

Erosão Costeira - Tendência ou Eventos Extremos? O Litoral entre Rio de Janeiro e Cabo Frio, Brasil *

Coastal Erosion – Trend or Extreme Events?

The Coastline Between Rio de Janeiro and Cape Frio, Brazil

Dieter Muehe ¹

RESUMO

O litoral entre Rio de Janeiro e Cabo Frio é formado por extensas praias associadas a cordões litorâneos arenosos, de orientação leste-oeste diretamente expostos a tempestades vindas do sul. O aporte de sedimentos continentais é completamente impedido pelo bloqueio dos cordões, também chamados de barreiras, cuja presença levou à formação de lagunas para as quais convergem os pequenos cursos de água que drenam o flanco oceânico do maciço costeiro.

Não obstante os claros indícios de erosão os resultados obtidos através da comparação de perfis topográficos, ao longo de diferentes arcos de praia, indica que, apesar das amplas variações na largura e volume dos perfis de praia, e mesmo retrogradação da escarpa da pós-praia, a linha de costa, na interseção da face da praia com o nível médio do mar, não apresentou, ao longo das últimas décadas, tendência de migração ou modificação do estoque de sedimentos. Um monitoramento mensal, durante catorze anos, do sistema praia-duna frontal, na praia da Massambaba, próximo ao Cabo Frio, indicou um recuo da crista da duna frontal durante a ação de tempestades extremas com tendência de posterior retorno à sua posição inicial. A formação de um banco na antepraia, após uma das mais severas tempestades, com volume superior ao do campo de dunas frontais, indica que tempestades excepcionais produzem erosão, mas podem também recompor o estoque de areia a partir de remobilização da espessa cobertura de sedimentos quartzosos, da plataforma continental interna, em direção à costa contribuindo para o reequilíbrio do balanço sedimentar.

Palavras-chave: Erosão costeira, eventos extremos, estabilidade costeira, Rio de Janeiro, Brasil.

ABSTRACT

The coastline eastward from Rio de Janeiro up to Cape Frio is characterized by long and straight beach barriers frequently backed by lagoons and segmented by rocky headlands. No continental sediments are delivered to the continental shelf due to presence of the sandy beach barriers. With a generally east-west direction the coastline is directly exposed to storm waves from the south, with the longshore sediment transport tending to be in equilibrium.

Episodes of coastal erosion associated to storm events due to the passage of cold fronts from the south induced a general retrogradation of the backshore scarp as also widespread wave overwash. Urbanization of the coast is discontinuous and occur in clusters with the constructions frequently build in the immediate proximity of the beach. After a severe storm in May 1991 houses as also part of the pavement of the coastal

1 - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. e-mail: dieter.muehe@gmail.com

road were destroyed. Subsequent storms also affected the coast but with less damage to properties.

Considering the general vulnerability of the coast due to storm wave attack and associated risk to the urbanized areas, a question is posed about the stability of the shoreline considering the evidences of erosion as either a general trend of a backward shift of the coastline or only a response to extreme events with subsequent recovery of the shoreline position.

In an attempt to answer these questions topographic profiles were measured along different compartments of the coast for comparison with previous surveys dated back to the second half of the last century as also a continuous monthly survey carried out during fourteen years, from 1996 to 2010, encompassing a wide range of weather conditions. The results indicated that, in spite of the wide variation in width and volume of the beach profiles, no evidence of retrogradation of the shoreline during the last three to four decades was found. A backward shift of the foredune crest after storm events with a subsequent trend to return to the previous position was found on the beach-foredune system near Cape Frio indicating the occurrence of a dynamic equilibrium between the most frequent northeast offshore wind and the less frequent onshore wind associated to wave overwash. The development of an offshore bar, after one of the most extreme storm events, with a greater volume of sand as the one of the foredunes, suggests that the erosion caused by storm surges may be locally compensated by the transfer of sands from the innershelf toward the coast with the consequent increase of the foreshore sediment stock. This may explain why the whole coastal stretch of the south coast of Rio de Janeiro state remains relatively stable in spite of the absolute absence of continental sediment input. This may also be a factor to be considered as a partial compensation for a sea level rise when associated to an increase in frequency and intensity of storm events.

Keywords: Coastal erosion, extreme events, coastal stability, Rio de Janeiro, Brazil.

1. INTRODUÇÃO

A orla costeira entre o Rio de Janeiro e Arraijal do Cabo, no cabo Frio, apresenta uma orientação aproximadamente leste-oeste, reflexo de idêntica disposição das curvas batimétricas e peculiar, quando comparado à orientação geralmente nordeste-sudoeste da linha de costa do Sudeste brasileiro (Figura 1). Tendo o cabo Frio como ponto de apoio mais afastado do maciço montanhoso costeiro as planícies vão gradativamente se alargando em direção ao referido cabo ao mesmo tempo em que a combinação de redução do efeito orográfico sobre a precipitação e aumento da exposição ao vento nordeste provoca uma gradativa redução das

precipitações, aumento do déficit hídrico, chegando, no extremo leste, à semiaridez, e intensificação do fenômeno da ressurgência de águas frias e consequente redução da temperatura do ar, razão da denominação de cabo Frio.

As praias, associadas a cordões litorâneos ou barreiras arenosas, confinadas entre promontórios rochosos, inicialmente pouco espaçadas na extremidade ocidental devido à proximidade do maciço costeiro, vão se transformando, em direção a leste, em longos arcos diretamente expostos às ondas de tempestade associadas à entrada de frentes frias vindas do sul.

A distribuição de sedimentos, predominantemente quartzosos, tende a um gradual decréscimo de tamanho a

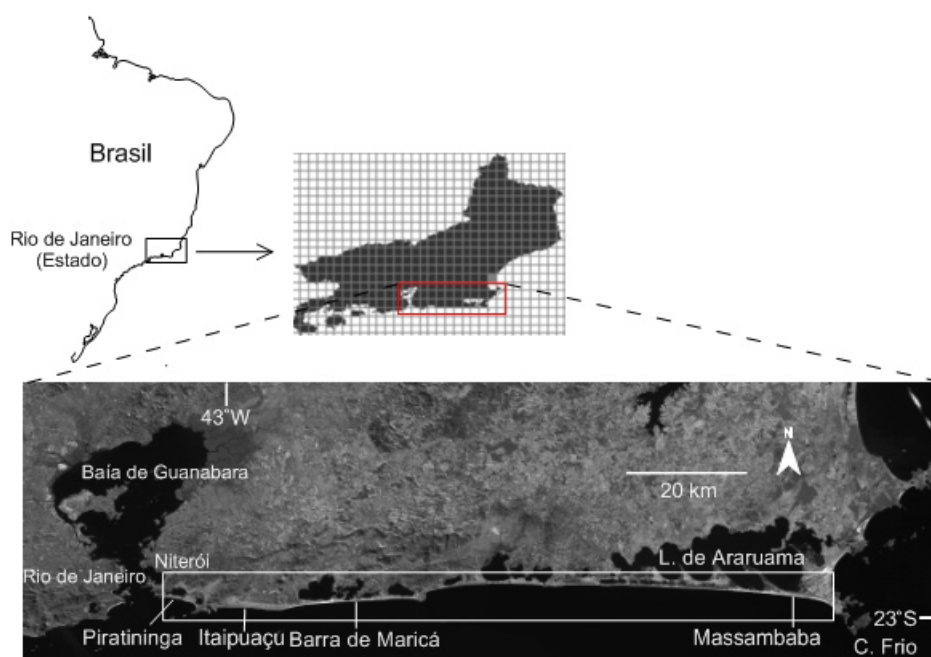


Figura. 1 Área de estudo com a localização dos perfis topográficos. (Imagem Landsat 2007).

Figure 1. Study area with location of the topographic profiles. (Image Landsat 2007).

partir da praia de Itaipuaçu, aonde as areias chegam a ser muito grossas, passando para areias médias até se tornarem muito finas à medida que se aproximam do cabo Frio (Muehe, 1979). Isto por sua vez, associado à baixa precipitação e forte vento de nordeste, favorece a formação de campos de dunas. Esta distribuição granulométrica se reflete nos estágios morfodinâmicos das praias que de refletivo passam para intermediários com o estágio intermediário de banco e calha longitudinal a bancos transversais nos segmentos de sedimentos mais finos da metade leste da praia da Massambaba.

O transporte longitudinal, inicialmente interpretado como sendo predominantemente de oeste para leste e responsável por uma suposta evolução das barreiras arenosas na forma de pontais com o consequente fechamento gradual de enseadas pré-existentes (Lamego, 1940; 1945), foi posteriormente considerado como sendo de equilíbrio (Silvester, 1968) sendo a formação das barreiras arenosas resultado de uma retrogradação em consonância com a elevação do nível do mar (Coe Neto, 1984; Muehe & Corrêa, 1989; Turcq, 1999). A diminuição do diâmetro granulométrico, que poderia ser interpretado como indicação de transporte longitudinal residual, é resultado da distribuição granulométrica na plataforma continental interna e não decorrente de um processo de transporte seletivo devido à obliquidade de incidência de ondas (Muehe & Corrêa, 1989). Este transporte tende a um equilíbrio entre a direção para leste, induzido pelas ondas de tempestade e para oeste associado às de bom tempo, mais frequentes.

O aporte de sedimentos continentais é impedido pela presença dos cordões litorâneos em cuja retaguarda se desenvolveu um conjunto de lagunas para as quais convergem os pequenos cursos de água que drenam o flanco oceânico do maciço costeiro. Assim sendo, o balanço sedimentar tem, na plataforma continental, a única fonte potencial de incorporação de sedimentos.

A ocupação da orla vem se fazendo com diferentes graus de intensidade, em geral sem obedecer a uma distância segura em relação à praia. Isto tem provocado perda de bens materiais durante tempestades extremas, um risco que aumenta potencialmente em vista das mudanças climáticas previstas para as próximas décadas. A ampla exposição deste litoral às ondas de tempestade do quadrante sul associadas à penetração de frentes frias, torna o mesmo especialmente vulnerável a eventos extremos. Um destes eventos, de maior intensidade, com ondas altas, de até 4 m e períodos de 11 s, fortes ventos e maré de sizígia, com empilhamento da água de até 1 m acima da altura da premar prevista, ocorreu em maio de 2001 e deixou vestígios de sua passagem ao longo de toda a orla costeira, com recuo da escapa da pós-praia da ordem de pouco mais de 1 dam (Muehe et al., 2001). Tais recuos, juntamente com os danos materiais envolvidos, geraram interpretações divergentes sobre se esses sinais representam um processo de recuo da linha de costa (Silva et al., 2008a; Lins-de-Barros, 2005) ou apenas uma resposta dinâmica da praia (Silva et al., 2008b). Assim sendo, o presente trabalho tem como objetivo avaliar se os processos erosivos identificados representam uma tendência de retrogradação da linha de costa ou apenas uma resposta a eventos extremos. Para este fim foram utilizados dados de levantamentos que remontam às décadas de 70 e 80 (Muehe, 1979; Muehe & Ignarra, 1984; 1987) e mais recentes ainda não publicados.

2. METODOLOGIA

Os trabalhos de campo consistiram no levantamento de perfis topo-batimétricos empregando técnicas de nivelamento topográfico convencional por meio de nível topográfico ou teodolito. Os perfis foram levados até o refluxo da onda e ajustados ao nível médio do mar a partir da previsão maregráfica mais próxima segundo método proposto por Bigarella et al. (1961) e adaptado por Muehe et al. (2003). A cota assim determinada no primeiro levantamento de cada perfil passou a ser adotada para todos os perfis subsequentes de uma mesma posição. Quando da extensão do perfil de praia para a zona submarina, o nivelamento foi estendido para a zona submarina até onde era possível levar a mira topográfica sendo a continuidade do perfil feita por meio de ecobatimetria empregando embarcação de pequeno porte conforme metodologia proposta por Muehe (2004a; 2006).

Como os levantamentos mais antigos não dispunham das facilidades e precisão de posicionamento por satélite, agora disponíveis, foi necessário recorrer às anotações das cadernetas de campo para a identificação do posicionamento de cada perfil definido em função do alinhamento de ruas existentes e que desde o primeiro levantamento serviram de referencial para a localização dos perfis. Para o monitoramento mensal, realizado na praia da Massambaba, em área de dunas sem referencial, foi estabelecida uma malha ortogonal de piquetes, o que permitiu uma análise muito precisa da mobilidade topográfica da praia e do campo de dunas frontais.

3. RESULTADOS

3.1 Praia de Piratininga

Fazendo parte da área urbanizada de Niterói e pertencente à região metropolitana do Rio de Janeiro, este segmento costeiro apresentou, na década de 1980, a seguinte classificação de risco (Figura 2):

Eventos posteriores ao citado mapeamento confirmaram a classificação, limitando-se os eventos erosivos apenas à praia de Piratininga que, em várias ocasiões de tempestades extremas, sofreu a destruição de um muro de proteção, construído dentro do perfil dinâmico da praia (Figura 3). A comparação de perfis de praia levantados antes e após a construção do muro mostrou que a mesma manteve seu perfil original sem mudança de posição (Lima & Vilas, 2002), a não ser a variabilidade morfodinâmica típica de uma praia de estágio intermediário.

3.2 Praias de Itaipuaçu e Barra de Maricá

3.2.1 Praia de Itaipuaçu

Ancorado entre dois promontórios rochosos e segmentado por um arco de praia cuspidado, este segmento costeiro apresentou, na década de 1980, a seguinte classificação de risco (Figura 4).

Na praia de Itaipuaçu, a urbanização se expandiu principalmente sobre a barreira arenosa mais interiorizada, enquanto a barreira frontal, que apresenta claros sinais de transposição por ondas e destruição da estrada de barro construída em seu topo, apresenta uma ocupação ainda incipiente e espacialmente descontínua (Figura 5).

Apesar dos nítidos sinais de instabilidade geomorfológica

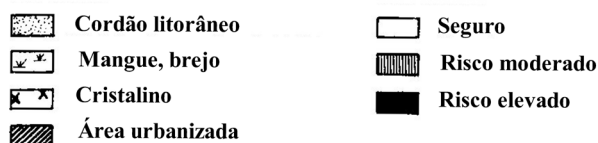
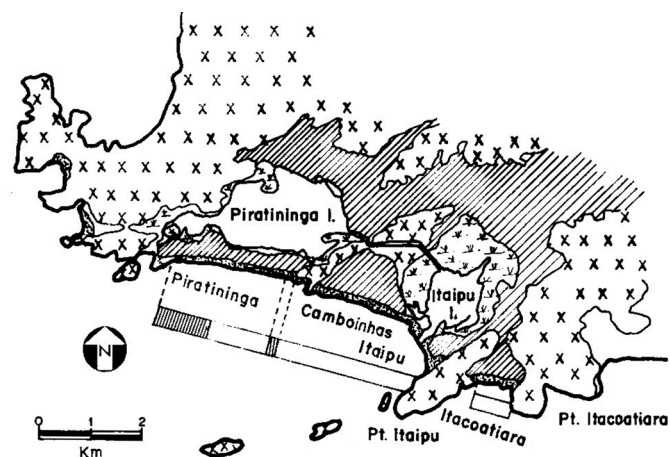


Figura 2. Classificação da vulnerabilidade da linha de costa das praias de Piratininga, Itaipu e Itacoatiara segundo Muehe & Corrêa (1989). Ver localização na Figura 1.

Figure 2. Vulnerability classification of the coastline of the Piratininga, Itaipu and Itacoatiara beaches, of the Metropolitan Region of Rio de Janeiro according Muehe & Corrêa (1989). See location in Figure 1.

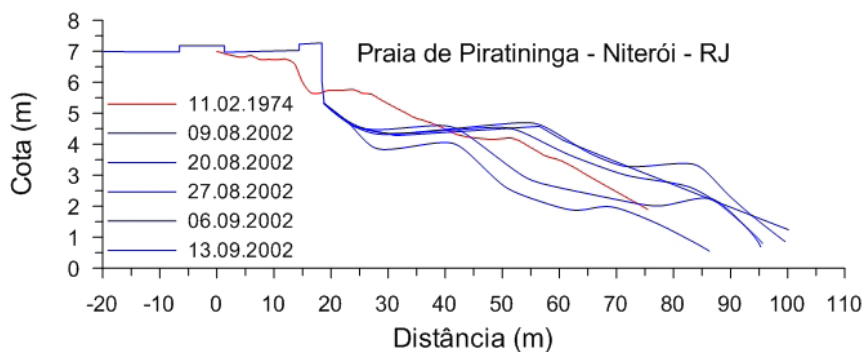


Figura 3. Praia de Piratininga. Destruição de muro após ressaca de 2001. À direita superposição de perfis antes e após a construção do muro, mostrando a manutenção da largura da praia. (Foto D. Muehe. Perfis de 2002 levantados por Lima & Vilas, 2002).

Figure 3. Piratininga beach. Destruction of the seawall by the 2001 storm. At the right side beach profiles before and after the storm. (Photo D. Muehe. Profiles measured in 2002 by Lima & Vilas, 2002).

há controvérsias se esses sinais representam um processo de recuo da linha de costa (Silva et al., 2008a; Lins-de-Barros, 2005) ou apenas uma resposta dinâmica, conforme ressaltado por Silva et al. (2008b) para o setor oeste da praia de Itaipuaçu, caracterizada por retrogradação, da ordem de 13 m, transposição da barreira por ondas (overwash) e ampla variabilidade do perfil praial. O capeamento de barro da estrada construída sobre a barreira arenosa se apresenta em grande parte destruído por ação de transposição das ondas, dando lugar ao substrato de areia grossa original, impedindo o trânsito de automóveis. Este processo, entretanto já era

ativo antes da construção da estrada como pode ser observado na Figura 6 da década de 1940.

A comparação entre perfis topográficos transversais à praia entre 1983 e 2010 não indicou um recuo da linha de costa (Figura 7), confirmando a interpretação de Silva et al. (2008b) a partir da comparação de perfis levantados na década de 1970 com perfis monitorados durante oito anos, entre 1999 e 2006 e que se estenderam a todo o arco praial.

Não obstante a evidente vulnerabilidade, caracterizada por depósitos de leques de transposição tipicamente associados a processos de retrogradação, os mesmos também podem

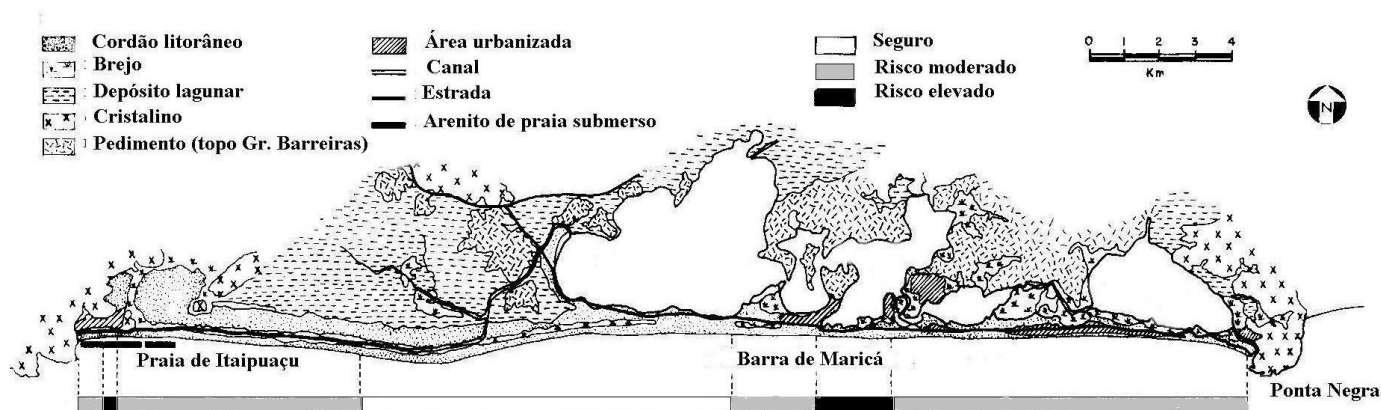


Figura 4. Classificação da vulnerabilidade da linha de costa entre a Praia de Itaipuaçu ao promontório da Ponta Negra segundo Muehe & Corrêa (1989). Ver localização na Figura 1.

Figure 4. Vulnerability classification of the coastline from Itaipuaçu beach to Ponta Negra promontory according to Muehe & Corrêa (1989). See location in Figure 1.



Figura 5. Segmento da praia de Itaipuaçu mostrando a baixa ocupação da barreira arenosa frontal, entre a praia e o canal, e a ocupação mais densa da barreira interiorizada, formada durante a penúltima transgressão marinha, quando o nível do mar esteve cerca de 6 a 10 m mais elevado que o nível atual (Suguio et al., 2005). Imagem fonte IBGE.

Figure 5. A segment of the Itaipuaçu beach showing the low occupation of the Holocene beach barrier and the more dense occupation of the older, Peistocene, barrier, formed at a sea level about 6 to 10 m higher than the Present one (Source Suguio et al., 2005). Image source IBGE.

ocorrer em cordões litorâneos estáveis, com altura capaz de ser ultrapassada por ondas de tempestade, quando constitui processo importante na manutenção dos ecossistemas que se desenvolvem a retaguarda de barreiras arenosas (Donnelly et al., 2006; Nordstrom, 2010).

3.2.2 Praia da Barra de Maricá

Entre a Ponta Negra e a Barra de Maricá a erosão foi intensa após a passagem, em maio de 2001, de uma tempestade excepcionalmente forte, resultando em perda parcial a total de residências devido à construção das mesmas muito próximas ao limite da barreira arenosa com a praia (Figure 8). Após a tempestade os moradores cujas casas ainda continuavam sob risco passaram a implantar, na praia, um conjunto de defesas, de eficácia duvidosa, que variavam

desde a construção de um simples muro, defronte à casa, até o enterramento de estruturas de suporte como manilhas, estacas e outras supostas defesas. Os prejuízos foram avaliados como sendo da ordem de 200.000 reais/km, sendo que $\frac{3}{4}$ representando perda total e o resto gastos com reconstrução, somando-se a isto ainda a subsequente desvalorização temporária dos imóveis (Lins-de-Barros, 2005).

A recuperação da praia após a tempestade parece ter sido total, não havendo indicação de uma tendência de recuo da linha de costa ao comparar perfis topográficos transversais em quase quatro décadas de estudo (Figura 9).

Ao longo de toda essa orla a frente de urbanização se inicia quase que em contato com a praia encontrando-se sob risco de erosão, tanto em função de eventos extremos quanto em função do ajustamento da costa a uma elevação do nível do mar.



Figura 6. Foto de Itaipuaçu do final da década de 1940, mostrando a ocorrência de leques de transposição. (Fonte acervo da COMINAT S.A Empreendimentos e Consultoria).

Figure 6. Photo of Itaipuaçu beach at the end of the 1940's, showing the occurrence of overwash fans. (Source COMINAT S.A Empreendimentos e Consultoria).

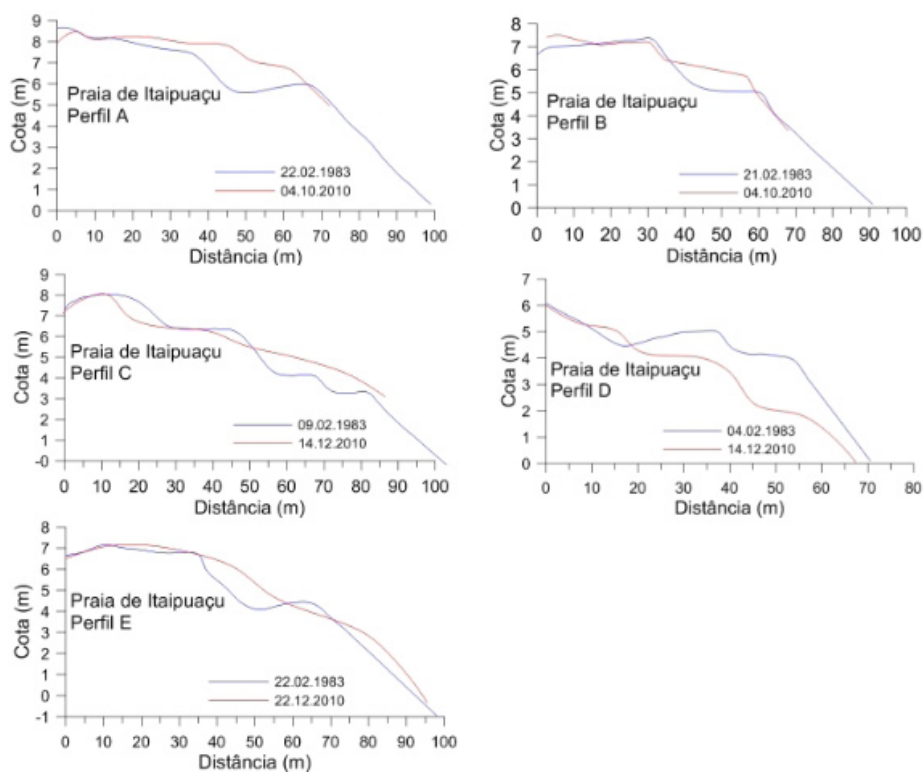


Figura 7. Comparação entre perfis topográficos da praia de Itaipuaçu. (Fonte imagem Google Earth).

Figure 7. Comparison between topographic profiles of Itaipuaçu beach. (Image source Google Earth).



Figura 8. Barra de Maricá, logo após a tempestade de maio de 2001, mostrando a proximidade das casas à praia resultado do não estabelecimento de uma faixa de amortecimento. (Foto D. Muehe).

Figure 8. Barra de Maricá after the storm of May 2001 showing the proximity of the constructions to the beach, a result of the absence of a setback zone.

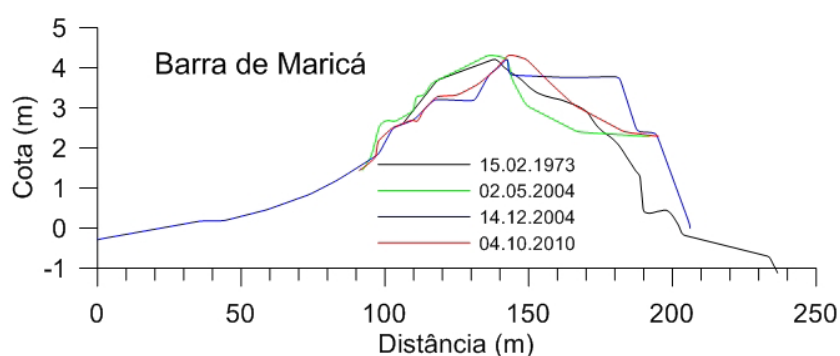


Figura 9. À esquerda superposição de perfis transversais à barreira arenosa levantados em 1973; 2004 e 2010, indicando a recuperação após a tempestade de maio de 2001 e à direita, foto de outubro de 2010, mostrando a recuperação da berma de tempestade (vegetada) e da praia. (Foto D. Muehe).

Figure 9. At the left topographic cross profiles of the beach barrier measured in 1973; 2004 and 2010, indicating the recovery of the storm event of 2001. At the right a picture taken in October 2010 showing the recovery of the storm berm (vegetated) and beach. (Photo D. Muehe).

3.2.3 Praia da Massambaba

A praia da Massambaba se estende por 44 km defronte à laguna de Araruama (Figura 10). Composta por areia média a oeste, esta vai passando para areia fina a muito fina em direção a leste, o que controla o estado morfodinâmico, que de refletivo passa a intermediário com tendência a dissipativo, e o desenvolvimento de dunas frontais. Com exceção de algumas manchas urbanas na orla oceânica, grande parte da qual constitui área de proteção ambiental, a urbanização está praticamente concentrada na orla lagunar.

O monitoramento topográfico foi realizado no segmento classificado como de maior vulnerabilidade caracterizado por sinais de transposição das ondas que provocam a segmentação do campo de dunas frontais e o desenvolvimento de leques de transposição (Figura 11).

Os perfis topográficos do campo de dunas frontais se

estenderam da base do flanco oceânico das dunas em direção ao flanco reverso. Já os perfis de praia se iniciaram na base do flanco oceânico da duna frontal na posição do primeiro levantamento mantendo esta posição materializada por meio de piquetes como referencial fixo. Os levantamentos se iniciaram em 1996, em regime mensal e se estenderam até o final de 2010, perfazendo 169 meses de observação (Figura 12).

Para identificar melhor os diferentes conjuntos de perfis da Figura 12 foi representada, na Figura 13, apenas a configuração do perfil do final de cada ano de levantamento. Observa-se que no início do monitoramento (1996) a crista da duna estava mais próxima do limite com a berma da praia (posição zero), sofreu um significativo rebaixamento no ano seguinte, se restabeleceu numa posição mais interiorizada, após a tempestade de maio de 2001, voltando posteriormente a gradativamente se deslocar em direção à posição inicial.

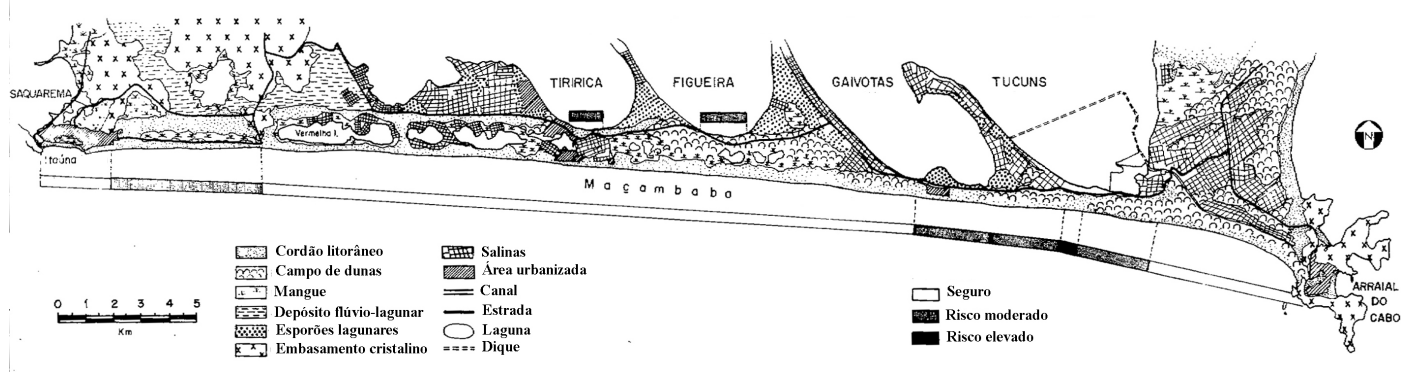


Figura 10. Classificação da vulnerabilidade da linha de costada praia da Massambaba segundo Muehe & Corrêa (1989). Ver localização na Figura 1.

Figure 10. Vulnerability classification of Massambaba beach according Muehe & Corrêa (1989). See location in Figure 1.



Figura 11. Campo de dunas frontais no segmento oriental da praia da Massambaba. No fundo a cidade de Arraial do Cabo e o promontório rochoso do Cabo Frio (Foto D. Muehe).

Figure 11. Foredunes of the eastern sector of Massambaba beach with the town of Arraial do Cabo and the rocky promontory of Cape Frio at the distal end (Photo D. Muehe).

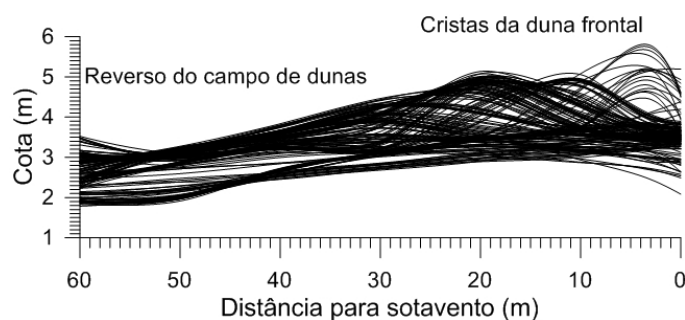


Figura 12. Superposição dos perfis topográficos levantados no campo de dunas frontais, indicando a ocorrência de conjuntos de configuração diferenciada e deslocamento da posição da crista da duna frontal.

Figure 12. Overlaying of topographic profiles of the foredunes showing the occurrence of distinct sets of profile configurations and a displacement of the dune crest.

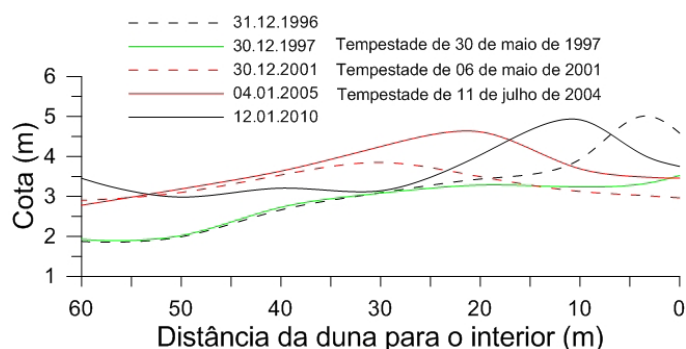


Figura 13. Configuração do perfil transversal ao campo de dunas frontal ao final de cada ano de observação.

Figure 13. Transversal foredune profile configuration at the end of each year of observation.

Esta posição da crista é importante na medida em que a base do flanco oceânico da duna, em fotos ou imagens aéreas, é frequentemente interpretada como posição da linha de costa e, no caso de deslocamento para o interior, como erosão ou mesmo retrogradação da orla.

O efeito de tempestades na mobilização da duna frontal é representado na Figura 14 na qual as tempestades significativas, registradas na imprensa e no prognóstico de ondas do projeto ATLASUL, (<http://www.lamma.ufrj.br/spo/atlasul/index.html>), estão assinaladas e, em destaque, as de maior expressão.

Apesar da observada tendência de retorno da crista da duna à posição de antes da tempestade, este retorno não foi completo, o que justifica interpretar este recuo como uma tendência de retrogradação da linha de costa. Porém, ao considerar a linha de costa como sendo a linha de interseção do nível médio do mar com a face da praia, esta interpretação não se sustenta. Conforme mostra a Figura 15, tanto a largura da praia quanto o volume de areia ao longo de um perfil transversal, não apresentou tendência de diminuição, apesar das amplas variações típicas de uma praia de estágio morfodinâmico intermediário.

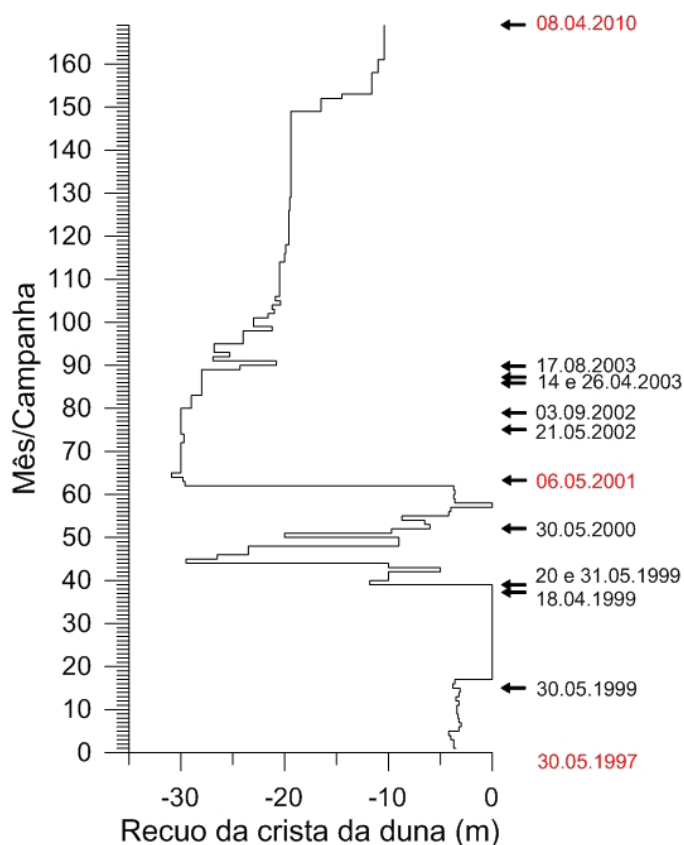


Figura 14. Recuo da crista da duna frontal em resposta à ação de tempestades e posterior tendência de retorno à posição original (em vermelho as tempestades mais significativas).

Figure 14. Retreat of the foredune crest in response to storm events with subsequent trend to return to the previous position (in red the most intense storm events).

4. BALANÇO DE SEDIMENTOS

Numa orla costeira em que o aporte de sedimentos continentais é completamente barrado pelos cordões litorâneos o que resulta no elevado grau de polimento das areias da praia e antepraia, surpreende a estabilidade apresentada pela linha de costa. Uma possível resposta reside na mobilização de sedimentos da plataforma continental interna por efeito de tempestades extremas, como verificado na ressaca de maio de 2001. A tempestade que atingiu o litoral do sul e sudeste do país, gerada por um ciclone extratropical, com ondas de 4 m e maiores teve seu efeito ampliado pela combinação de uma maré de sizígia e do empilhamento de água por ação dos fortes ventos. Este empilhamento chegando a uma elevação da ordem de 1 m acima da altura prevista para a preamar, conforme registro na estação maregráfica do Centro de Hidrografia da Marinha instalado na Ilha Fiscal na Baía da Guanabara. A praia e a fachada frontal do campo de dunas foram totalmente erodidas, sendo parte dos sedimentos depositada no flanco reverso do campo de dunas através do mecanismo de transposição (overwash) e transporte eólico e parte transportada para a zona submarina (Figura 16).

Não obstante os efeitos em termos de prejuízos materiais decorrentes da erosão da praia, o que chama a atenção na comparação dos efeitos morfológicos, é o impressionante volume de sedimentos mobilizados e depositados na antepraia, principalmente na construção do banco localizado a cerca de 300 m da praia e com altura de 1,5 m e largura de 250 m. Considerando o ganho e perda de sedimentos ao longo do perfil verifica-se que a contribuição da praia (6%) e da antepraia superior [zona de surfe até 5 m de profundidade (27%)] totalizam apenas 33% vindo os restantes 67% da antepraia média e inferior e mesmo da plataforma continental

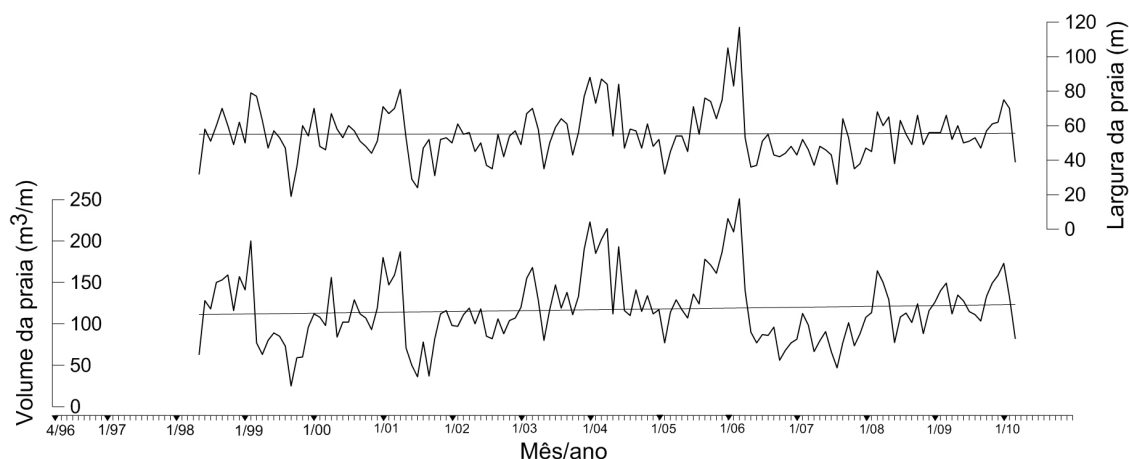


Figura 15. Variabilidade do volume e largura da praia ao longo de catorze anos de observações mensais consecutivas.

Figure 15. Variability of the sediment volume and beach width measured once each month during fourteen years.

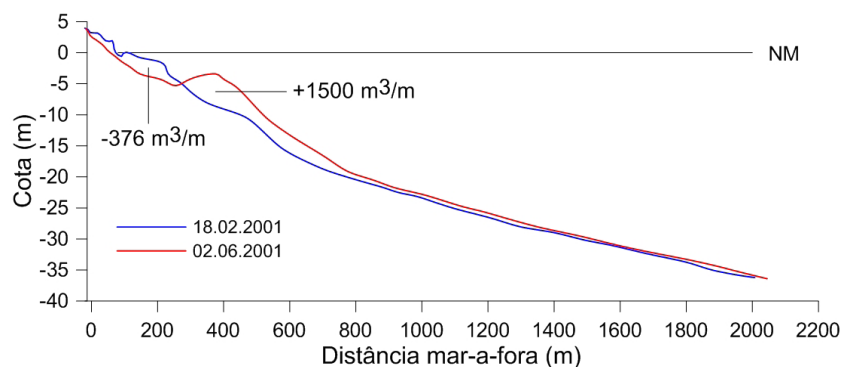


Figura 16. Comparação de perfis levantados antes e após as tempestades de maio de 2001.

Figure 16. Comparison of beach-shoreface cross profiles before and after the storm of Mai 2001.

interna além de possíveis contribuições por transporte paralelo à praia. Este volume, assumindo a continuidade do banco defronte à área de estudo, com uma extensão de 110 m, foi 140 vezes maior que os 10m de recuo do campo de dunas frontais e 30 vezes superior ao volume do próprio campo de dunas. A construção de uma feição dessa magnitude implica em processos de transporte submarinos significativamente mais expressivos do que as respostas morfodinâmicas da praia e antepaia superior e são condições extremas as propulsoras de modificações morfológicas que tanto podem provocar erosão como também contribuir para a manutenção do equilíbrio sedimentar do sistema.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os dados levantados, os processos erosivos ocorridos na orla costeira, indicam ser o resultado de eventos extremos e não o efeito de uma retrogradação continuada da linha de costa. Esta conclusão não elimina o risco às construções localizadas muito próximas da praia. Nesse sentido é adequado considerar como linha de costa os contatos morfológicos identificáveis no campo e em imagens, como por exemplo, a escarpa da pós-praia em contato com a retroterra ou a base da duna frontal, como referência para o estabelecimento da largura de faixas de não edificação, conforme proposto por Muebe (2001; 2004b).

AGRADECIMENTOS

Este trabalho resultou de recursos obtidos através do grant CNPq Proc. n° 304165/2009-3. Quero registrar meus agradecimentos aos inúmeros estudantes de graduação e pós-graduação em geografia e oceanografia pela participação nos trabalhos de campo, muitos dos quais desenvolveram suas monografias, dissertações e teses com os dados obtidos nos diferentes levantamentos realizados na área, e cuja participação foi decisiva na caracterização dos processos costeiros da área de estudo.

BIBLIOGRAFIA

- Bigarella, J.J.; Salamuni, R.; Marques F.P.L. (1961) - Método para avaliação do nível oceânico à época da formação dos terraços de construção marinha. Boletim Paranaense de Geografia (ISSN: 0067-964X), 4/5:111-115, Instituto de Geologia da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil.
- Coe Neto, R. (1984) - Algumas considerações sobre a origem do sistema lagunar de Araruama. In: Lacerda, L.D.; Araujo, D.S.D; Cerqueira, R. & Turcq, B. (org.). Restingas – origem, estrutura, processos, pp.61-63, Centro Editorial da Universidade Federal Fluminense (CEUFF), Niteroi, RJ, Brasil.
- Donnelly, C.; Kraus, N.; Larson, M. (2006) - State of knowledge on measurements and modeling of coastal overwash. Journal of Coastal Research, 22(4):965-991.
- Lamego, A.R. (1940) - Restingas na costa do Brasil. Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia n° 96, 63p., Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Lamego, A.R. (1945) - Ciclo evolutivo das lagunas fluminenses. Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia n° 118, 48p., Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Lima, C.F.; Vilas, F. (2002) - Avaliação do Estoque Sedimentar de uma praia após a construção de um muro na porção proximal do perfil de equilíbrio dinâmico - praia de Piratininga, Niterói (RJ). IV Simpósio Nacional de Geomorfologia, Geomorfologia: Interfaces, Aplicações e Perspectivas, (1):55-55. São Luiz, MA, Brasil.
- Lins-de-Barros, F.M. (2005) - Risco, vulnerabilidade física à erosão costeira e impactos sócio-econômicos na orla urbanizada do município de Maricá, Rio de Janeiro. Revista Brasileira de Geomorfologia (ISSN: 1519-1540), 6(2):83-90 União da Geomorfologia Brasileira, Brasil. Disponível em http://www.ugb.org.br/final/normal/artigos/SEPARATAS_RBG_Ano_6_%20n_2_2005/RBG_Ano_6_n_2_2005_83_90.pdf
- Muebe, D. (1979) - Sedimentology and topography of a high energy coastal environment between Rio de Janeiro and Cabo Frio – Brazil. Anais da Academia Brasileira

- de Ciências (ISSN: 0001-3765), 51(3):473-481, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Muehe, D. (1979) - Sedimentology and topography of a high energy coastal environment between Rio de Janeiro and Cabo Frio, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* (ISSN: 0001-3765), 51(3):473-481, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Muehe, D. (2001) - Critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de limites da orla costeira para fins de gerenciamento. *Revista Brasileira de Geomorfologia* (ISSN: 1519-1540), 2(1):35-44, União da Geomorfologia Brasileira, Brasil. Disponível em http://www.ugb.org.br/final/normal/artigos/SEPARATAS_RBG_Ano_2001/Revista2_Artigo03_2001.pdf.
- Muehe, D. (2004a) - Método de levantamento topobatimétrico do perfil do sistema praia-antepraia. *Revista Brasileira de Geomorfologia* (ISSN: 1519-1540), 5(1):95-100, União da Geomorfologia Brasileira, Brasil.
- Muehe, D. (2004b) - Definição de limites e tipologias da orla sob os aspectos morfodinâmico e evolutivo. In: Carlos Robert de Moraes & Ademilson Zamboni (org.), *Projeto Orla – subsídios para um projeto de gestão*, pp.13-32, Ministério do Meio Ambiente (MMA) / Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (MPO), Brasília, DF, Brasil. Disponível em http://www.mma.gov.br/estruturas/orla/_arquivos/11_04122008110506.pdf.
- Muehe, D. (2006). Método de levantamento topobatimétrico do perfil do sistema praia-antepraia. (Errata). *Revista Brasileira de Geomorfologia* (ISSN: 1519-1540), 7(1):91-92, União da Geomorfologia Brasileira, Brasil.
- Muehe, D.; Corrêa, C.H.T. (1989) - The coastline between Rio de Janeiro and Cabo Frio. In: Claudio Neves (ed.), *Coastlines of Brazil*, pp.110-123, American Society of Civil Engineers (ASCE), New York, NY, U.S.A. ISBN: 978-0872627079.
- Muehe, D.; Fernandez, G.B.; Savi, D.C. (2001) - Resposta morfodinâmica de um sistema praia - antepraia a oeste do cabo Frio exposto às tempestades de maio de 2001. VIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário (ABEQUA). *Boletim de Resumos*, pp.63-64, Imbé, RS, Brasil.
- Muehe, D.; Ignarra, S. (1984) - Arenito de praia submerso em frente à praia de Itaipuaçu - RJ. XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, p.341-348, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Muehe, D. & Ignarra, S. (1987) - O arenito de Itaipuaçu e sua influência no fluxo de sedimentos. *Simpósio de Geologia Regional RJ-ES. Anais*. p.57-69, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- 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* (ISSN: 1519-1540), 4(1):53-57, União da Geomorfologia Brasileira, Brasil. Disponível em http://www.ugb.org.br/final/normal/artigos/SEPARATAS_RBG_Ano_2003/Revista4-1_Artigo05_2003.pdf
- Nordstrom, K.F. (2010) - *Recuperação de praias e dunas*. 263p. Editora Oficina de Textos, São Paulo, Brasil. ISBN: 978-85-7975-006-9.
- Silva, A.L.C.; Silva, M.A.M.; Santos, C.L.; Ribeiro, G.P.; Santos, R.A.; Vasconcelos, S.C. (2008a) - Retrogradação da barreira arenosa e formação de leques de arrombamento na praia de Itaipuaçu (Oeste de Maricá, RJ). *Revista Brasileira de Geomorfologia* (ISSN: 1519-1540), 9(2):75-82, União da Geomorfologia Brasileira, Brasil. Disponível em http://www.ugb.org.br/final/normal/artigos/RBG_9.2/Art%2006%20-%20Retrogradacao%20-%209n2.pdf
- Silva, A.L.C.; Silva, M.A.M.; Santos, C.L. (2008b) - Comportamento morfológico e sedimentar da praia de Itaipuaçu (Maricá, RJ). *Revista Brasileira de Geociências* (ISSN 0375-7563), 38(1):87-97, Sociedade Brasileira de Geologia, São Paulo, SP, Brasil. <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/rbg/article/view/9597/8970>.
- Silvester, R. (1968) - Sediment transport, long-term net movement. In: Fairbridge, R.W. (ed.), *Encyclopedia of Geomorphology*, pp.985-988, Reinhold Book Corporation, New York, NY, U.S.A.
- Suguió, K.; Angulo, R.J.; Carvalho, A.M.; Corrêa, I.C.S.; Tomazelli, L.J.; Willwock, J.A.; Vital, H. (2005) - Paleoníveis do mar e paleolinhas de costa. In: C.R.G. Souza, K. Suguió & A.M.S. Oliveira (eds.), *Quaternário do Brasil*, pp.114-129, Editora Holos, Ribeirão Preto, SP, Brasil. ISBN: 8586699470.
- Turcq, B.; Martin, I.; Flexor, J.M.; Pierre, C.; Ortega, L.T. (1999) - Origin of the Quaternary coastal plain between Guaratiba and Cabo Frio, State of Rio de Janeiro, Brazil. In: Edison Bidone, Bastiann Knoppers & Luis Drude de Lacerda (org.). *Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon Systems*, vol.6 - Case Study: Lagoons of Rio de Janeiro Coast, Brazil, pp.25-46, Centro Editorial da Universidade Federal Fluminense (CEUFF), Niterói, RJ, Brasil.