

## **Geomorfologia e Morfodinâmica Costeira da Planície entre Cabo Frio e Arraial do Cabo - RJ**

Thiago Gonçalves Pereira

Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geofísica Marinha, Universidade Federal Fluminense. E-mail: thiago@igeo.uff.br

Thais Baptista da Rocha

Programa de Pós-Graduação em Geografia de Geografia, Universidade Federal Fluminense. E-mail: thaisitc@yahoo.uff.br

Guilherme Borges Fernandez

Departamento de Geografia, Programa de Pós-graduação em Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geofísica Marinha. Universidade Federal Fluminense. e-mail: Guilherme@igeo.uff.br

### **Resumo**

A planície costeira de Cabo Frio compreende uma área distinta do litoral fluminense no que diz respeito à sua geomorfologia. Na própria literatura observam-se diferentes interpretações para a sua gênese e evolução, principalmente acerca dos períodos geológicos envolvidos nesse processo. O mosaico geomorfológico que compõe essa paisagem mostra: cordões litorâneos duplos de idades diferentes (correspondente à restinga da massambaba); um grande arco praiial (entre Cabo Frio e Arraial do Cabo) com destacada variação morfodinâmica; campo de dunas móveis e diferentes depósitos eólicos; terraços pleistocênicos envolvendo o sistema lagunar; promontórios cristalinos pré-cambrianos e a própria laguna de Araruama. O presente trabalho compila dados desde 2005 de morfodinâmica praiial, monitorados em seis pontos do arco evidenciando um comportamento morfodinâmico diferenciado ao longo do seguimento. Observam-se estágios refletivos no trecho sul, intermediários dominando a porção central, e por fim, estágios dissipativos na porção mais ao norte – visto aqui como condições essenciais para formação de campos de dunas eólicos. Procurou-se ainda entender os processos dinâmicos atuais junto à linha de costa, que regem a dinâmica morfossedimentar local, assim como, as condições para a formação de dunas a partir de um mapeamento na porção submarina adjacente ao arco, de análises granulométricas e parâmetros oceanográficos. Por fim, foram mapeados os diferentes tipos de depósitos eólicos ao longo de toda planície, em que mostra pelo menos seis tipos de feições que podem ser associadas a diferentes condições evolutivas no tempo e no espaço.

**Palavras chave:** Morfodinâmica de praias; dunas costeiras; morfodinâmica costeira.

### **Abstract**

The coastal plain of Cabo Frio is characterized by a complex of coastal environments, especially coastal dunes and beach morphodynamics. The main objective of this work was mapping these coastal features. To interpreted beach morphodynamics topographic surveys carried out along six points along the beach showed different behaviors. The coastal sand dunes were mapped by images and aerial photographic. The results showed that reflective to dissipative beaches stages are established along the beach arc. Along coastal plain different costal dunes was identified as foredunes, barcans and parabolic.

**Key words:** beach morphodynamics; coastal dunes; coastal morphodynamics.

## **1. Introdução**

Os registros geológicos-geomorfológicos encontrados na paisagem costeira revelam aspectos de uma evolução principalmente relacionada ao Quaternário tardio que, via de regra, são submetidos a esforços neotectônicos, variações climáticas e oscilações do nível do mar. Em termos atuais, estes ambientes têm sua dinâmica evolutiva relacionada a marés, ondas, correntes de deriva, e eventos esporádicos de tempestades.

O litoral sul-oriental do Estado do Rio de Janeiro é marcado não só pela brusca inflexão da costa, mas também pela variabilidade geomorfológica, compondo assim, uma paisagem costeira bem diversificada. Evidências regionais no relevo litorâneo mostram um controle marcante das últimas transgressões e regressões marinhas ocorridas no Pleistoceno e no Holoceno, que marcaram sucessivas mudanças paleoambientais ao longo desses períodos assim como registros interessantes quanto ao comportamento das feições dinâmicas atuais. Assim, é interessante se ressaltar que existe um certo hiato entre a dinâmica atual de feições costeiras e o resultado associado das diferentes formas observadas em tempos pretéritos.

A proposta do presente trabalho se encaixa na ausência de um mapeamento criterioso das diferentes formas eólicas encontradas na planície costeira de Cabo Frio, assim como, a associação destas feições com os processos morfodinâmicos atuais da praia. Para tanto, procurou-se mostrar a correlação dessas feições com a dinâmica recente e atual da praia, a disposição de sedimentos na zona submarina adjacente, e também o retrabalhamento eólico sedimentar na porção emersa a partir das características de distribuição granulométrica e orientação da linha de costa.

## **2. Área de Estudo**

A área estudo é parte do compartimento Cabo Frio - Cabo Búzios definido por Muehe e Valentini (1998). Este arco se apresenta como o primeiro arco praias parcialmente exposto a partir da Ilha do Cabo Frio em direção ao norte. A Célula de Alta Pressão do Atlântico Sul geram ventos alísios direcionados para nordeste e leste que atingem a linha de costa do mar para a terra. Em termos climáticos Barbieri (1999) identificou um brusco decréscimo dos índices pluviométricos, que levou o autor a identificar a região como um enclave semi-árido quente dentro das condições circundantes essencialmente tropicais.

O quadro geomorfológico costeiro dessa planície se destaca por ter sua evolução associada a sedimentos disponíveis na própria plataforma uma vez que se verifica a ausência de descargas fluviais na área. Turc et al. (1999) mostra que as áreas da planície de idade pleistocênica estão interiorizadas e apenas a barreira frontal é de idade holocênica. Desta forma, pode-se associar a evolução mais antiga a feições provavelmente regressivas enquanto que a barreira atual frontalmente disposta ao oceano migrou ou migra (Fernandez, 2007) sobre estes terrenos formando feições típicas de eventos transgressivos associados a feições tipo barreira-laguna.

A morfodinâmica atual do arco praial foi parcialmente sugerida primeiramente por Fernandez et al. (2006) e mais recentemente por Pereira *et al.* (2007). Os autores mostraram sem detalhamento que o arco de praia apresenta compartimentos morfodinâmicos diferenciados ao longo da praia.

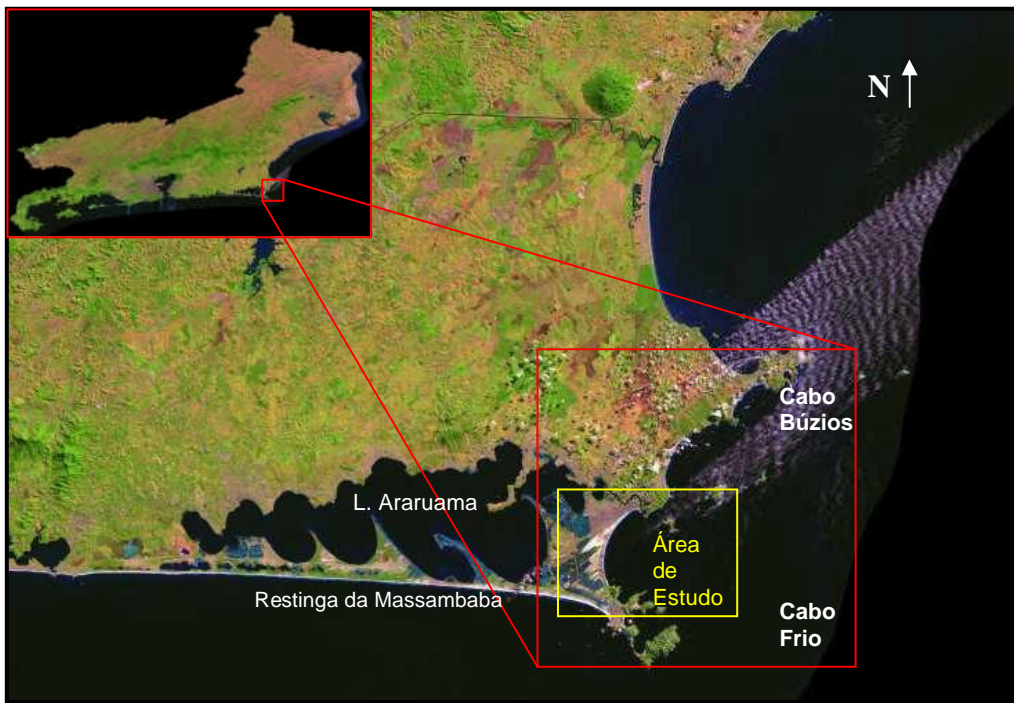


Fig. 1. Mapa de localização da área de estudo.

### 3. Metodologia

Para o estudo da morfodinâmica das praias foi feito um monitoramento de seis perfis de praia ao longo do arco praial onde foram obtidos dados de 81 perfis topobatimétricos. Foram realizadas concomitantemente, parâmetros de observações visuais de altura e período das ondas, tempo de espraiamento, ângulo de mergulho da face da praia e obliquidade de incidência das ondas de acordo com o método sugerido por Muehe (1996; 2003) e Wright & Short (1984).

Com o intuito verificar as principais fontes de sedimentos para a formação da praia e o campo de dunas adjacente, realizou-se o mapeamento da cobertura sedimentar na zona submarina ao largo do arco praial entre Cabo Frio e Arraial do Cabo até uma profundidade aproximada de 25 metros. A coleta de sedimentos em pontos georeferenciados foi feita com uma embarcação leve, e um busca-fundo do tipo *Gibbs*. Os pontos de amostragem foram espacializados em perfis perpendiculares à costa, numa grade fixa respeitando uma distância de 500 metros da linha de costa e 500 metros entre os pontos cobrindo uma área de 13 Km<sup>2</sup> com 50 pontos.

As amostras foram tratadas em laboratório seguindo procedimentos padrão para peneiramento a seco das areias.

Para o mapeamento da parte emersa, compôs-se um mosaico de imagens Ikonos, cobrindo uma área aproximada de 28 Km<sup>2</sup>. O mosaico foi acoplado na plataforma ArcGis 9.2 onde foram mapeadas e classificadas os principais tipos de formações geológicas e geomorfológicas, e parcialmente o uso e cobertura do solo. A resolução final da imagem é de 2,34 metros, o que viabiliza satisfatoriamente o mapeamento das feições sedimentares consideráveis que contrastam no mosaico.

### **3. Resultados**

#### **3.1. Morfodinâmica Praial**

Perfis levantados desde abril de 2005 mostram que ocorrem sensíveis modificações no estado morfodinâmico da praia ao longo do arco. A parte mais ao sul da praia está associada a praias com tendências refletivas (fig. 2), passando para uma morfologia mais intermediária (fig. 3), até um estágio dissipativo na porção norte (fig. 4) em apenas uma distância de 8km de linha de costa. O grau de variabilidade desses perfis acompanha uma tendência progressiva para norte, porém não se verifica um comportamento instável, o que não permite nenhuma interpretação de erosão, nem progradação do prisma praial ao longo desses setores.

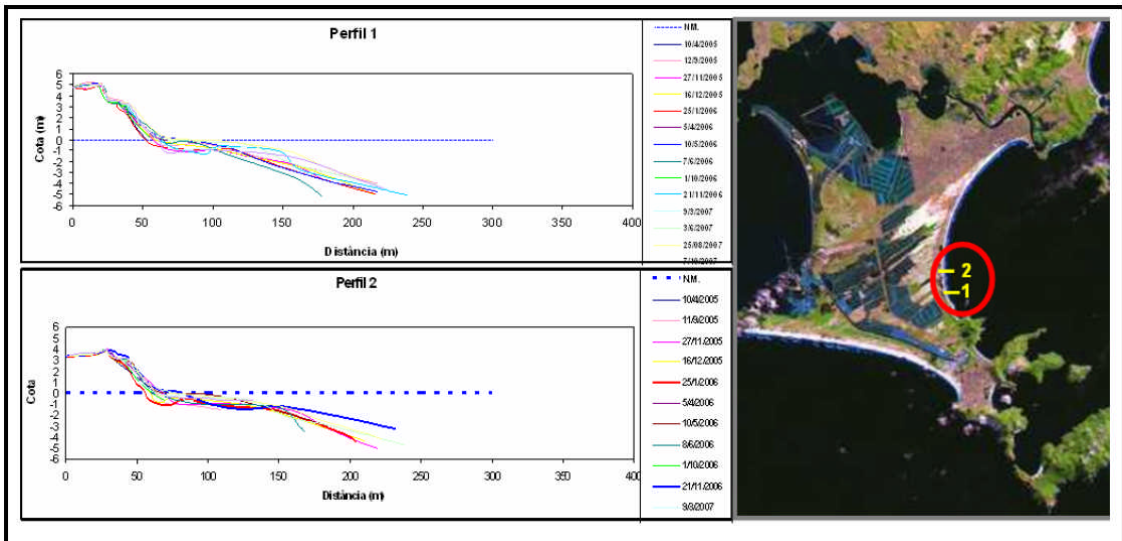


Fig. 2. Perfis ao sul do arco praial com características refletivas.

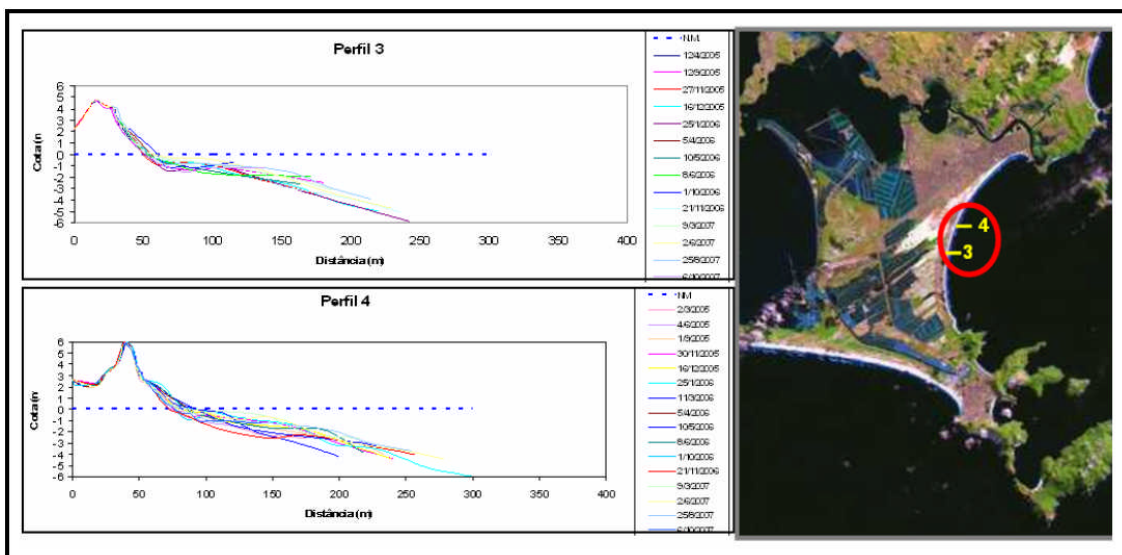


Fig. 3. Perfis realizados na porção central do arco – características intermediárias.

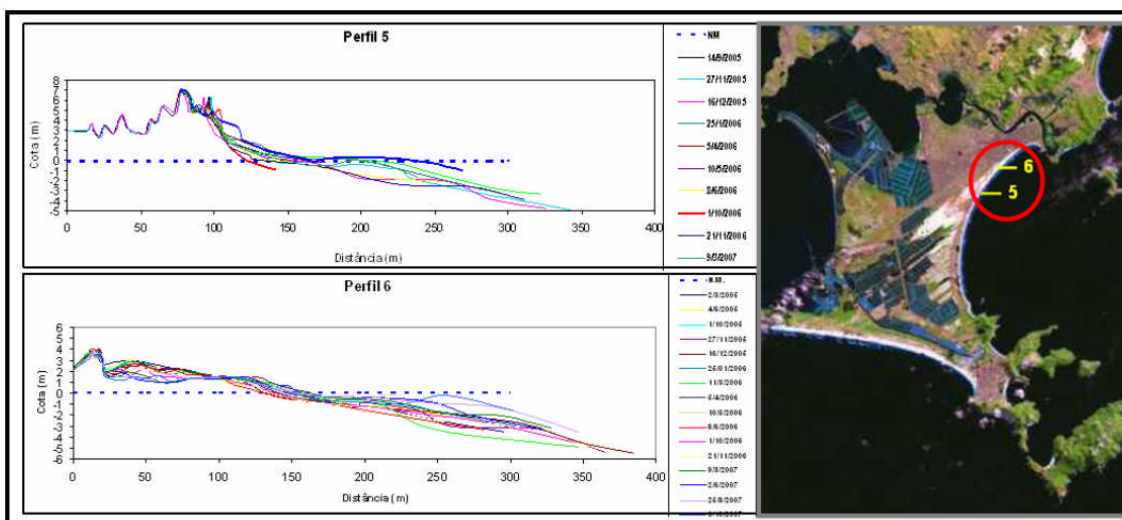


Fig. 4. Perfis na porção norte associado a uma tipologia praial dissipativa com maior variabilidade topo-batimétrica.

O conjunto de perfis mostra certa estabilidade tanto da parte submarina quanto da parte emersa mais ao sul (perfis 1 e 2, fig. 2). Da porção intermediária do arco para o trecho mais ao norte é possível de se destacar feições indicativas de processos eólicos no pós praia, e também, uma maior variabilidade quanto ao volume de sedimentos na antepraia.

Os dados obtidos no perfil 6 revelam um elemento chave para a transição dos sedimentos para o campo de dunas móveis: os levantamentos topográficos mostraram dois sub-setores ao longo deste perfil com comportamentos diferenciados. Na porção submarina é evidente uma dinâmica intensa, sugerindo migração transversal à praia constante de volumosos bancos de areia, contudo, essa variabilidade se estende até um ponto em que pela cota altimétrica seria o limite superior da face de praia, ou seja, uma área com amplo domínio hidrodinâmico. Após o trecho de convergência das linhas topográficas, o perfil vota a apresentar variabilidade intensa, sendo assim, um indicativo de dinâmica exclusivamente regida por conta dos ventos, que de fato mostra a remobilização dos sedimentos para o campo de dunas que outrora foram dispostos da antepraia para a berma a partir da migração desses bancos.

#### **4.2. Cobertura sedimentar da zona submarina**

Quanto à análise sedimentar da zona submarina, a figura 5 mostra depósitos mais grossos ao centro-sul do arco enquanto que as frações mais finas são encontradas em sua grande maioria na porção norte. As análises granulométricas tanto da face da praia quanto da zona de surfe também seguem esse padrão de domínio das frações finas para norte. O desvio padrão diminui neste sentido, podendo ser interpretado como um melhor selecionamento das areias em função do transporte litorâneo num mesmo sentido. Os valores negativos quanto a assimetria no perfil 6 é interpretado como a ausência das frações mais finas que são remobilizadas por ação eólica posteriormente a sua deposição e secagem na praia.

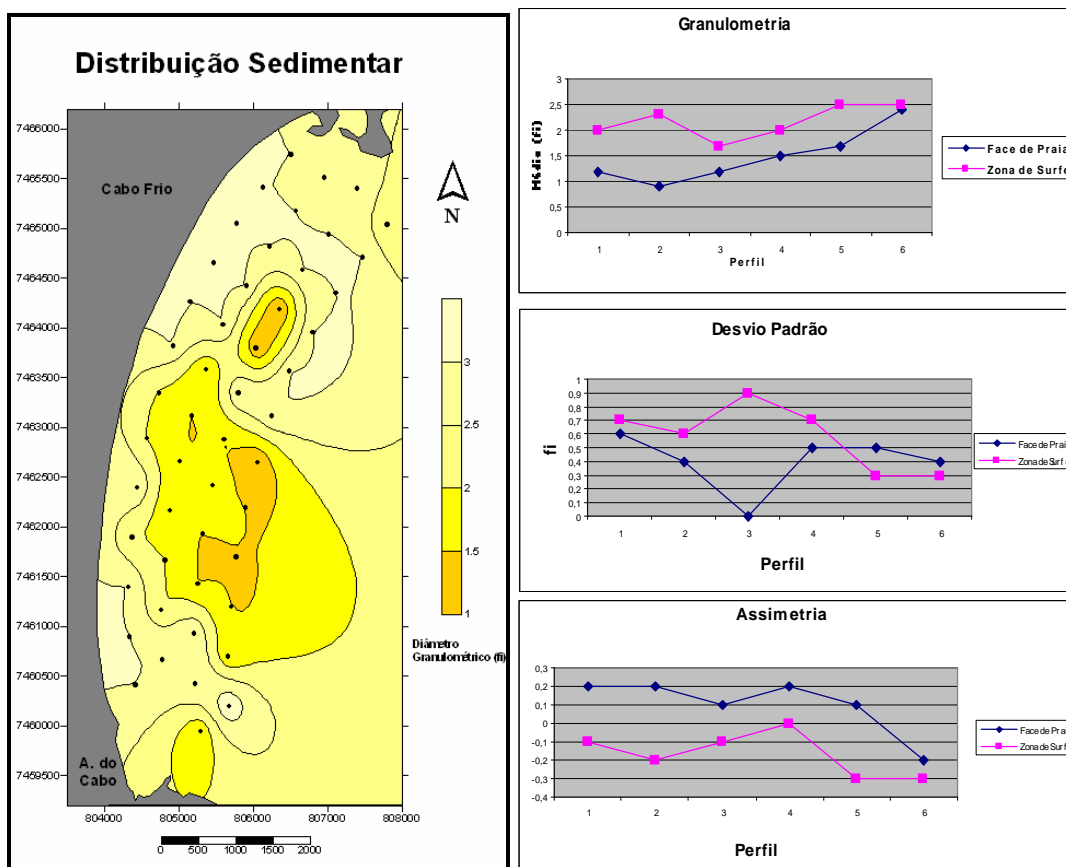


Figura 5. Mapa da cobertura sedimentar ao longo do arco praiar entre Cabo Frio e Arraial do Cabo e análises granulométricas junto à costa.

## b) Caracterização geomorfológica das dunas costeiras

A borda externa da planície costeira de Cabo Frio possui um sistema de dunas frontais identificados nesse trabalho por duas classes: Dunas Frontais Ativas e Dunas Frontais Vegetadas (fig. 6). A primeira, ocupa a parte setentrional do arco, possui característica de um cordão dunar semifixo bem desenvolvido (cotas altimétricas em torno de 6m – perfis 5 e 6) com presença de rupturas de deflação ou cortes eólicos (*blowouts*) gerando lóbulos deposicionais em forma de U, livres de vegetação. A obliquidade desse cordão em relação aos ventos predominantes de nordeste ( $< 45^\circ$ ), e a composição granulométrica variando de fina a muito fina - associada aos perfis mais dissipativos localizados ao norte - sugere uma área de *bypass* dos sedimentos do sistema praiar para a cadeia de barcanas (Fig. 7). Mais ao sul, as dunas frontais passam a ter maior fixação por conta da vegetação. Nesse trecho o transporte eólico é mais dificultado também pelo aumento do diâmetro granulométrico no prisma praiar emerso e pela gradual mudança de orientação da linha de costa em relação aos ventos alísios ( $> 45^\circ$ ), pequenos cortes eólicos no cordão dunar possibilitam um deslocamento parcial do material selecionado anteriormente pela ação do vento.

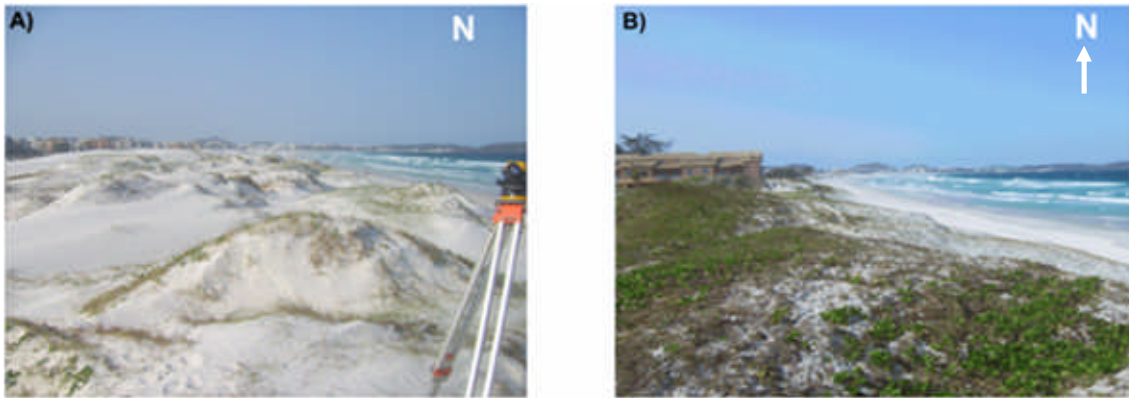


Fig. 6. Dunas Frontais Ativas (a) alimentando o campo de dunas móveis e Dunas Frontais Vegetadas (b) mais ao centro-sul do arco.

Sugere-se que essas feições frontais à linha de costa tenham sido espessadas em função dos ventos do mar para a terra recobrimdo a barreira transgressiva frontal. O pacote eólico parece de fato no trecho centro norte ter recoberto qualquer vestígio da depressão formada no reverso da barreira, uma vez que não são observados vestígios aparentes de lagunas, ambientes típicos de ambientes transgressivos.

A presença de um pequeno grupo de barcanas em cadeia está anexada na tangente à porção norte do arco, por meio do desenvolvimento de dunas embrionárias transversais que migram por sobre uma berma potencialmente larga exposto no perfil de praia mais setentrional. A área de deflação das barcanas são terrenos rebaixados por vezes alagadiços e com pouco desenvolvimento da vegetação. Em períodos chuvosos é recorrente o afloramento do lençol freático, ajudando assim a individualização dessas barcanas.

Outro conjunto de feições eólicas localizado na porção central do arco (fig 7) se destaca por possuir uma morfologia do tipo parabólicas adelgadas ou classificada por Gianini et al. (2005) de *hairpin*. Seus braços alongados e corpo achatado com face de avalanche convexa é produto de uma forte influência da vegetação mais desenvolvida conforme se adentra pelo continente. Sua migração alinhada ao vento é notada pelos rastros lineares residuais (*trailing ridges*) deixados a barlavento, porém o crescimento urbano ao longo da via de acesso entre Cabo Frio e Arraial do Cabo possivelmente está impedindo alimentação sedimentar da franja costeira para essas feições.



## Planície Costeira de Cabo Frio - RJ

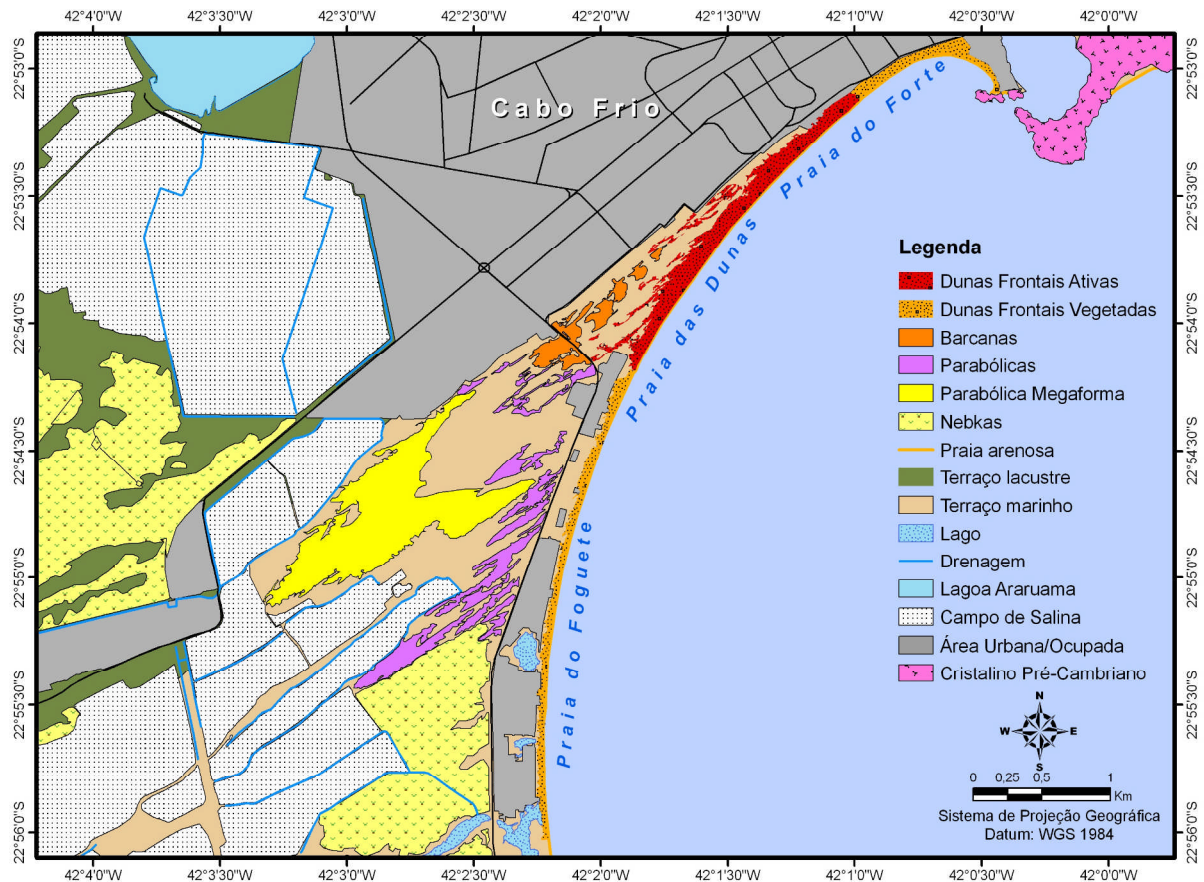


Fig. 7. Mapa das feições eólicas e uso e cobertura do solo em parte da planície costeira de Cabo Frio.

Uma das feições mais marcantes nessa planície é a presença de uma megaforma parabólica individualizada. Sobre ela ocorre a migração de cadeias de barcanóides que representam a reativação atual de depósitos mais antigos. Feições do tipo *nebkas* ou também conhecida como *Hummokys* ocorrem desde áreas mais próximas às margens da lagoa de Araruama até o extremo leste da planície, passando por toda a parte sul da planície, onde se encontra a restinga da Massambaba. Essas feições, segundo Tenberg (1994) referem-se a depósitos arenosos em meio à vegetação típica de restinga. Observa-se na figura 7 que esses depósitos obedecem a um alinhamento preferencial dos ventos predominantes de NE, que possivelmente se tratam de uma remobilização eólica sobre terraços pleistocênicos, e não uma resultante da construção da planície costeira por deriva litorânea numa fase regressiva holocênica, que daria origem ao enorme tómbolo ancorado nos afloramentos cristalinos de Arraial do Cabo (Lamego 1945; Amador 1992).

## 5. Conclusão

De acordo com os resultados descritos em relação aos aspectos morfodinâmicos da praia até os campos de dunas, entende-se que a partir do trecho com depósitos eólicos proeminentes no pós-praia (parte centro-norte do arco) ocorre uma predominância de dinâmica transversal do estoque arenoso em face do transporte longitudinal ao longo do trecho mais ao sul, viabilizando a construção de dunas frontais, ou seja, um exemplo clássico de associação morfodinâmica entre praia e duna.

Os resultados quanto ao comportamento morfodinâmico estão condizentes, uma vez que, foram utilizados métodos variados de aquisição de dados morfodinâmicos, e todos apontaram para uma dinâmica costeira com deriva litorânea de sul para norte acompanhado de diminuição do gradiente topográfico no mesmo sentido e da granulometria. A componente morfossedimentar da parte emersa mostra-se como sendo uma resposta do estoque arenoso distribuído na zona submarina adjacente, em que, gradualmente, os finos são carregados para porção norte e, posteriormente, transportados para a parte emersa da praia e retirado por ação eólica.

A ocorrência dessas dunas frontais de fato está associada a essas condições morfodinâmicas atuais da praia e a disponibilidade de sedimentos finos na zona submarina, ajustado com a competência dos ventos locais para um transporte eficiente e posterior acumulação. Porém, foram mapeados diversos tipos de feições eólicas diferenciadas quanto sua morfologia, por exemplo, a Parabólica Megaforma, as Parabólicas Adelgadas e os campos de *Nebkas* ou *Hummoks*. A sua origem não pode ser respondida apenas pela dinâmica atual dos processos costeiros vigentes nesta área. Sua gênese concerne a uma série de condições associadas à própria evolução da planície costeira ao longo do Quaternário, em que, apenas a Parabólica Megaforma, as Parabólicas Adelgadas, nas condições climáticas atuais, encontram-se ativas onde se observa esses sedimentos disponíveis mais interiorizados sendo remobilizados.

Os diferentes tipos de dunas compõem um mosaico geomorfológico, em que fazem parte de uma evolução pretérita, sendo sistematicamente retrabalhadas pelas forçantes atuais. Os depósitos eólicos encontrados mais próximos à linha de costa estão fortemente submetidos à dinâmica atual da praia e a curvatura do arco, sendo mais desenvolvidos quando estão sobre condições dissipativas e paralelos aos ventos de nordeste. As dunas mais interiorizadas são resposta de uma possível reativação por conta da retro-alimentação desse campo de dunas frontais transgressivos, que em sua grande parte encontram-se livres de vegetação.

## **Bibliografia**

Barbieri, E.B. (1984) Cabo frio e Iguaba Grande: dois microclimas distintos a um curto intervalo espacial. In Lacerda, L.D.; Araújo, D.S.D.; Cerqueira, R. & Turq, B. (Eds). Restingas: Origem, Estruturas, Processos. CEUFF, Niterói.

Barbieri, E.B. (1999) Origin and evolution of Quaternary coastal palin between Guaratiba and cape Frio, State of Rio de Janeiro, Brazil. In Knoppers, B.A., Bidione, E.D. & Abrão, J.J. (Eds.). Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon System of Rio de Janeiro Brazil. *Série Geoquímica Ambiental*, 6: 47-56 pp.

Bigarela, J.J.; Becker, R.D.; Duarte, G.M. (1969). Coastal Dune Structures from Paraná, Brazil. *Marine Geology*, v.7, p.5-55.

Castro J. W. A.; Dias, F. F.; Rangel, F. E.; Miguez, A. I. P. (2003) Taxa de transporte de sedimento eólico em dunas costeiras oblíquas do município de Cabo Frio – Estado do Rio de Janeiro. IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário.

Fernandez, G.B.; Pereira, T.G; Muehe, D. & Rocha, T.B. (2006) Aplicação de critérios morfodinâmicos na diferenciação de setores ao longo do arco praial entre Cabo Frio e Arraial do Cabo – RJ. Submetido ao Simpósio Nacional de Geomorfologia/ Regional Conference of Geomorphology. Goiânia, GO.

Fernandez, G. B.; Muehe, D. (2004) Sediment budget correlation with the Southern Oscillation Index of a foredune westward of Cabo Frio (Rio de Janeiro). *Journal of Coastal Research*, v. SI39, p. 371-374,.

Fernandez, G.F. 2007 Modelo morfológico das barreiras arenosas costeiras do estado do Rio de Janeiro – Anais do XI Congresso da ABEQUA, Belém.

Goldsmith, V. (1985) Coastal dunes. In. Davis J., R.A. Coastal sedimentary Environments. Springer Verlag. Chapter 5. 303-378.

Hesp, P.A. (1983) Morfhodynamics of incipient foredune in New South Wales, Austrália. In: Brookfield, M.E. & Ahlbrandt, T.S. (Eds.) Eolian Sediments an processes. Amsterdam: Elsevier. P. 325-342. (Developments in Sedimentology, 38)

Melton, F.A. (1940) A tentative classification of sand dunes its applications to dune history in the Southern high plains. *Journal of Geology*, v.48, n.2, p.113-145.

Muehe, D. (1996) Geomorfologia Costeira. Capítulo 5. In Cunha, S.B. & Guerra, A.J.T (Orgs.). Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações. Editora Bertrand Brasil.

Muehe, D. (1998) Estado Morfodinâmico Praial no Instante da Observação: uma alternativa de identificação.. *Revista Brasileira de Oceanografia, Instituto Oceanográfico USP*, v. 46, n. 2, p. 157-169.

Muehe, D. & Valentini, E. (1998) O litoral do estado do Rio de Janeiro. FEMAR.

Muehe, D., Roso, R.H. & Savi, D.C. (2003) Avaliação de método expedito de determinação do nível do mar como datum vertical para amarração de perfis de praia. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Ano 4, N.1, (53-57).

Pereira, T.G.; Rocha, T.B.; Santos, R. A.; Fernandez, G.B. (2007) Morfodinâmica entre praia, duna e zona submarina adjacente nas proximidades do cabo Frio – Anais do XI Congresso da ABEQUA, Belém.

Short, A.D. (1999). Beach systems. In Short, A.D. Beach and shoreface morphodynamics. John Wiley and Sons.

Tenberg, A.G. (1994). Nebkas – Their spatial distribution, morphometry, composition and age in the Side Bouzid area, central Tunisia. *Z. Geomorph.*, v. 38, n.3, p.311- 325.

Turcq, B.; Martin, L.; Flexor, J.M.; Suguio, K. & Tasayaco-Ortega, L. (1999) Origin and evolution of Quaternary coastal plain between Guaratiba and cape Frio, State of Rio de Janeiro, Brazil. In Knoppers, B.A., Bidione, E.D. & Abrão, J.J. (Eds.). *Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon System of Rio de Janeiro Brazil. Série Geoquímica Ambiental*, 6: 25-46 pp.

Wright, L.D. & Short, A.D. (1984) Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis. *Marine Geology*, 56:93-118.