



MODELO EVOLUTIVO MORFOLÓGICO DAS BARREIRAS COSTEIRAS DA BORDA NORTE DO DELTA DO RIO PARAÍBA DO SUL, LITORAL NORTE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Guilherme Borges Fernandez - Professor Adjunto do Departamento de Geografia / Pós Graduação em Geografia/Programa de Pós Graduação em Geofísica e Geologia Marinha da Universidade Federal Fluminense. guilherme@igeo.uff.br

Sergio Cadena Vaconcellos- Mestrando do Programa de Pós Graduação em Geofísica e Geologia Marinha da Universidade Federal Fluminense. Sergio@igeo.uff.br.

Thais Baptista da Rocha - Doutoranda do Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. thaisite5@yahoo.com.br

Resumo

A borda holocênica do Delta do Rio Paraíba do Sul, localizado no litoral norte do estado do Rio de Janeiro, é marcada pelo desenvolvimento de cristas de praia, associados ao retrabalhamento sedimentar pelas ondas, sendo classificado como exemplo clássico de delta dominado por ondas. A sequência regressiva observada na morfologia das barreiras, porém, mostram características distintas ao norte e ao sul da planície. Ao sul as cristas e depressões são mais próximas e ao norte a distâncias entre as feições são maiores dando origem a lagunas e brejos entre os topos. Com o objetivo de investigar a evolução morfológica das barreiras da borda norte foram realizados perfis batimétricos e topográficos a costa, para o estabelecimento de um modelo evolutivo. Os resultados mostraram que as barreiras na borda norte evoluem a partir de bancos de areia na área de prodelta, que se organizam, pela ação das ondas em uma única barra submersa, que gradualmente migra em direção a costa. Este barra se torna emersa, sendo agradada verticalmente por processos de deposição e apresentando contínua migração em direção a costa, na forma de ilha barreira. Esta se alonga lateralmente gerando gradual progradação da linha de costa caracterizando, desta forma, o mecanismo de evolução da planície durante o Quaternário.

Palavras chave: delta; evolução costeira; ilha barreira.

Abstract

The Paraíba do Sul Delta is characterized by different systems of regressive barriers in both sides of river mouth. The barriers located in the south part show a typical foredune ridges, with evolution associated of berm construction by waves and aeolian sands fixed by vegetation. On the other hand, the north side, the morphological characteristics reveal the same morphology, but the ridges is separated each other by small lagoons. The main objective of this paper is creating a morphological model that explains the evolutive aspects of the north part of the Delta. The results based on bathymetric and topographical analyses during two years, showed that the evolution of these barriers is a result of the self organization of spits and off shore bars in a sequences of barrier island, that cause a prograding coastline.

Key Words: Delta, Coastal Evolution, Barrier Islands.



1- Introdução

As características morfológicas dos deltas estão diretamente associadas ao tipo de retrabalhamento sedimentar, cujos agentes podem ser a ação de ondas, marés, correntes e regimes fluviais. Usando estas diferentes forçantes, Galloway (1975) apresenta um diagrama que define morfológicamente uma gama representativa de deltas, onde mostra que os deltas morfológicamente dominados por ondas podem ser francamente observados na costa brasileira, pelos deltas do Rio São Francisco (Al/SE), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). Desta forma estes deltas são internacionalmente conhecidos como dos mais representativos deste tipo de feição. Particularmente estudos evolutivos dos deltas brasileiros tiveram forte impulso na década de 1980, e que os mesmos foram questionados como de fato deltas (Dominguez et al. 1983). Tais questionamentos estão sendo gradualmente reconsiderados, como estudos feitos por Murillo et al. (2009) através da determinação da sedimentação prodeltaica e de isópacas de lama junto a foz.

A parte holocênica do atual Delta do Rio Paraíba do Sul, no litoral norte do estado do Rio de Janeiro apresenta características morfológicas bastante peculiares, onde predominam sistemas de barreiras regressivas ou cristas de praia ajustadas de forma assimétrica nos dois flancos a partir da desembocadura fluvial (Figura 1). A assimetria pode ser definida tanto pelas características fisiográficas da disposição das barreiras como pela área da planície deltaica. No flanco sul as barreiras se apresentam com distâncias menores entre as cristas, sendo formadas por sequências de incorporação de bermas, que de forma subsequente são suavemente capeadas por sedimentos eólicos (FERNANDEZ, 2008). Já as barreiras formadas no lado setentrional, se apresentam intercaladas por depressões alongadas onde se observam sistemas lagunares.

Dias (1981) apresentam um modelo de evolução do delta que propõe, a partir da sedimentação junto à foz, a formação de bancos arenosos, que atuam na refração das ondas, criando condições para inversão no sentido da deriva litorânea nas proximidades da desembocadura, distribuindo sedimentos para a direção norte e sul. Este fenômeno seria responsável pelo desenvolvimento do delta a partir da sedimentação fluvial. O modelo proposto pelos autores foi feito para ondas de direção preferencial de NE, que teriam um caráter construtivo em relação ao efeito erosivo de ondas do quadrante sul. Porém, chama a



atenção que nenhum dado referente a parâmetros de ondas, além da incidência inferida seja mencionado.

DOMINGUEZ et al. (1981) propõe outro modelo a partir do barramento sedimentar associado a fluxos intensos do canal, de forma a criar um ambiente de sedimentação ao sul, cujos sedimentos seriam associados a areias presentes na plataforma. A evolução ao norte seria resultado de sedimentos fluviais incorporados a costa, pela ação das ondas. Os autores, portanto ressaltam diferenças entre a fisiografia ao norte e ao sul, porém modelam a evolução principalmente ancorada em fotografias aéreas.

Desta forma destaca-se que fisiografia ao norte da foz do rio Paraíba do Sul apresenta uma particularidade em função da formação de barreiras arenosas altamente dinâmicas no que diz respeito não só a sua formação como também ao seu processo de desenvolvimento, sendo descritas como “casos muito particulares”, como descrevem FLEXOR *et al* (1987). Segundo DIAS e Gorini (1980), o contínuo aporte de sedimentos trazidos pelo rio e presentes na antepraia são responsáveis pelo surgimento de barras submarinas no litoral norte, que se desenvolvem até aflorarem a superfície, transformando-se em ilhas-barreiras. Os autores porém também apresentam suas argumentações em cima de fotografias aéreas.

Desta forma, o objetivo principal deste trabalho foi investigar a gênese e evolução das barreiras arenosas associadas ao processo de progradação litorânea, que ocorre na planície costeira ao norte da foz do rio Paraíba do Sul (Figura 1), gerando um modelo de evolução acoplando aspectos da morfologia submarina e dados emersos das feições costeiras, de forma a se obter resultados e conclusões sobre bases multimetodológicas.

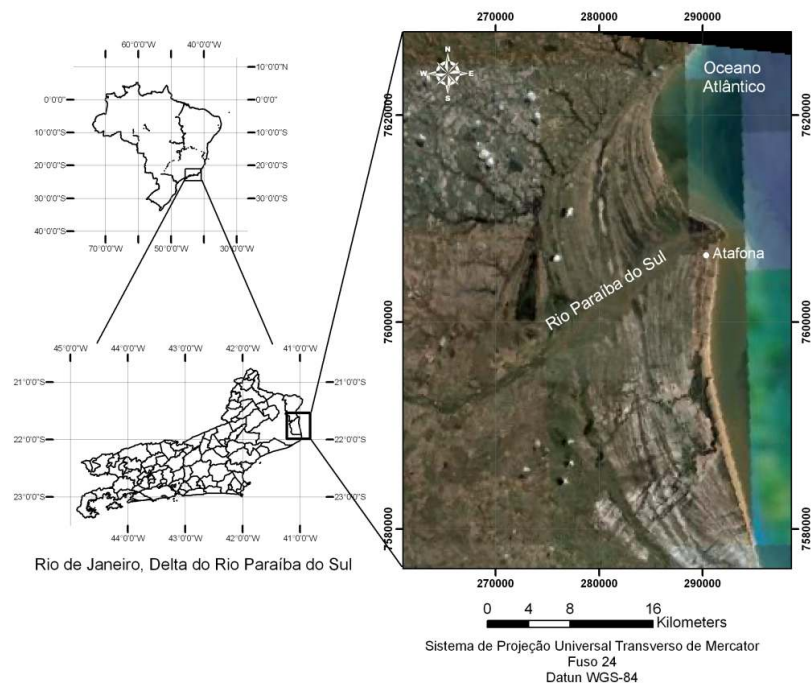


Figura 1. Delta do Rio Paraíba do Sul formado por barreiras regressivas associadas a ondas.

2- Metodologia

2.1- Batimetria e sísmica de alta resolução

Com o objetivo de obter informações detalhadas sobre a morfologia das feições que se desenvolvem na zona submarina, assim como de seu comportamento/evolução, foram realizados levantamentos batimétricos em um trecho do litoral da planície norte do rio Paraíba do Sul, abrangendo uma área que se estende cerca de 6 km a partir da foz em direção ao norte, afastada aproximadamente 1,5 km em direção ao mar aberto. Foram definidos 11 perfis transversais nomeados de sul para norte, a partir da foz, segundo ordem alfabética de “A” a “L” (Figura 2).

Para caracterização da morfologia submarina foi utilizado equipamento de investigação geofísica de alta resolução - perfilador de sub-fundo 10 KHz, marca *SyQuest*, modelo *StrataBox*. Neste caso a batimetria foi extraída a partir da interpretação do refletor superficial presente nos perfis sísmicos. O perfilador sísmico foi acoplado à meia nau de embarcação tipo traineira, onde também foi posicionado um receptor GPS para a aquisição das coordenadas do levantamento. Já em gabinete, os dados sísmicos foram convertidos para



o formato *seg* no *software* do *StrataBox* para serem então inseridos no programa de interpretação sísmica *Kingdom 8.1* onde o refletor superficial foi interpretado dando origem a batimetria.

Para a transformação dos dados *seg* adquiridos em escala temporal para escala de profundidade foi necessário multiplicar o tempo de ida e volta do pulso acústico pela velocidade média do som na água (1.500m/s) dividindo o valor obtido por 2. A interpretação se processou sem maiores dificuldades graças ao caráter bastante refletivo das areias. Como resultados da interpretação foram gerados tabelas X, Y, Z (latitude, longitude e profundidade) que foram em seguida inseridas no *software Excel for Windows* para a geração de gráficos em perfil. O mapa batimétrico por sua vez foi gerado no *software Geosoft* com interpolação (mínima curvatura) dos dados.

2.2- Perfis Topográficos transversais a costa

Para a determinação do comportamento morfológico transversal a costa foram definidos três perfis transversais ao arco praial. Esses perfis acompanhavam, em superfície, a mesma direção dos três perfis batimétricos mais ao norte da área de estudo nos pontos I, J e L (Figura 2). O monitoramento do perfil emerso foi feito seguindo o método de nivelamento topográfico tradicional usando nível e mira topográfica. Os perfis da área emersa foram estendidos para a zona submarina o máximo possível, contudo a possibilidade de extensão dependeu do estado do mar e do preparo do portador da mira para levá-la para dentro da zona submarina. Os três perfis foram monitorados em sete ocasiões, obtendo-se em todas as situações o perfil emerso e o submerso da praia. As cotas altimétricas de referência de nível em cada perfil foram estabelecidas para cada ponto a partir de um referencial de nível (RN) com valor obtido por DGPS.

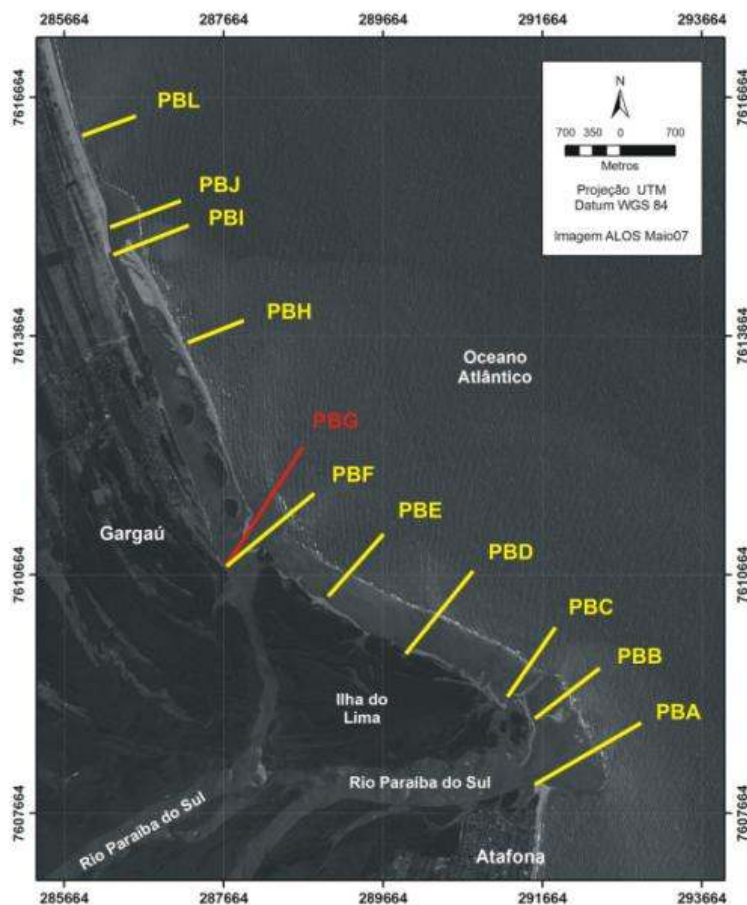


Figura 2. Localização dos 11 perfis de monitoramento batimétrico. Os perfis I, J e L foram prolongados em direção ao continente.

3- RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1- Características topobatimétricas e comportamento da linha de costa

Para este trabalho foram selecionadas as feições registradas na primeira das quatro campanhas de levantamentos topobatimétricos realizadas. As características morfológicas da antepraia, observadas a partir de dados topobatimétricos na borda norte, mostram que ao longo da linha de costa, formam-se irregularidades marcantes na fisiografia submarina. O perfil A (figura 3) mostra a partir do continente a formação de um grande banco submerso, formado na borda frontal do Delta. Observa-se a topografia suavizada na parte estuarina e o mergulho abrupto da feição em direção ao mar. Esta morfologia é semelhante a padrões de



delta tipo Gilbert que se caracterizam por feições suaves na parte mais fluvial do perfil até crista da barra, com aumento do gradiente em direção a borda distal da feição, até a topografia mais suave do prodelta.

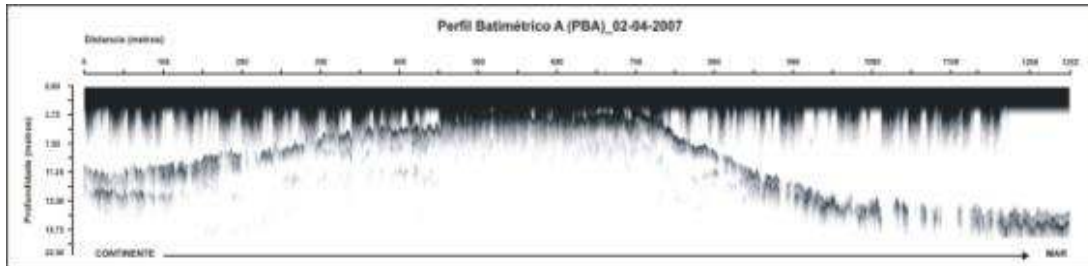


Figura 3. Perfil batimétrico obtido na borda mais ao sul da frente deltaica do Paraíba do Sul. Nota-se o gradiente mais suave para o interior e a partir da crista da barra, um gradiente mais elevado, num padrão típico de prodelta tipo Gilbert.

A partir do Perfil A em direção ao norte, as características morfológicas da zona submarina se alteram sensivelmente. Tais alterações provavelmente são resultado do maior predomínio da ação das ondas, em função do efeito ocasionado pelo posicionamento da Ilha do Lima (Figura 2), que secciona a foz do Paraíba do Sul em dois braços, diminuindo a ação hidrodinâmica fluvial em relação às ondas oceânicas. Desta forma, a morfologia do perfil B (Figura 4) apresenta na borda em direção ao continente, irregularidades relacionadas a bancos de areia típicos daqueles observados na zona de surfe de praias arenosas. Em direção ao oceano, observa-se uma depressão entre a sedimentação da praia e a crista da frente deltaica, que se mostra mais suave que a mesma feição mais ao sul (Perfil A), e também se nota a formação de irregularidades típicas de bancos longitudinais a costa. Na borda mais distal do perfil observa-se o mergulho abrupto de *foresets* até seqüências mais suaves de *bottomsets* de uma típica feição prodeltaica.

No perfil C, nota-se que a depressão observada ao sul desaparece, e na zona submarina predominam barras submersas irregularmente espaçadas sobre uma superfície de topografia plana (Figura 5). A crista da frente deltaica não é mais possível de ser morfológicamente bem identificada, mas ainda se verifica o gradiente mais elevado desta feição em direção ao Prodelta.

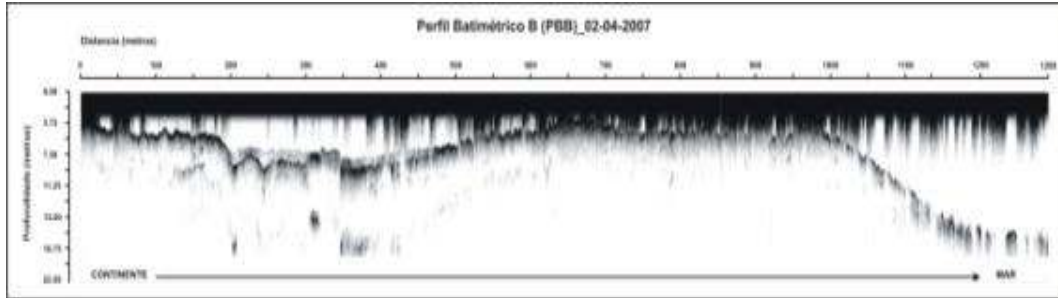


Figura 4. Perfil topobatimétrico B que marca o início de influencia mais acentuada das ondas na morfologia da frente do Delta do Paraíba do Sul.

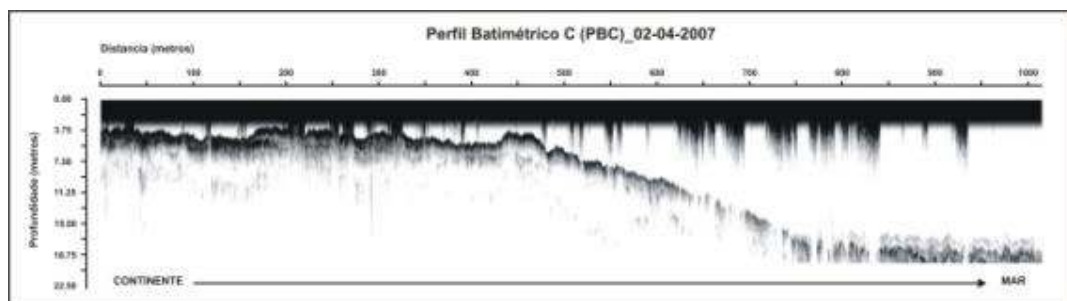


Figura 5. Batimetria do Perfil C em que nota a presença de barras arenosas submersas.

A destacada morfologia destas barras submersas fica evidente na batimetria do Perfil D (Figura 6), onde são observadas pelo menos quatro barras, em que mostra que os processos associados a ondas se tornam mais evidentes. No perfil E as múltiplas barras parecem se organizar em uma só, conforme mostra a figura 7.

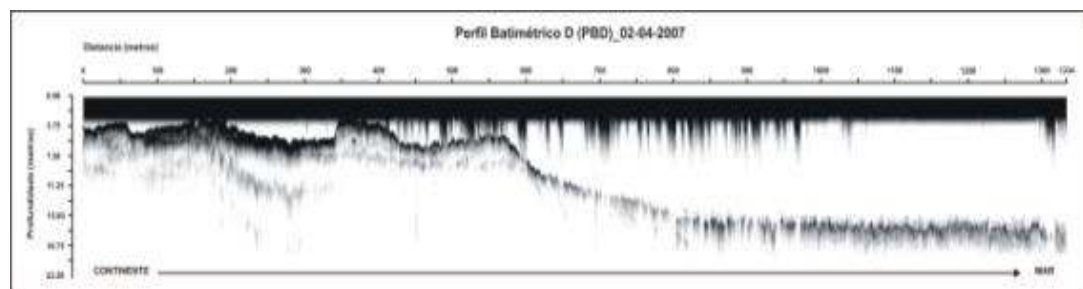


Figura 6. Batimetria do Perfil D em que nota a presença de pelo menos quatro barras arenosas submersas.

A morfologia do Perfil F está exposta na figura 8. A partir do continente nota-se uma depressão marcante, que está relacionada à ação fluvial, conforme mostra a figura 2, onde, inclusive, a barreira já conectada ao continente aparece rompida pelo rio. A suave feição em



direção ao mar na verdade marca a base da barreira costeira que foi erodida em razão de cheias ocorridas na região. O perfil H foi obtido frontalmente à barreira emersa, de forma que não foram observadas feições que representassem as barras submersas (Figura 9).

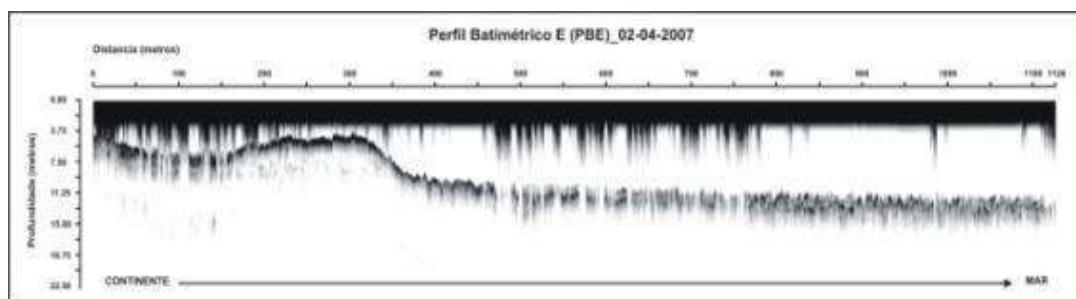


Figura 7. Batimetria do Perfil E em que nota a presença de pelo menos quatro barras arenosas submersas.

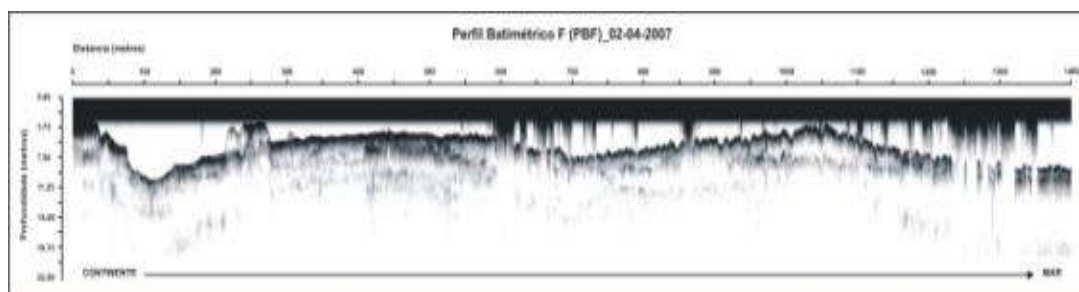


Figura 8. Batimetria do Perfil F em que nota a presença de pelo menos quatro barras arenosas submersas.

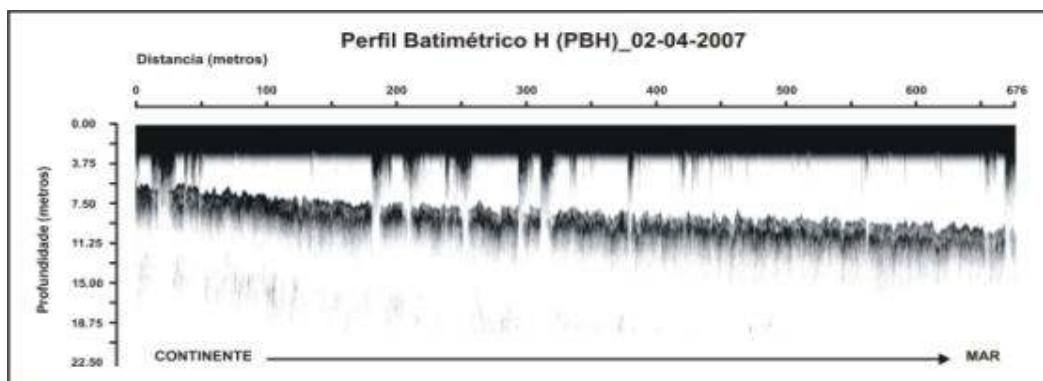


Figura 9. Batimetria do Perfil H em que não se nota a presença de barras por estar defronte a barreira costeira.

Os perfis I e J representam a borda da barreira costeira ainda não conectada ao continente (Figura 2), de maneira que a parte quase emersa da feição, apresenta a morfologia transversal de um esporão (Figuras 10 e 11). Por último o Perfil L foi obtido frontalmente à barreira costeira, e não apresentou nenhuma morfologia submarina marcante (figura 12).

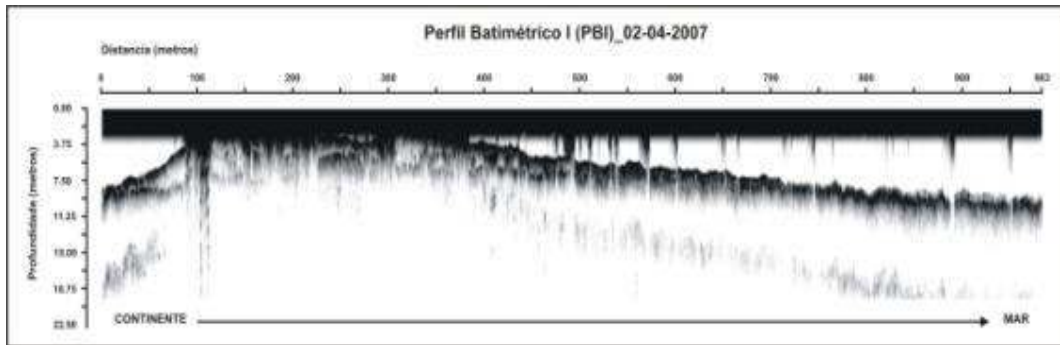


Figura 10. Batimetria do Perfil I obtida na borda submersa da evolução do esporão lateral na borda da barreira.

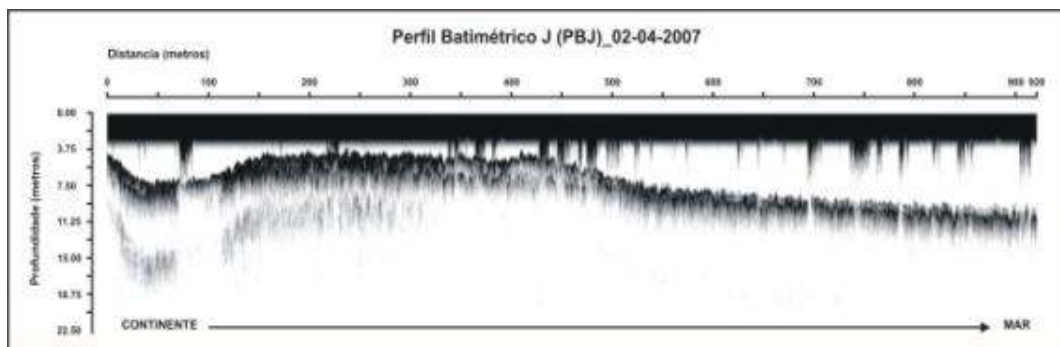


Figura 11. Batimetria do Perfil J obtida na borda submersa da evolução do esporão lateral na borda da barreira.

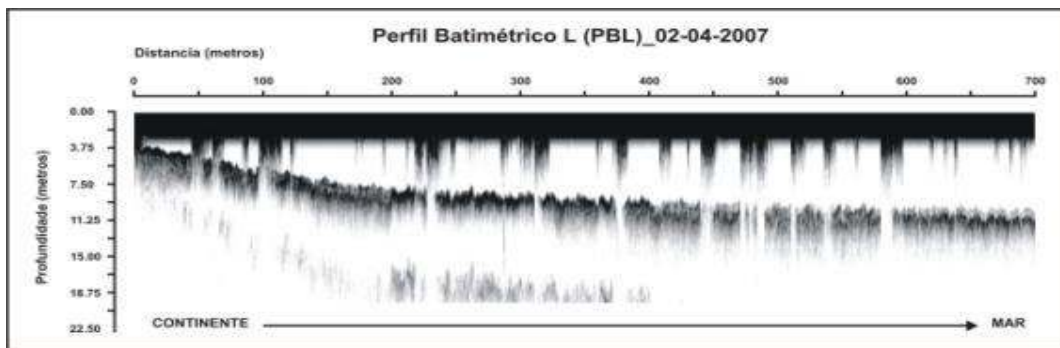


Figura 12. Morfologia submarina no perfil L. Nota-se uma topografia suave, sem irregularidades.

3.2- Morfodinâmica de Praia

As características morfodinâmicas no perfil I sugerem processos de recuo da linha de costa, uma vez que o primeiro levantamento realizado marcado na linha em azul escuro e o último levantamento em vermelho mostram a tendência de retrogradação da linha de costa (Figura 13). Esta tendência está associada a processos de transposição das ondas sobre a



barreira conforme pode ser observado na figura 14. O mesmo padrão de recuo da barreira foi identificado no perfil mais ao norte, além da colmatação do pequeno braço de laguna, conforme mostra a figura 15.

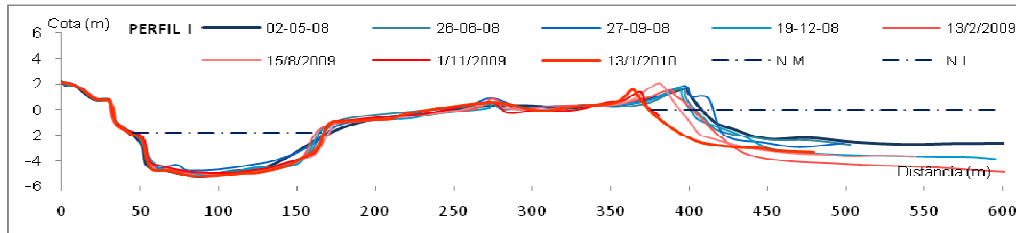


Figura 13. Superposição de perfis topobatimétricos no Ponto I mostrando o recuo da linha de costa.



Figura 14. Efeito de Transposição das ondas no perfil I condicionando o recuo da barreira.

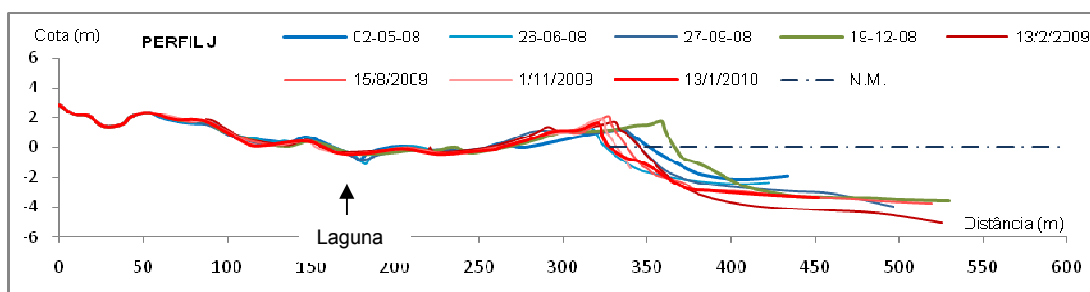


Figura 15. Superposição de perfis topobatimétricos no Ponto J mostrando o recuo da linha de costa mais efetivo a partir do ano de 2009.



Por outro lado a morfodinâmica do Perfil L apresentou comportamento distinto resultando em progradação uma vez que esta parte da barreira não sofre efeitos de transposição (Figura 16). Machado (2009), a partir de modelagem numérica verificou uma suposta área de convergência de transporte sedimentar (de sul e norte) próxima a esta área, o que poderia explicar esta efetiva progradação da ordem de aproximadamente 100m em quase dois anos.

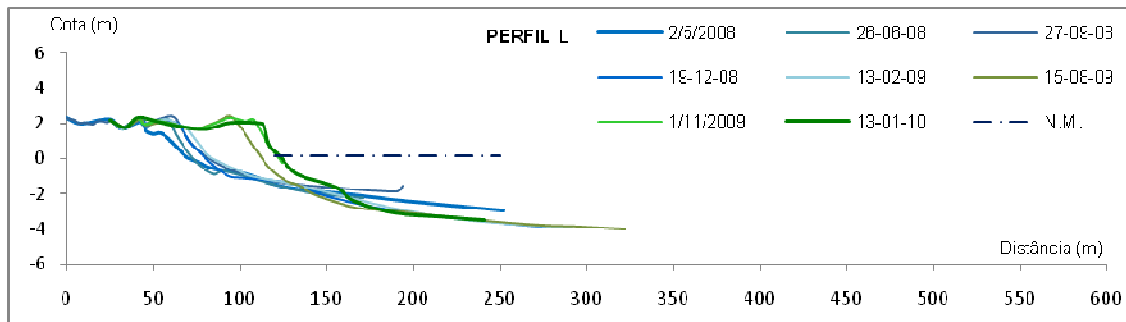


Figura 16. Perfil L mostrando a progradação do litoral neste trecho.

3.3- Acoplagem Batimetria - Morfodinâmica

Para apresentar os resultados da acoplagem dos perfis batimétricos com a parte emersa, foram escolhidos os primeiros perfis I e J que mostram que a barra submarina evoluiu verticalmente formando uma barreira arenosa emersa (Figuras 17 e 18). Na figura 17, relacionada ao perfil I, a linha em azul mostra a batimetria realizada em abril de 2007, e em laranja a topografia realizada em 2008.

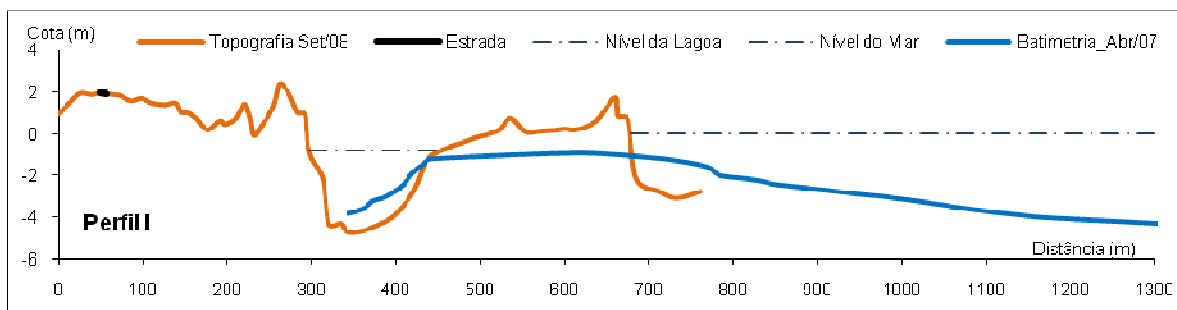


Figura 17. Superposição do perfil batimétrico (2007) com o perfil emerso (2008) mostrando a emersão da barreira a partir da barra arenosa.

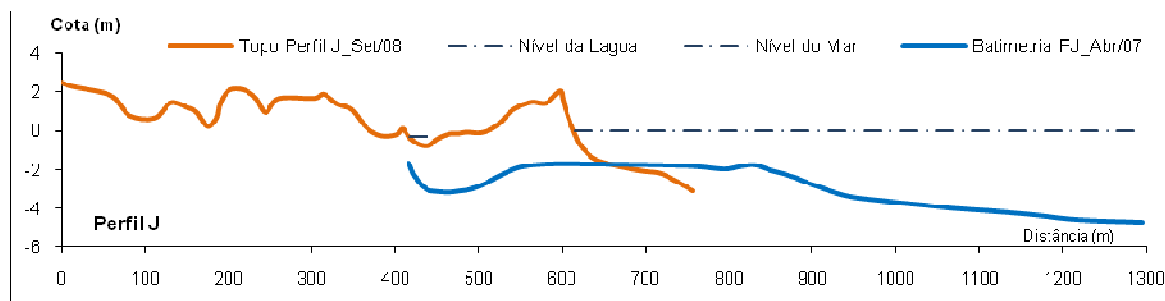


Figura 18. Superposição do perfil batimétrico (2007) com o perfil emerso (2008) mostrando a emersão da barreira a partir da barra arenosa.

4- Conclusão

A partir dos resultados obtidos construiu-se um modelo de evolução em planta e em perfil da evolução da borda norte do delta do Paraíba do Sul (Figuras 19 e 20). Os sedimentos oriundos do canal, carreados por deriva litorânea de sul para norte predominantemente, formam nas proximidades da foz, barras arenosas submersas. Estas barras tendem a se auto organizar em forma de uma única barra, que a partir de ondas incidindo obliquamente em direção a costa, criam condições para que estas migrem longitudinalmente e transversalmente, e apresentem na borda mais setentrional crescimento lateral.

Este processo se consolida pela emersão da barra na forma de Ilha Barreira que migra em direção a costa por processos de transposição de ondas, e posteriormente de colmatação de sistemas lagunares formados no reverso da feição. Desta forma a evolução morfodinâmica progradação do delta ocorre de maneira a se acoplar o padrão de deriva litorânea, sedimentação fluvial e morfologia costeira. Embora estas feições sejam tipicamente associadas à evolução transgressiva, caracterizada por Ilhas Barreiras, esta gênese seqüencial acaba por provocar evolução regressiva da planície (progradação).

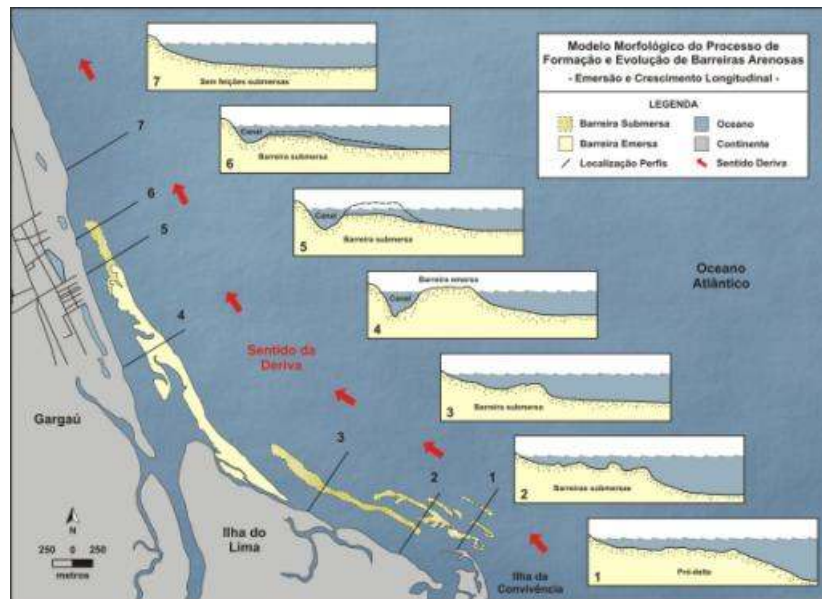


Figura 19. Panorama de formação de barras submersas se auto organizando na zona submarina (1,2,3) e evolução lateral agradacional da Ilha Barreira.

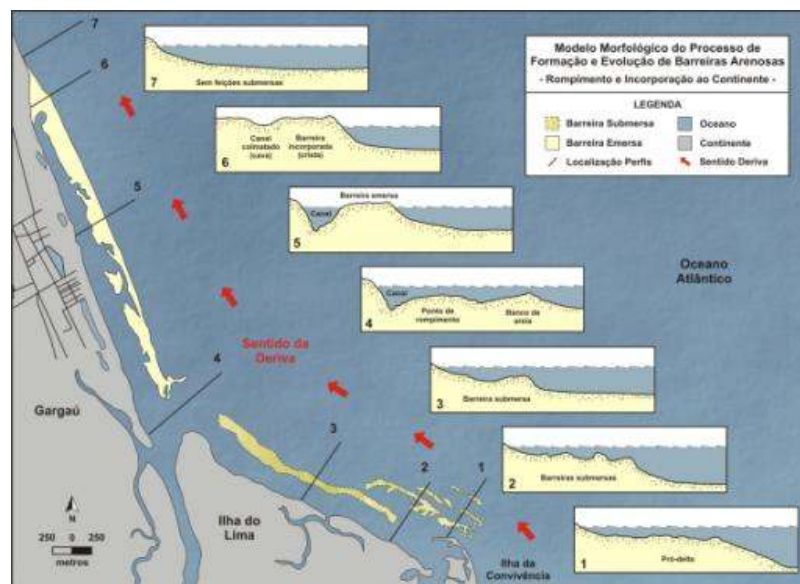


Figura 20. Finalização do processo de incorporação da barra submersa e acoplagem a linha de costa.

Agradacimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelos recursos necessários para a realização deste trabalho através da concessão financeira para levantamentos de campo e aquisição de imagens. Sérgio Cadena



e Thais Rocha agradecem a CAPES pela concessão de bolsa de pós-graduação. Os últimos levantamentos foram realizados com recursos da FAPERJ edital Jovem Pesquisador, a que Guilherme Fernandez agradece sinceramente.

Referências Bibliográficas

DIAS, G. T. M. O complexo deltaico do rio Paraíba do Sul. In: IV Simpósio do Quaternário no Brasil. Publicação Especial. n. 2. p. 58-88. 1981.

DIAS, G. T. M.; GORINI, M. A. A Baixada Campista: Estudo morfológico dos ambientes litorâneos. In: Anais do XXXI Congresso Brasileiro de Geologia, Camboriú. v. 1. n. 588-602. 1980.

DIAS, G. T. M. *et al.* A planície deltaica do rio Paraíba do Sul – Seqüências sedimentares subsuperficiais. In: Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro. n. 1 p. 98-104. 1984.

DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; MARTIN, L. Esquema evolutivo da sedimentação Quaternária nas feições deltaicas dos rios São Francisco (SE/ AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). Revista Brasileira de Geociências. v. 11. n. 4. p. 227-237. 1981.

DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; MARTIN, L. O papel da deriva litorânea de sedimentos arenosos na construção das planícies costeiras associadas as desembocaduras dos rios São Francisco (SE/ AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). Revista Brasileira de Geociências. v. 13. p. 98-115. 1983.

FERNANDEZ, G. Indicadores Morfológicos para a Origem e Evolução das Barreiras Arenosas Costeiras no Litoral do Estado do Rio de Janeiro. Anais do Simp. Nac. Geomorfologia. Belo Horizonte, MG. 2008.

FLEXOR J.-M; MARTIN, L. Porque a planície costeira do Paraíba do Sul não pode ser denominada de “clássico delta dominado por ondas”. In: Anais do 1º Simpósio de Geologia RJ – ES, Rio de Janeiro. p. 70-81. 1987.

MARTIN, L. *et al.* Evolução da planície costeira do rio Paraíba do Sul (RJ) durante o Quaternário: Influência das flutuações do nível do mar. In: Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia. Rio de Janeiro. p. 84-97. 1984a.

MURILLO, V.; SILVA, C.G.; FERNANDEZ. Nearshore sediments and coastal evolution of Paraíba do Sul River Delta, Rio de Janeiro, Brazil. Journal of Coastal Research. SI 56. 128-134. 2009.