A (90 a 100% de areia).

A região atrás do pontal é caracterizada por uma área de moderada energia. Isto pode ser explicado em função da proteção fornecida pelo próprio pontal. As amostras desta região pertencem aos grupos B2 (50 a 90% de areia) e C2 (10 a 50% de areia).

A região entre os molhes é caracterizada por uma hidrodinâmica moderada, as amostras nestas regiões pertencem aos grupos B2 (50 a 90% de areia) e C2 (10 a 50% de areia).

A região de hidrodinâmica alta é caracterizada por amostras compostas por sedimentos do grupo C3 (10 a 50% de areia) e principalmente pelo grupo B3 (50 a 90% de areia).

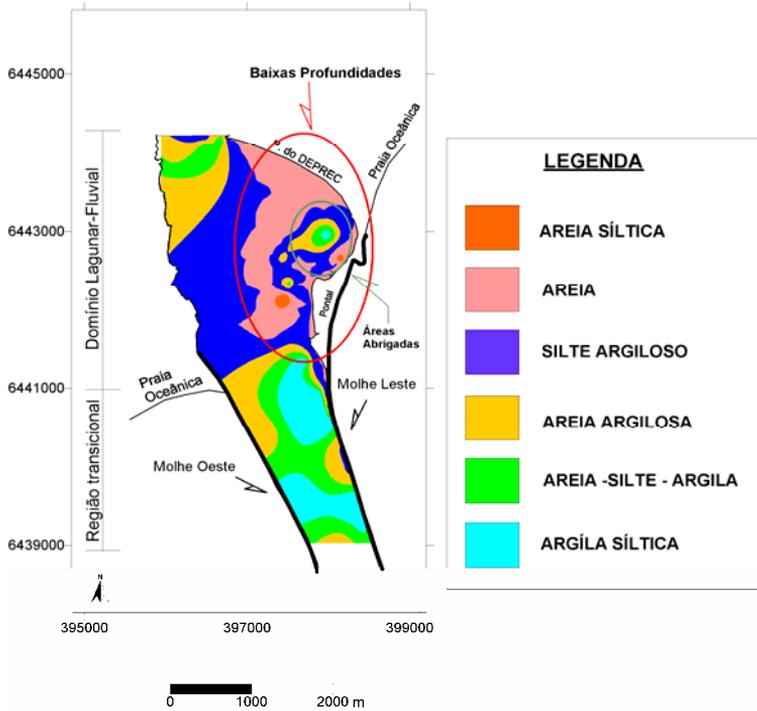


Figura 6. Zoneamento hidrodinâmico baseado no diagrama de PEJRUP (1988).

A utilização do diagrama de PEJRUP (1988) corrobora a discussão realizada no item anterior. O alto nível energético atribuído à região marginal é função das ondas que atingem as praias do pontal. Na região central, pode ser explicada pela interação das correntes e ondas que retiram o material mais fino e/ou não permitem que ocorra a deposição.

A região entre os molhes apresenta condições de moderada e alta hidrodinâmica, isto pode ser explicado em função das interações entre os regimes hidrodinâmico lagunar e o marinho. A presença de sedimentos mais finos, oriundos do estuário, caracteriza a região como de moderada energia, enquanto a presença de areia de origem marinha revela a influência do regime marinho dentro da desembocadura lagunar, caracterizando a região como de hidrodinâmica alta.

O padrão deposicional encontrado na região compreendida entre o Pontal do DEPREC e a extremidade final dos molhes da Barra do Rio Grande assemelha-se ao da Baía de Chesapeake, uma região de micromaré, conforme estudos de NICHOLS & BIGGS (1985). A diminuição do tamanho do grão com a

profundidade e a presença de areia nas áreas marginais demonstram esta similaridade.

Outra análise importante é comparar os resultados obtidos neste trabalho com trabalhos anteriores realizados na mesma área. Para MARTINS (1971) e CALLIARI (1980), os canais localizados na parte média e superior do estuário, apresentavam uma diminuição do tamanho de grão com a profundidade. No estuário inferior, MARTINS (1971) não encontrou um padrão definido de gradação lateral (Fig. 8), contudo, CALLIARI (1980) demonstra existir essa gradação (Fig. 7). É importante salientar que o número de amostras utilizadas pelo autor para inferir a este respeito poderia ser insuficiente. A variação longitudinal ao longo do Canal do Rio Grande parece ser o resultado mais importante obtido por MARTINS (1971). Seus resultados mostram a presença de sedimentos arenosos marinhos interdigitando os sedimentos mais finos em direção ao norte. Esse padrão é característico das zonas de transição entre o domínio marinho e lagunar. MARTINS (1971) discutiu os ambientes transicionais e os delimita, em função da presença de sedimentos finos (silte e argila) e de areias marinhas (Fig. 8).

A areia, como um indicativo da influência marinha, é muito interessante no momento de caracterizar a região sob o aspecto da influência do ambiente continental e marinho na textura de fundo de um estuário (NICHOLS, 1964; URIEN, 1967; KULM & BYRNE, 1966; COUTINHO, 1969 e MARTINS, 1971).

A posição do limite de sedimentos arenosos marinhos em direção ao interior do estuário caracteriza a intensidade dos regimes atuantes. A presença de areia interdigitando os sedimentos mais finos possibilita dizer que existe uma interação laguna/oceano que não apresentou domínio significativo de nenhum dos ambientes, ou seja, uma região transicional. A presença de areia entre os molhes demonstra o predomínio do ambiente marinho sobre o lagunar. Quanto mais para o interior do estuário for encontrada areia, maior terá sido o regime de enchentes, demonstrando a capacidade hidrodinâmica do meio marinho frente ao deságüe lagunar, ou vice versa. No entanto, uma análise cuidadosa deve ser feita, visto que as inversões no regime de fluxo frente às mudanças atmosféricas tornam dificultosas as análises destes limites.

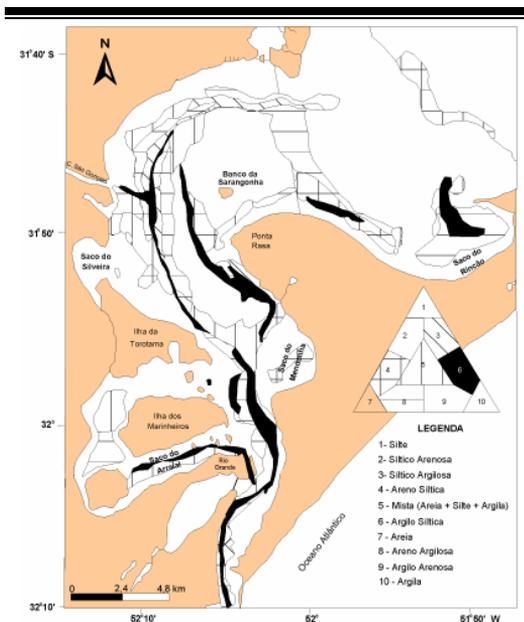


Figura 7. Mapa faciológico da região estuarina. (modificado de CALLIARI, 1980 e SOUZA, 2002).

Neste trabalho não é identificada a presença de fácies arenosas na extremidade final entre os molhes, como caracterizado por MARTINS (1971), isto pode ser explicado em função da dragagem natural que ocorreu em função da elevada descarga da Laguna dos Patos, anteriormente à coleta das amostras. Processos de dragagem natural já foram relatados anteriormente e devidamente registrados. A enchente de 1941, foi o episódio mais conhecido e acarretou erosão de até 5 m entre os molhes da barra.

As alterações sofridas na textura de fundo do canal de acesso levam a considerar que, em função do regime hidrodinâmico, a textura de fundo sofre alterações. Por vezes se encontra um leito arenoso, provavelmente oriundo da plataforma interna adjacente, por outras é possível encontrar apenas material fino de origem lagunar. Estas variações texturais são uma constante para a região de estudo e estão altamente relacionadas aos regimes de vazante e enchente, ao tempo de atuação e a intensidade destes processos.

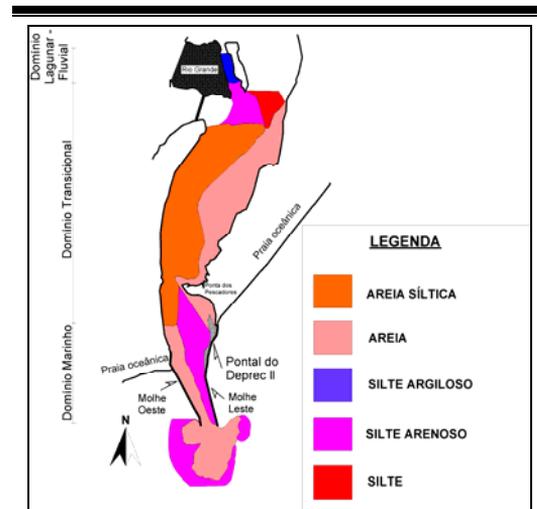


Figura 8. Distribuição faciológica sedimentar do canal de Rio Grande (modificado de MARTINS, 1971).

A alternância sedimentar em função do regime hidrodinâmico é comprovada através dos dados de sondagem obtidos no Relatório de Sondagem Geológica, Geoquímica e Geotécnica - RSGGG (2000). Neste relatório os testemunhos 31, F2, E, 32, D, E1, D2, 33 e 34 estão localizados na região compreendida entre a

base dos molhes e a região externa próximo aos molhes (Fig. 9). Os dados obtidos revelam intercalações de diferentes fácies sedimentares.

Os ventos associados à descarga lagunar determinam o padrão de circulação da desembocadura da Laguna dos Patos. O fluxo de vazante é devido aos ventos de nordeste, que aumentam a intensidade da descarga lagunar, gerando o transporte de sedimentos para o oceano, enquanto que os ventos do quadrante sul

geram correntes de enchente que transportam sedimento para o interior do estuário.

Atualmente, a presença de um pontal arenoso, forma uma área abrigada, e sedimentos finos são depositados devido à intrusão da cunha salina durante a ação de ventos do quadrante sul. Nesta região, é encontrado um local de sedimentação bem definido, onde nas maiores profundidades é possível observar a presença de silte argiloso, areia argilosa e um fundo misto.

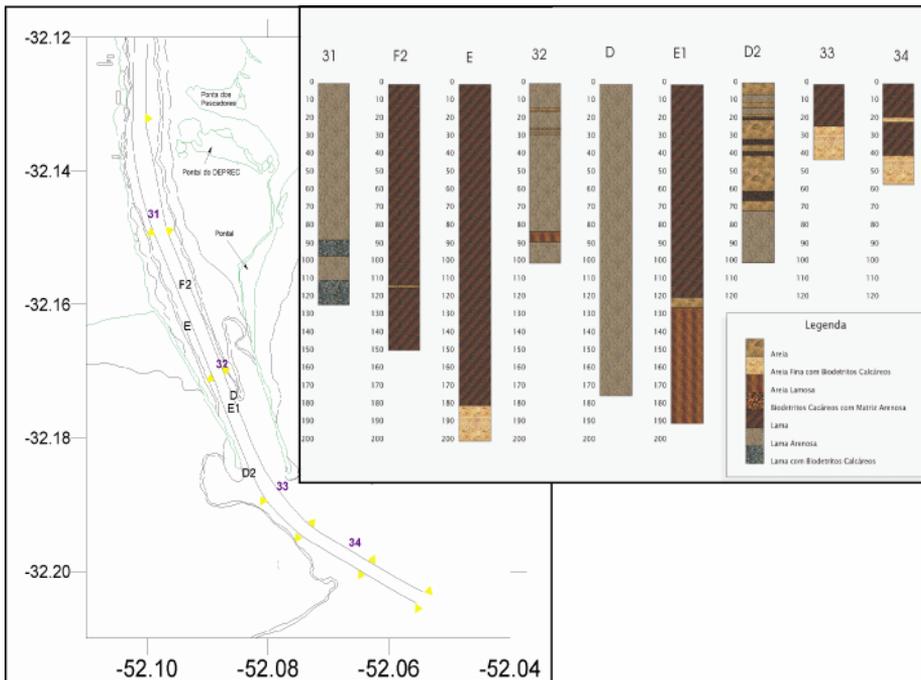


Figura 9. Posição e Testemunhos do Canal de Acesso ao Super Porto. Fonte RSGGG (2000). Valores de espessura em mm.

CONCLUSÕES

As características texturais da área de estudo demonstram que para as maiores profundidades foi possível perceber argila-siltica, areia-silte-argila e areia argilosa. Próxima às margens, foi encontrada uma área dominada pelo efeito dos ventos locais, que geram ondas de pequena amplitude e curto período, as quais não permitem a deposição de sedimentos mais finos que a areia. Para as regiões de menor energia é possível visualizar a deposição de sedimentos enriquecidos em silte e argila. A principal área de deposição destes sedimentos ocorre principalmente nas regiões

mais protegidas, onde o contato com as incursões de água salgada favorece a deposição destes sedimentos por floculação.

A alta dinâmica da região torna difícil a caracterização de um padrão definido de deposição. Salienta-se, entretanto, que nas regiões mais profundas, a presença de sedimentos de fração mais fina predomina em toda a sua extensão.

Um padrão deposicional longitudinal foi observado quando da análise do trabalho realizado por MARTINS (1971), o tamanho de grão diminui da desembocadura do estuário em direção ao Porto Novo. Tal padrão não foi observado para a região neste trabalho e atribui-

se isto ao forte regime de vazante ocorrido em 2002 ($10.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$).

A utilização do Diagrama de PEJRUP (1988) permitiu retratar as condições hidrodinâmicas para o tipo de sedimento encontrado na região. A utilização destes dados a fim de caracterizar a região de forma permanente deve ser evitada, visto ser esta região altamente dinâmica e a textura do fundo variável em função do regime hidrodinâmico atuante.

AGRADECIMENTOS

Nosso reconhecimento ao Laboratório de Oceanografia Geológica (LOG) por fornecer a estrutura básica em termos de pessoal e equipamentos para a realização do trabalho, em especial as laboratoristas Neusa Teixeira e Glória Canteiro pelas análises sedimentológicas. A Coordenação de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo bolsa de mestrado obtida durante o curso. Agradecimentos especiais ao Prof. Gilberto Griep, diretor do LOG e ao Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica (CECO/UFRGS) na pessoa do Dr. Luiz R. Martins pelas sugestões e revisão crítica do trabalho por ocasião da defesa do mestrado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BIRD, E. C. F. 1969. Coasts: an introduction to systematic geomorphology. Cambridge, Massachusetts: The M.I.T. Press, pp. 245.
- CALLIARI, L. J. 1980. Aspectos Sedimentológicos e Ambientais da Região Sul da Laguna dos Patos. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Porto Alegre-RS. 190p.
- COUTINHO, P. N. 1969. Sedimentation de L'estuaire de Potengi, Natal (Nord-Est. Du Brésil). U. F. P. Trabalhos Oceanográficos. Vol. 9/1. 27-39.
- EVANS, O. F. 1942. The Origin of Spits, Bars, and Related Structures. *Journal of Geology*, 50, pp 846-863.
- KULM, L. D. & BYRNE, J. V. 1966. Sedimentary Response to Hydrography in an Oregon Estuary. *Marine Geology*. Vol. 4. 85-118.
- MARTINS, L. R. 1971. Sedimentologia do Canal do Rio Grande Porto Alegre, Pós Graduação em Geociências. UFRGS, 38.
- NICHOLS, M. M. 1964. Characteristics of Sedimentary Environments in Moriches Bay, in *Papers in Marine Geology*, 363-383.
- NICHOLS, M. M. & BIGGS, R. B. 1985. Estuaries. In: Richard A. Davis (ed.). *Coastal Sedimentary Environments*. Springer-Verlag, Nova York, pp 77-186.
- PEJRUP, M. 1988. The Triangular Diagram Used for Classification of Estuarine Sediments: a New Approach. In Boer, P. L.; Gelder, A. & Nio, S. D. (eds.). *Tide-Influenced Sedimentary Environment and Facies*. D. Reidel Publishing Company. 289-300.
- R. S. G. G. 2000. Relatório Final de Sondagem Geológica, Geoquímica e geotécnica. Rio Grande. FURG., pp. 210
- SHEPARD, F. P. 1954. Nomenclature Based on Sand-Silt-Clay Ratios. *Journal of Sedimentary Petrology*, 31: 196-214.
- SOUZA, S. R. 2002. Caracterização Morfo-sedimentar do Saco do Arraial – Extremo Sul da Laguna dos Patos/RS. Dissertação de Mestrado. FURG. Rio Grande-RS, 164.
- URIEN, C. M. 1967. Los Sediments Modernos del Rio de La Plata Exterior. *Boletim Del Servicio de Hidrografia Naval*. Armada Argentina. Vol. IV n° 2.