

Identificação de áreas de sedimentos compatíveis na plataforma continental
interna para recuperação de praias entre as cidades de
Niterói e Macaé – Rio de Janeiro, Brasil *

*Identification of the occurrence of compatible sediments for beach nourishment
in the inner continental shelf between the towns of
Niterói and Macaé – Rio de Janeiro, Brazil*

Julio F. de Oliveira ^{@,1}, Dieter Muehe ²

RESUMO

A urbanização da orla costeira do litoral leste e sul-oriental do estado do Rio de Janeiro vem sofrendo uma ocupação continuada, devido à expansão da zona urbana, principalmente das cidades como Niterói, Cabo Frio e Macaé, impulsionada pela facilidade de acesso após a construção da ponte sobre a baía da Guanabara entre Rio de Janeiro e Niterói em 1974, pela atração de trabalhadores decorrentes da exploração de petróleo na Bacia de Campos e pelo crescimento do turismo e da segunda residência. Essa ocupação, regra geral, não obedece a um critério de segurança contra eventos oceanográficos extremos, de modo que há uma tendência de construção muito próxima da orla oceânica com episódios de destruição de estradas e residências sob condições de tempestades. A vulnerabilidade da orla tenderá, no entanto, a aumentar em decorrência de um aumento de intensidade e frequência de tempestades e de um aumento do nível do mar por efeito das mudanças climáticas. Nesse sentido a possibilidade de proteção por meio de alimentação artificial de praias tem sido aventada com alguma frequência, ficando a questão da falta de identificação de fontes de sedimentos. O presente trabalho apresenta uma primeira abordagem na identificação de potenciais jazidas de areia na plataforma continental interna defronte ao litoral leste e sul-oriental do estado do Rio de Janeiro, considerando as características granulométricas das diferentes praias urbanas e dos sedimentos da zona submarina, para o direcionamento subsequente de estudos mais detalhados de avaliação do potencial das jazidas. Para este fim foram coletadas e analisadas granulometricamente amostras da face da praia nas principais praias urbanas da área de estudo e comparado com as características granulométricas de amostras da plataforma continental interna, obtidas ao longo de uma série de expedições precedentes. A identificação da adequação de sedimentos da plataforma com os de cada praia considerada foi feito através do emprego do diagrama de James (1975) que, a partir do diâmetro médio e desvio padrão dos sedimentos avalia o volume dos mesmos que permanecerão na praia

@ - Corresponding author: jfoge@gmail.com

1 - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Centro de Estudos de Geologia Costeira e Marinha (CECO/UFRGS), Programa de Pós-Graduação em Geociências (PPGGEO), Instituto de Geociências, Av Bento Gonçalves 9500 prédio 43125, Agronomia, Porto Alegre, RS, Brasil.91501-970. e-mail: jfoge@gmail.com

2 - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG) e Laboratório de Geografia Marinha, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, 2194-611, Rio de Janeiro, Brasil. Integrante da Sub-Rede Zonas Costeiras da Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais (Rede CLIMA) e do Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM). e-mail: dieter.muehe@gmail.com

e o que será transportado, permitindo assim avaliar a adequação ou não da potencial fonte de empréstimo. Ao longo de todo o setor, de cerca de 200km de extensão, foram identificadas onze áreas, próximas à isóbata de -20m, representando potenciais estoques de material para utilização em projetos de recuperação.

Palavras-Chave: Alimentação Artificial de Praias, Compatibilidade de Sedimentos, Áreas de Empréstimo, Litoral Leste e Sul-Oriental do Estado do Rio de Janeiro

ABSTRACT

The occupation of the coast of Rio de Janeiro State, eastward of the Guanabara Bay, have been submitted to a strong and continuous occupation, first due to the expansion of second residences as in Armação dos Buzios, Cabo Frio, Arraial do Cabo, Saquarema and Maricá with a sharp increase after the construction of a bridge over the Guanabara Bay on 1974, allowing an easy and rapid connection between the city of Rio de Janeiro and the east coast, stimulating the tourism, the expansion of the metropolitan area of Niterói and the urbanization of the coastal area in general. Northward of Cape Frio, the exploration of offshore oil in the Campos Basin at the end of the decade of 1970, with the city of Macaé as the main hub, triggered an additional boom of occupation with expansion to the town of Rio das Ostras. The construction of houses and buildings in the immediate proximity to the beaches, as a valued location in the urbanization process, resulted in a vulnerability which became apparent after the localized destruction of properties through coastal erosion after a few extreme events. The coastal vulnerability tends to increase with climate changes due to the expected increase of intensity and frequency of storms as also the increase of the sea level. In this sense, the possibility of protection through beach nourishment has been suggested with some frequency which focuses on the necessity of an inventory of suitable sources of sand. This paper presents an initial approach to identify potential sources of suitable material on the inner continental shelf in front of the east and south-eastern coast of the state of Rio de Janeiro. For this purpose the grain size characteristics of sands of the different urban beaches were compared with the characteristics of bottom sediments of the inner continental shelf. Sediments were collected at the beach face of the potentially most endangered beaches and submitted to a conventional grain size analysis through dry sieving. The grain size distribution of the inner continental sediments were already available from prior expeditions. The comparison and classification of compability was made through the applications of the overfill ratio diagram from James (1975) which allows an evaluation of the amount of borrow material which will be retained on the beach in relation of the amount of sand deposited, considering the mean grain size and standard deviation of the beach and of the borrow material. Eleven areas offshore of the 200 km long coastline were identified, representing areas to be submitted to a detailed investigation through seismic profiling and coring in order to evaluate the amount of material available for beach nourishment followed by an evaluation of the impact of the morphological modification of the sea floor over the wave propagation as also over the impact of dredging to the benthic community.

Keywords: Beach Nourishment, Borrow Areas, Suitable Sediments, East and South-Eastern Coast of the State of Rio de Janeiro

1. INTRODUÇÃO

A faixa urbanizada da orla na costa leste e sul-oriental do estado do Rio de Janeiro sofre constantemente com a destruição de calçadas, ruas, muros e casas em eventos oceanográficos extremos. Essas construções, na maior parte dos casos, estão localizadas muito próximas ao limite com a praia, dentro da faixa de não edificação prevista no Projeto Orla do Ministério do Meio Ambiente (Muebe, 2004).

A região apresenta forte crescimento populacional com as principais atividades econômicas associadas à exploração de petróleo nas cidades de Macaé e Rio das Ostras, ao turismo de veraneio e de segunda residência na Região dos Lagos (entre Maricá e Armação de Búzios), e da área de expansão da região metropolitana de Niterói.

A identificação, na plataforma continental, de depósitos de material semelhante ou levemente mais grosso do que o original, para recuperação de praias como opção de mitigação representa uma alternativa estratégica para manter a função de proteção exercida pelas mesmas e de seu uso para o lazer.

Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivo identificar, de forma preliminar, a partir da distribuição granulométrica dos sedimentos de fundo, a localização de potenciais jazidas de areia na plataforma continental interna, compatíveis com as características granulométricas

das diferentes praias urbanas localizadas entre as cidades de Niterói e Macaé.

Para ser explorado, o ideal é que a jazida offshore deva estar situada não muito distante da praia a ser recuperada para minimizar os custos do projeto, porém em profundidades superiores à profundidade de fechamento para que alteração da morfologia devido à escavação, não interfira na propagação das ondas e nas condições hidrodinâmicas do perfil submarino ativo. O limite submarino sugerido por Muebe (2004) para a orla é a profundidade de -10m, pois estaria próximo à profundidade de fechamento de praias expostas, podendo variar em certos casos, dependendo do clima de ondas, da geomorfologia e da característica dos sedimentos.

2. ÁREA DE ESTUDO

O litoral do estado do Rio de Janeiro se alinha, grosso modo, ao longo de dois segmentos distintos, formando o cabo Frio o vértice destes segmentos. Portanto nesse trabalho, optou-se por dividir o litoral estudado em dois setores: Da barra leste da baía da Guanabara até Arraial do Cabo e de Arraial do Cabo até Macaé (Figura 1).

O primeiro setor possui orientação leste - oeste que o torna exposto às ondas de tempestade provenientes do quadrante sul (variando de sudeste a sudoeste). Em sua porção ocidental

próximo a desembocadura da baía da Guanabara em Niterói, os maciços costeiros se aproximam da costa formando praias separadas por promontórios rochosos. Em direção ao cabo Frio, a planície costeira se torna mais larga e caracteriza-se por possuir extensos arcos de praia associados à morfologia de duplos cordões litorâneos dispostos paralelamente entre si e separados por um conjunto de lagunas. Esse sistema laguna-barreira impede que o aporte continental alcance o oceano (Muehe et al., 2006; Muehe, 2011).

O segundo compartimento vai desde o cabo Frio até a cidade de Macaé, e possui orientação preferencial aproximadamente de nordeste - sudoeste, sendo mais exposto às ondas de tempo bom, vindas do quadrante leste. Ondas de tempestades provenientes do quadrante sudeste também atingem diretamente certas localidades.

Por ser uma costa recortada, com a presença de penínsulas e embaixamentos como Búzios e Rio das Ostras, apresenta diferente exposição às ondas, possuindo trechos protegidos e expostos. Neste setor, alternam-se planícies costeiras e promontórios rochosos.

A área é exposta a uma regime de micro-maré com amplitudes máximas da ordem de 1,5m. O transporte litorâneo de sedimentos é bimodal, com ondas de tempestade vindas do quadrante sul associadas à penetração de frentes frias e ondas geradas pelos ventos do quadrante leste, mais frequentes. Esta bimodalidade resulta numa tendência de transporte litorâneo nulo no segmento entre Niterói e Arraial do Cabo (Muehe & Corrêa, 1989) e uma tendência de transporte para o norte no segmento a norte do cabo Frio.

Efeitos erosivos significativos ocorrem por ocasião da penetração de frentes frias com ondas vindas de sudoeste a sudeste, com alturas, junto à costa, de 3m a 5m e períodos de 11s, aproximadamente, e podem ser agravados quando associados a situações de maré de sizígia, em que o empilhamento de água junto à costa pode chegar a quase 0,5m acima da previsão, como nas tempestades de maio de 2001 e abril de 2010. O resultado é a destruição de muros e de construções muito próximas à praia como ruas, quiosques e casas.

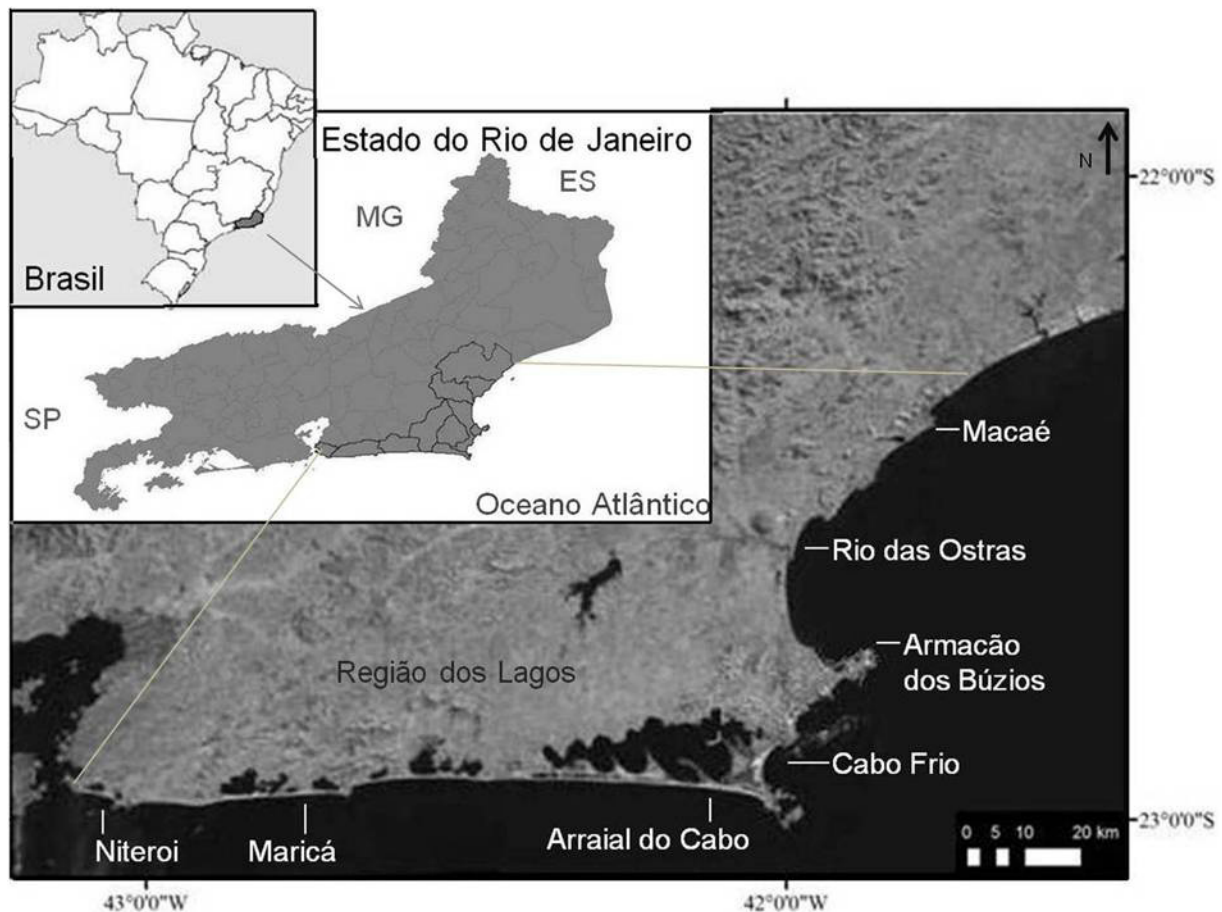


Figura 1. Área de estudo: Brasil com divisão em estados (canto esquerdo superior); o estado do Rio de Janeiro com a divisão em municípios e suas fronteiras (estados de São Paulo (SP), Minas Gerais (MG) e Espírito Santo (ES)); e imagem satélite Landsat com destaque para o trecho do litoral estudado entre as cidades de Niterói e Macaé.

Figure 1. Study area: Brazil with division into states (upper left), the state of Rio de Janeiro with the division into municipalities and their boundaries with the states of São Paulo (SP), Minas Gerais (MG) and Espírito Santo (ES); and Landsat image of the study area between the cities of Niterói and Macaé.

3. METODOLOGIA

De uma maneira geral a compatibilidade de sedimentos em um projeto de alimentação artificial se dá pelo grau em que o material da jazida irá se comportar comparado ao original da praia (Dean, 1974). Parâmetros estatísticos da distribuição granulométrica, como diâmetro médio ou mediano e desvio padrão, são utilizados para avaliar a compatibilidade entre sedimentos da jazida e o natural da praia. Porém, outros fatores também são levados em conta quando se compara o sedimento original da praia e da jazida para avaliar sua adequação ao projeto como a cor, a presença de material carbonático, o arredondamento dos grãos, e a ocorrência de grânulos e seixos.

Para a caracterização sedimentar das praias alvo, foram coletadas amostras da face de praia de 16 arcos - praias situados nos principais núcleos urbanos do trecho do litoral estudado. A escolha da face da praia se deu por ser esta a feição deposicional residual e que, portanto, melhor representa os sedimentos que permanecem no perfil. A análise da distribuição granulométrica foi feita por peneiramento a seco em intervalos de peneira de 0,5φ (Φ), após a lavagem, secagem para retirada dos sais solúveis e queima do carbonato de cálcio (CaCO₃) através de ataque com ácido clorídrico a 20%. Os parâmetros estatísticos das distribuições foram calculados segundo método de Folk & Ward (1957), empregando o software ANASED 5.0. Para fins de comparação das amostras de praia com amostras de sedimentos da plataforma continental foram considerados o diâmetro médio dos grãos (Mz_φ) e o desvio padrão (σ_φ).

Os dados granulométricos dos sedimentos superficiais da antepraia e plataforma continental interna entre Niterói e Macaé são secundários, de campanhas oceanográficas pretéritas, e foram coletados através do amostrador do tipo Van Veen ou draga tipo Gibbs (Albino, 1994; Fernandez & Muehe, 1995; Machado, 2010; Muehe, 1989; Muehe & Carvalho, 1993; Saavedra & Muehe, 1993; Silva, 1985; Souza, 1991). Tais dados foram digitalizados, somando um total de 1283 pontos de coleta que vão desde a barra leste da Baía da Guanabara até o norte da cidade de Macaé.

O mapeamento da distribuição espacial do diâmetro médio granulométrico, como primeiro passo para a identificação da localização de areias compatíveis para alimentação artificial foi efetuado através do programa Surfer 9.0 (Golden Software Inc.), utilizando método de Krigagem para interpolação dos dados. Em seguida, foram delimitadas áreas que representam potenciais estoques sedimentares para utilização em projetos de recuperação das praias da região.

A identificação de ocorrências de areias compatíveis à recuperação de praias foi realizada através do emprego do diagrama de James (1975), reproduzido no Shore Protection Manual (CERC, 1984) que fornece, a partir da comparação entre as médias granulométricas e o desvio padrão das amostras da praia e da jazida, uma estimativa da relação entre o volume de areia que permanece e o volume colocado, chamado Fator de Enchimento (R_A) (Krumbein & James, 1965). Segundo Menezes (2002) valores de R_A superiores a 2, normalmente inviabilizam o uso do sedimento em projetos de alimentação de praia.

A Figura 2 reproduz o diagrama de James (1975) para

a obtenção gráfica do Fator de Enchimento a partir das seguintes relações:

$$(Mz_{\phi b} - Mz_{\phi n}) / \sigma_{\phi n} \quad \text{e} \quad \sigma_{\phi b} / \sigma_{\phi n}$$

Onde:

R_A = Fator de Enchimento, relação entre o volume estimado, em metros cúbicos, de material dragado necessário para produzir um metro cúbico de material na praia.

Mz_φ = diâmetro granulométrico médio em Φ;

σ_φ = desvio padrão da distribuição granulométrica em Φ, sendo:

b = índice subscrito referente aos sedimentos da jazida;

n = índice subscrito referente aos sedimentos naturais da praia

Nesse estudo foram utilizados os valores médios das médias e desvios padrão das amostras sedimentares da jazida

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Granulometria das praias alvo e de áreas offshore com potencial exploratório entre Niterói – Maricá

A distribuição do diâmetro médio dos sedimentos superficiais da plataforma continental entre Niterói e Arraial do Cabo é predominantemente composta por areias de granulação média e grossa, com a presença de areias finas e muito finas, além de silte e argila, próximo à Arraial do Cabo e nas zonas mais profundas (Figura 3).

Das quatro praias de Niterói estudadas, Piratininga e Icaraí são formadas por areias médias moderadamente selecionadas. São Francisco e Charitas de areias finas, sendo a primeira moderadamente selecionada e a segunda bem selecionada. Ao largo da costa da cidade de Niterói, junto à desembocadura da baía da Guanabara, três áreas de depósitos sedimentares superficiais de areia média (áreas 1, 3 e 4) e uma de areia fina (área 2) foram demarcadas.

Em Maricá, a praia de Itaipuaçu é composta por areia muito grossa e moderadamente selecionada, enquanto que a praia da Barra de Maricá é de areia média bem selecionada. Ambas estão expostas às ondas de alta energia provenientes do quadrante sul. Ao longo do extenso arco praias alternam-se trechos mais críticos de erosão em áreas urbanizadas, com outros menos vulneráveis. Lins-de-Barros (2005) analisou os efeitos da tempestade de maio de 2001 na praia da Barra de Maricá, calculando prejuízos em construções na ordem de US\$ 100.000 por quilômetro de praia (Figura 4). Ao largo deste litoral, próximo à profundidade de -20 m, observou-se a presença de duas grandes áreas de depósitos de areia grossa (áreas 5 e 6) (Figura 5).

Para as três praias da Baía da Guanabara (Icaraí, São Francisco e Charitas) os valores de R_A encontrados foram entre 1 e 1,2. Sedimentos das áreas 1, 3 e 4 na plataforma continental interna demonstraram ser compatíveis com as areias da praia de Icaraí. As praias de São Francisco e Charitas apresentaram maior compatibilidade com as areias finas da área 2. Já a areia da praia de Piratininga, quando comparada aos sedimentos da área 1, apresentou valor de R_A mais elevado (menor compatibilidade), entre 1,2 e 1,4 (Tabela 1).

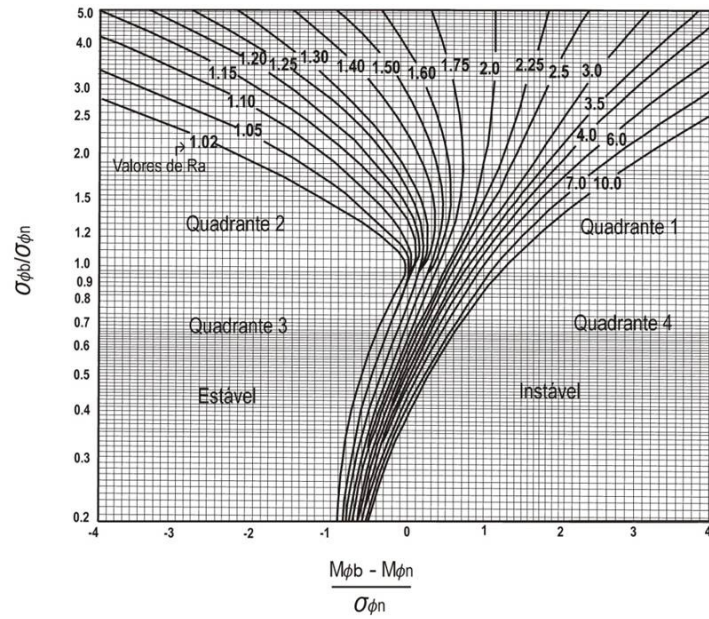


Figura 2. Diagrama do Fator de Enchimento (R_λ) em função da média e desvio padrão dos sedimentos naturais da praia e da jazida (traduzido CERC, 1984).

Figure 2. Isolines of the overfill ratio (R_λ) for values of mean (ϕ) and standard deviation (ϕ) (translated from CERC, 1984).

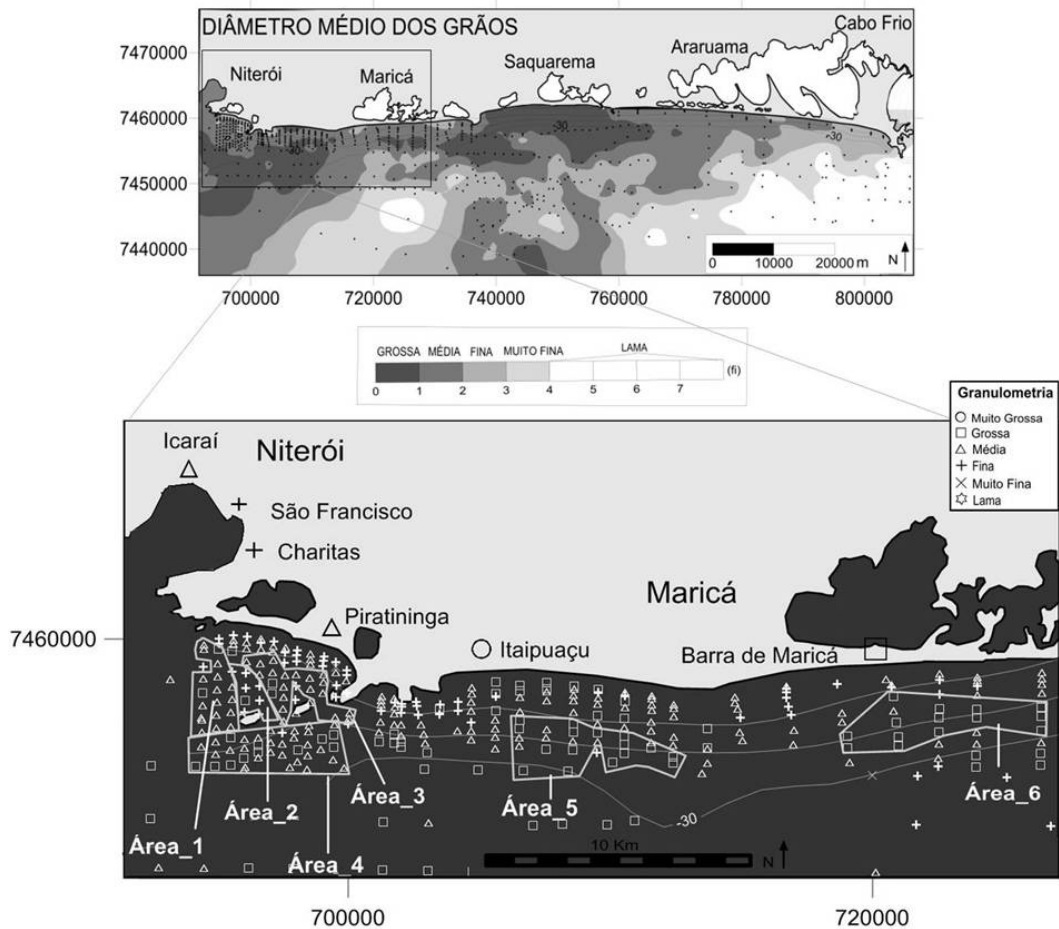


Figura 3. Localização de áreas com potencial de exploração para utilização em projetos de recuperação de praias entre Niterói e Maricá.

Figure 3. Location of potential sources for beach nourishment between Niterói and Maricá



Figura 4. Destruição de muro na praia de Piratininga em Niterói (A) e casas na orla da Barra de Maricá (B) após ressaca de maio de 2001.
Figure 4. Collapse of a sea-wall at Piratininga Beach in Niterói (A) and destruction of houses in Barra de Maricá (B) after the storm of May 2001.

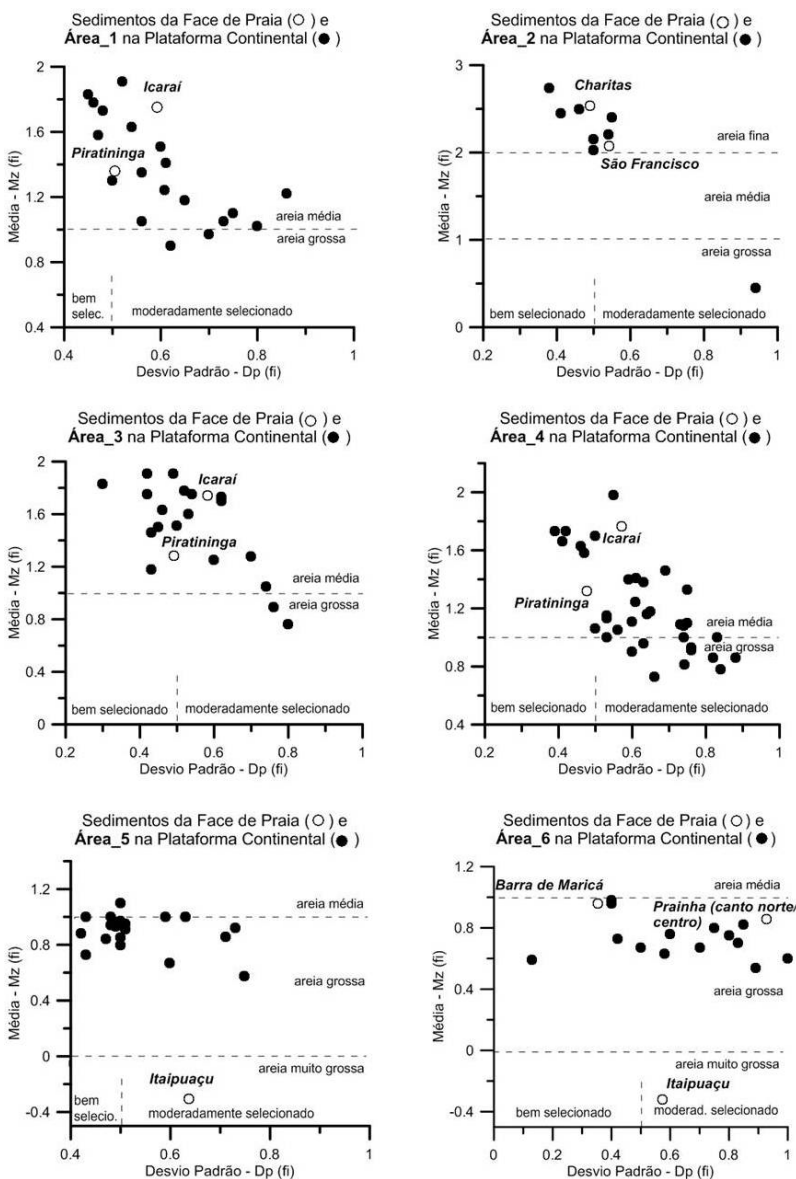


Figura 5. Gráficos de correlação entre média e desvio padrão dos sedimentos da face da praia e plataforma continental interna das áreas 1 a 6.

Figure 5. Graphic correlation between mean and standard deviation of sediments from the beach face and inner continental shelf (areas 1 to 6).

Tabela 1. Classificação textural das praias alvo entre Niterói e Maricá e Fator de Enchimento de áreas offshore potencialmente compatíveis para empréstimo.

Table 1. Grain size classification of beaches and offshore areas between Niterói and Maricá with related overfill ratio.

Praia - Cidade	Granulometria Face da Praia	Potenciais Áreas de Empréstimos	Fator de Enchimento
Icarai - Niterói	Areia Média Mod. Seleccionada	Área 1, 3 e 4	1 - 1,2
São Francisco - Niterói	Areia Fina Mod. Seleccionada	Área 2	1 - 1,2
Charitas - Niterói	Areia Fina Bem Seleccionada	Área 2	1 - 1,2
Piratininga - Niterói	Areia Média Mod. Seleccionada	Área 1	1,2 - 1,4
Itaipuaçu - Niterói	Areia Muito Grossa Mod. Seleccionada	Área 5 e 6	> 2
Barra de Maricá - Maricá	Areia Grossa Bem Seleccionada	Área 6	1 - 1,2

Ao largo do litoral de Maricá, nenhuma das duas áreas apresentaram sedimentos compatíveis com a areia muito grossa da praia de Itaipuaçu, com valores de R_A superiores a 2 inviabilizando o projeto. Já a praia de Barra de Maricá apresentou boa correlação com sedimentos da área 6, com R_A calculado na faixa entre 1 e 1,2 (Tabela 1).

4.2. Granulometria das praias alvo e de áreas offshore com potencial exploratório entre Cabo Frio e Macaé.

No setor entre Cabo Frio e Macaé nota-se maior influência, em regiões da plataforma continental interna próxima à costa, de areias finas e muito finas além de frações

de silte e argila (Figura 6). Estes sedimentos estão associados às fontes fluviais mais presentes neste trecho do litoral, como os rios Una (Armação dos Búzios), São João (Casimiro de Abreu), Macaé (Macaé) e o maior deles, o rio Paraíba do Sul (São João da Barra).

Os setores norte e centro da Prainha em Arraial do Cabo são compostos por areia predominantemente grossa, moderadamente selecionada e com elevada presença carbonática (cerca de 37% de CaCO_3). Já no canto sul, os sedimentos apresentam características diferentes do restante da praia, onde predominam areias finas e bem selecionadas. Neste trecho, casas estão situadas na berma da praia.

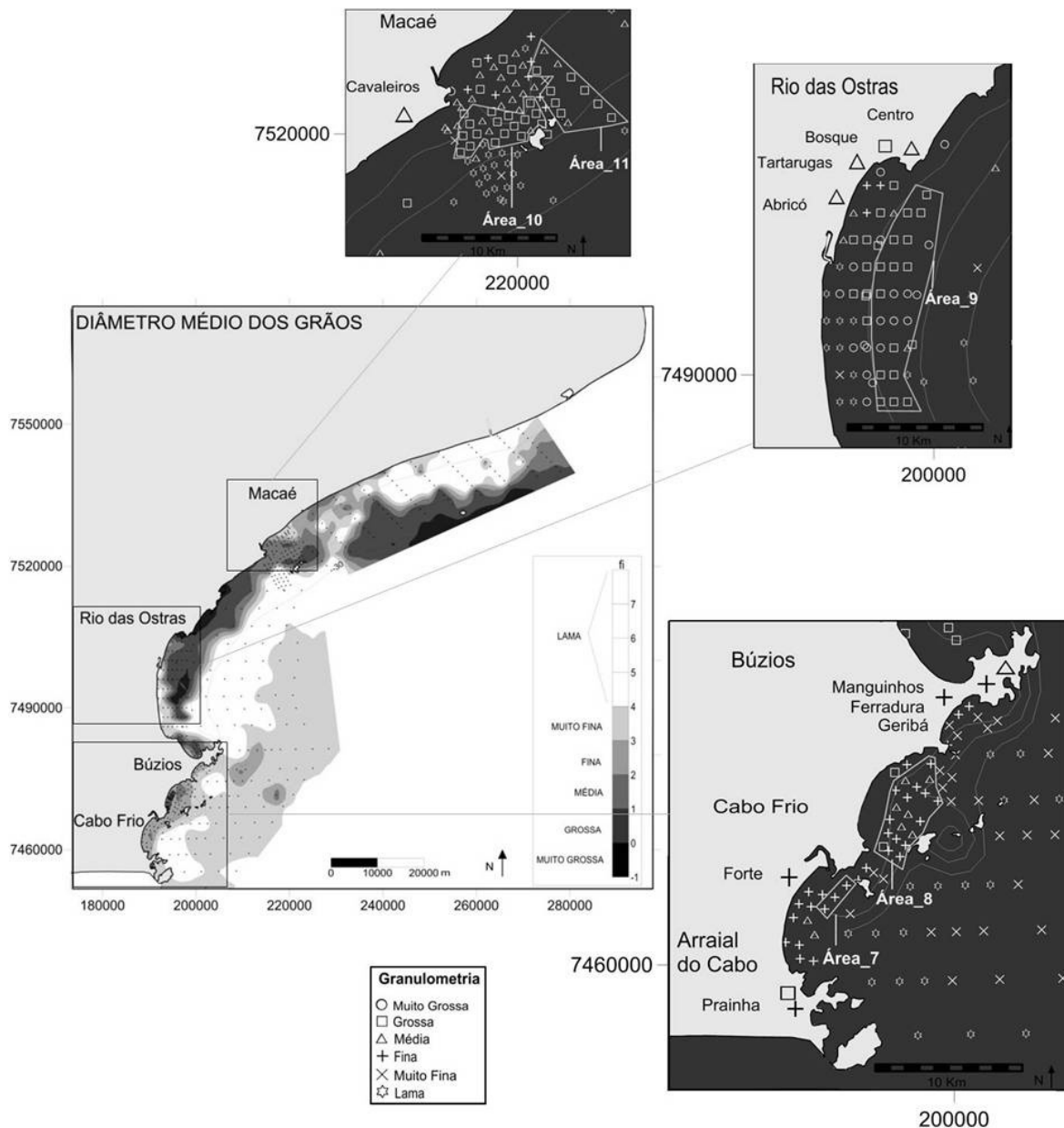


Figura 6. Localização de áreas com potencial de exploração para utilização em projetos de recuperação de praias entre Cabo Frio e Macaé

Figure 6. Location of potential sources for beach nourishment between Cabo Frio and Macaé

Na praia do Forte em Cabo Frio, o segmento norte do arco-praial, é constituído por areia fina bem selecionada e de coloração muito clara. Este é um segmento crítico, bastante urbanizado que constantemente sofre com a destruição do calçadão pela ação de ondas de alta energia provenientes de sudeste e su-sudeste principalmente (Figura 7, lado esquerdo).

As três praias da península da Armação dos Búzios possuem elevada presença carbonática com percentagens em torno de 30% de carbonato nas amostras. Manguinhos e o canto leste de Geribá são predominantemente de areias

finas bem selecionadas, enquanto que a praia da Ferradura de areia média moderadamente selecionada.

Todas as praias possuem casas localizadas dentro do perfil ativo e faixa de areia bem estreita. Em Manguinhos já não há mais faixa de areia durante situações de maré alta e as ondas atingem diretamente os muros das casas (Lins-de-Barros, 2010) (Figura.7, lado direito).

Entre a costa de Cabo Frio e Búzios, duas áreas, predominantemente de areia fina foram delimitadas, as áreas 7 e 8, sendo a última de areia fina com a presença de areia média (Figura 8).



Figura 7. Erosão da base do calçadão na Praia do Forte em Cabo Frio, destruído após ressaca de Abril de 2010 (A) e muro de casa sobre perfil ativo da praia de Manguinhos, em Búzios (B).

Figure 7. Erosion of the beach and collapse of the walkway at Praia do Forte in Cabo Frio during the April 2010 storm (A) and a wall build inside the active beach profile at Manguinhos Beach, in Armação dos Búzios (B).

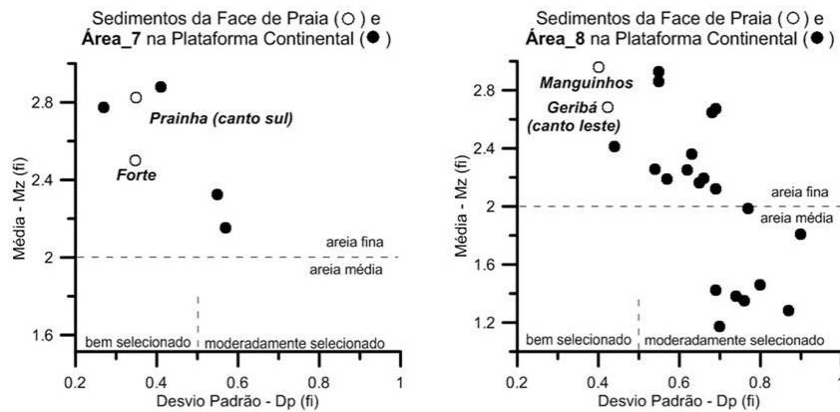


Figura 8. Gráficos de correlação entre média e desvio padrão dos sedimentos da face da praia e plataforma continental interna das áreas 7 e 8

Figure 8. Graphic correlation between mean and standard deviation of sediments from the beach face and inner continental shelf (areas 7 and 8).

O meio e o canto norte da Prainha de Arraial do Cabo somente apresentaram compatibilidade com os sedimentos da área 6 próxima a Maricá, bem distante do litoral de Arraial do Cabo, com valores de R_A entre 1 e 1,2. Já o canto sul que apresenta material mais fino, os sedimentos apresentaram ser compatíveis aos sedimentos da área 7, com valor de R_A entre 1 e 1,2 (Tabela 2).

Para a praia do Forte em Cabo Frio, foi encontrado o valor de R_A entre 1,2 e 1,4 quando comparado aos sedimentos da área 7. Em Búzios, os sedimentos da área 8 demonstraram ser compatíveis com as areias das praias de Manguinhos e Geribá (canto leste), com valores de R_A entre 1 e 1,2. A praia da Ferradura possui sedimentos compatíveis somente com as areias da área 9, mais distante do local, próxima a Rio das Ostras, com R_A entre 1 e 1,2 (Tabela 2).

Em Rio das Ostras, as quatro praias apresentaram granulometria semelhante. As praias do Abricó, Tartaruga e Centro são constituídas por areias médias e moderadamente selecionadas. Já na praia do Bosque predominam areias grossas mal selecionadas.

A praia da Tartaruga possui casas na retaguarda, algumas já destruídas por ação das ondas de tempestade E na praia do Abricó a comparação dos perfis realizados em levantamentos do Laboratório de Geografia Marinha – UFRJ, revelou em quase 10 anos um recuo da escarpa da praia do Abricó de 10 metros (Lins-de-Barros, 2010) (Figura 9).

Por fim, a praia dos Cavaleiros em Macaé, é composta por areias médias moderadamente selecionadas (Figura 10). Também é comum a destruição pelas ondas, do calçadão da principal praia da cidade.

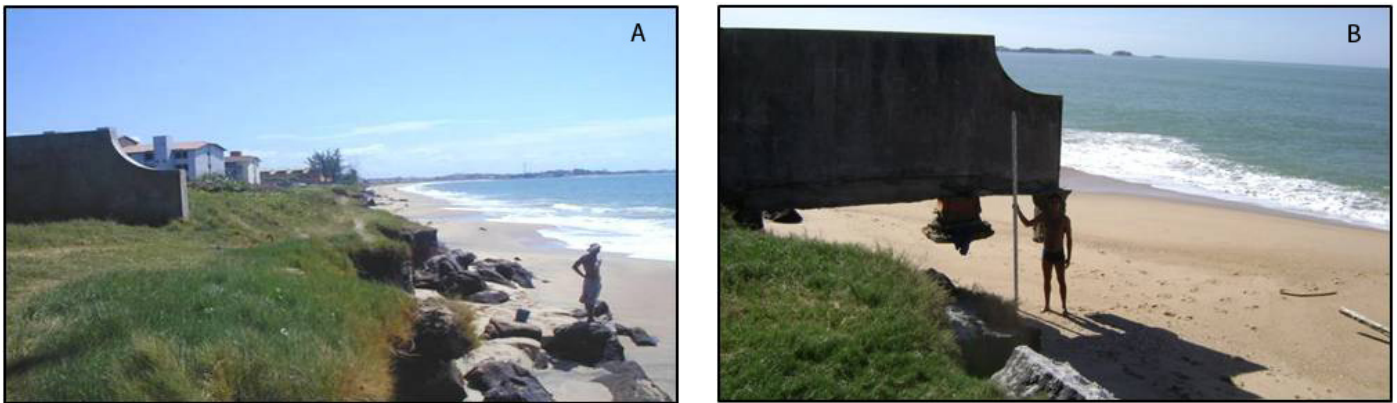


Figura 9. Recuo da escarpa em 11 anos na praia do Abricó em Rio das Ostras. Foto A tirada em 1999 e B em 2010.

Figure 9. Retrogradation of the backshore scarp during a period of 11 years at Abricó Beach in Rio das Ostras. A - the situation in 1999; B - in 2010

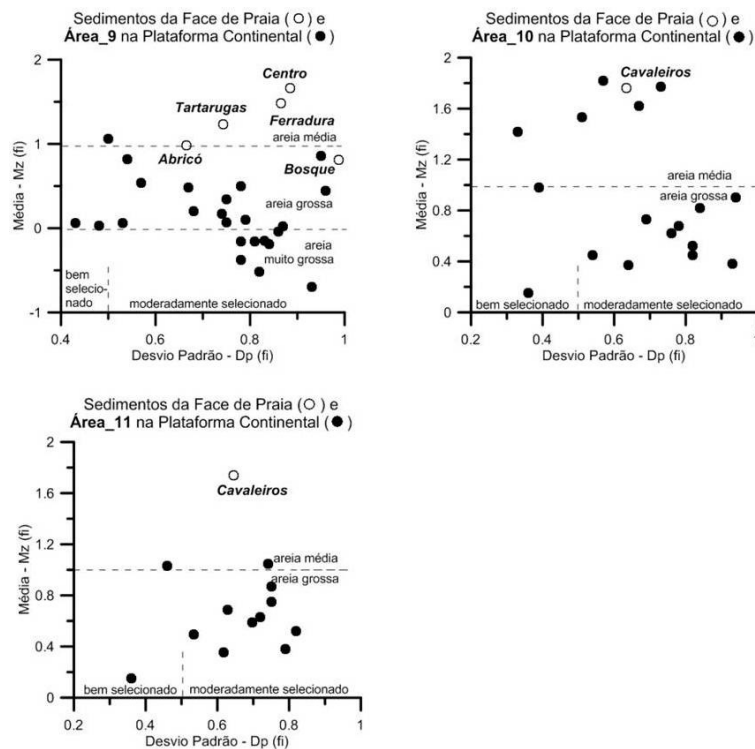


Figura 10. Gráficos de correlação entre média e desvio padrão dos sedimentos da face da praia e plataforma continental interna das áreas 9 a 11.

Figure 10. Graphic correlation between mean and standard deviation of sediments from the beach face and inner continental shelf areas (areas 9 to 11).

Ao longo do embaçamento que vai desde o cabo Búzios à Rio das Ostras, entre as linhas batimétricas de -10m e -20m, ocorre um grande sítio de depósitos de areia grossa e muito grossa (área 9). Os sedimentos da grande área demarcada na plataforma, demonstraram ser compatíveis com as areias de todas as praias estudadas de Rio das Ostras, apresentando valores de R_A entre 1 e 1,2 (Tabela 2).

Ao largo da orla de Macaé, foram identificadas duas potenciais áreas com areia grossa e média (áreas 10 e 11). Os sedimentos dessas duas áreas apresentaram compatibilidade com as areias da praia dos Cavaleiros, com R_A na ordem de 1 a 1,2 (Tabela 2).

Tabela 2. Classificação textural das praias alvo entre Arraial do Cabo e Macaé e Fator de Enchimento de áreas offshore potencialmente compatíveis para empréstimo.

Table 2. Grain size classification of beaches and offshore areas between Arraial do Cabo and Macaé with related overfill ratio.

Praia - Cidade	Granulometria Face da Praia	Potenciais Áreas de Empréstimos	Fator de Enchimento
Prainha (sul) - Arraial do Cabo	Areia Fina Bem Selecionada	Área 7	1 - 1,2
Prainha (norte) - Arraial do Cabo	Areia Grossa Mod. Selecionada	Área 6	1 - 1,2
Forte - Cabo Frio	Areia Fina Bem Selecionada	Área 7	1,2 - 1,4
Geribá (leste) - Búzios	Areia Fina Bem Selecionada	Área 8	1 - 1,2
Ferradura - Búzios	Areia Média Mod. Selecionada	Área 9	1 - 1,2
Manguinhos - Búzios	Areia Fina Bem Selecionada	Área 8	1 - 1,2
Abriçó - Rio das Ostras	Areia Média Mod. Selecionada	Área 9	1 - 1,2
Tartarugas - Rio das Ostras	Areia Média Mod. Selecionada	Área 9	1 - 1,2
Bosque - Rio das Ostras	Areia Grossa Mal Selecionada	Área 9	1 - 1,2
Centro - Rio das Ostras	Areia Média Mod. Selecionada	Área 9	1 - 1,2
Cavaleiros - Macaé	Areia Média Mod. Selecionada	Área 10 e 11	1 - 1,2

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As dezesseis praias estudadas apresentaram alta variedade granulométrica entre si. Os valores do diâmetro médio dos grãos variaram desde $2,81\Phi$ (areia fina) na praia de Manguinhos em Búzios até $-0,34\Phi$ (areia muito grossa) na praia de Itaipuaçu em Maricá. As praias do setor leste do estado, entre Arraial do Cabo e Macaé, apresentaram teores de material carbonático em sua composição ao contrário das amostras das praias do setor sul-oriental. No total, onze áreas foram delimitadas na plataforma continental interna entre as profundidades de -10m e -30m com depósitos de diferentes granulometria - areia fina, média, grossa e muito grossa.

A identificação de locais com sedimentos compatíveis para recuperação de praias é o primeiro passo para a etapa seguinte de avaliação do volume disponível para exploração. Para tanto é necessário a realização de perfis sísmicos para identificação da espessura, seguido de testemunhagem para obtenção de amostras de subsuperfície. Trabalhos disponíveis sobre perfilagem sísmica rasa na área de estudo são escassos e geralmente não recobrem a plataforma continental interna próxima à costa, nem possuem como objetivo a cubagem de jazidas. Para este fim específico foi realizado um levantamento entre Piratininga e Itaipuaçu, ao longo da isóbata de -20m, onde foi constatada a ocorrência de espessa camada de areia de características homogêneas e de espessura superior a 2m, profundidade considerada no referido estudo como limite de dragagem (Siqueira, 2010). Segundo informação pessoal da autora há espessura de até 10m ou mais, cujo limite não pôde ser determinado por falta de penetração do pulso sísmico. A ocorrência de espessos depósitos holocênicos arenosos, na plataforma continental interna, entre o cabo Frio e a Baía de Guanabara, foi também identificada por Maia *et al.* (2010).

As praias de Itaipuaçu em Maricá e o meio e canto norte da Prainha de Arraial do Cabo por serem constituídas por areias muito grossa e grossa respectivamente, não apresentaram nenhuma área próxima favorável para extração de sedimentos compatíveis para recuperação. Sítios mais distantes na plataforma continental interna teriam de ser explorados, aumentando o custo final da obra. As demais praias possuem ao largo de seus litorais áreas de depósitos de sedimentos que provavelmente poderiam suprir à necessidade das mesmas.

Sendo assim, projetos de alimentação artificial de praia se justificam em locais onde a urbanização se apresenta consolidada e vulnerável, ou que tenham significativa importância econômica e/ou de utilidade pública, como o turismo e o lazer. Como primeira aproximação, o mapeamento do diâmetro médio dos sedimentos superficiais da plataforma continental interna vem a contribuir como subsídio para subseqüentes etapas na avaliação de jazidas, como a determinação da espessura explorável do depósito, além de outros estudos de caráter ambiental como os impactos sobre a comunidade bentônica e sobre a hidrodinâmica local.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho resultou de recursos obtidos através do grant CNPq Proc. nº 304165/2009-3 e de Bolsa de Pós-Graduação da CAPES. Estendemos nossos agradecimentos à REDE CLIMA pelo fornecimento de uma estação de trabalho e um notebook, e ao Centro de Estudos de Geologia Costeira e Marinha - CECO/ UFRGS, pela utilização do Laboratório de Sedimentologia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albino, J. (1993) - *Morfodinâmica e processos de sedimentação nas praias da Barra de São José do Barreto, Macaé* – RJ. 80p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. *Não Publicado*
- CERC (1984) – *Shore Protection Manual*. 4th. edition, U.S. Army Corps of Engineers Department of the Army. Waterways Experiment Station, Corps of Engineers. Coastal Engineering Research Center (CERC), Vicksburg, MS, U.S.A. DOI: OL3001149M.
- Dean, R.G. (1974) - Compatibility of Borrow Material for Beach Fills. *Coastal Engineering* (ISSN: 2156-1028), 14:1319-1330, American Society of Civil Engineers (ASCE), Reston, VA, U.S.A. <http://journals.tdl.org/icce/index.php/icce/article/download/2972/2637>
- Dean, R.G. (2002) - *Beach Nourishment: theory and practice*. 399p., World Scientific Publishing, Singapura. ISBN: 978-9810215484.
- Fernandez, G.B.; Muebe, D. (1995) - Cobertura sedimentar recente e batimetria da plataforma continental interna entre Macaé e o cabo Búzios - RJ. *VI Simpósio Nacional de Geografia Física e Aplicada. Anais. 1* :196-203.
- Folk, R.L.; Ward, W.C. (1957) - Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27(1):3-26. [http://www.er.uqam.ca/nobel/aqua1/articles/Folk_Ward_27\(1\)-3.pdf](http://www.er.uqam.ca/nobel/aqua1/articles/Folk_Ward_27(1)-3.pdf)
- James, W.R. (1975) - Techniques in Evaluating Suitability of Borrow Material for Beach Nourishment. 81p., U.S. Coastal Engineering Research Centre, US Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, USA.
- Krumbein, W.C.; James, W.R. (1965) - A lognormal size distribution model for estimating stability of beach fill material. 17p., United States Army Coastal Engineering Research Center, Technical Memorandum 16, Washington, DC, U.S.A.
- Lins-de-Barros, F.M. (2005) - *Risco e Vulnerabilidade à Erosão Costeira no Município de Maricá, Rio de Janeiro*. 147p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. *Não publicado*
- Lins-de-Barros, F.M. (2010) - *Contribuição metodológica para análise local da vulnerabilidade costeira e riscos associados: estudo de caso da Região dos Lagos, Rio de Janeiro*. 297p., Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. *Não publicado*.
- Machado, G.M.V. (2010) - Análise morfo-sedimentar da praia, antepraia e plataforma continental interna da linha de costa do Parque Nacional de Jurubatiba – Rio de Janeiro. *Quaternary and Environmental Geoscience* (ISSN: 2176-6142), 2(1):01-17, Curitiba, PR, Brasil. Disponível em <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/abequa/article/viewFile/13816/11703>
- Maia, R.M.C.; Reis, A.T.; Alves, E.C.; Silva, C.G.; Guerra, J.V.; Gorini, C.; Silva, A.; Arantes-Oliveira, R. (2010) - Architecture and stratigraphic framework of shelf sedimentary systems off Rio de Janeiro state, northern Santos Basin – Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, 58 (special issue, IGCP 526): 15-29. DOI: 10.1590/S1679-87592010000500003.
- Menezes, J.T. (2002) - *Caracterização morfológica e sedimentar do segmento praial Navegantes/Gravatá e sua ação sobre os esforços de recomposição da praia*. Dissertação de Mestrado, 114p., Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil. *Não publicado*
- Muebe, D. (1989) - Distribuição e caracterização dos sedimentos arenosos da plataforma continental interna entre Niterói e Ponta Negra. *Revista Brasileira de Geociências* (ISSN: 0375-7536), 19(1):24-36., São Paulo, SP, Brasil.
- Muebe, D.; Corrêa, C.H.T. (1989) - Dinâmica de praia e transporte de sedimentos ao longo da restinga da Maçambaba. *Revista Brasileira de Geociências* (ISSN: 0375-7536), 19(3):387-392. ISSN: 0375-7536.
- Muebe, D.; Carvalho, V.G. (1993) - Geomorfologia, cobertura sedimentar e transporte de sedimentos na plataforma continental interna entre a Ponta de Saquarema e o Cabo Frio (RJ). *Boletim do Instituto Oceanográfico*, 41:1-2. DOI: 10.1590/S0373-55241993000100001
- Muebe, D. (2004) - 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) e Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (MPO), Brasília, DF, Brasil. Disponível em http://www.mma.gov.br/estruturas/orla/_arquivos/11_04122008110506.pdf.
- Muebe, D.; Lima, C.F.; Lins-de-Barros, F.M. (2006) - Rio de Janeiro. In: Muebe, D. (org.) *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. pp.265-296, Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM), Brasília, DF, Brasil. ISBN:8577380289. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_sigercom/_publicacao/78_publicacao12122008091134.pdf.
- Muebe, D. (2011) - Erosão costeira: Tendência ou eventos extremos? O litoral entre Rio de Janeiro e Cabo Frio, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 11(3):315-325. DOI: 10.5894/rgci282
- Saavedra, L.; Muebe, D. (1993) - Innershelf morphology and sediment distribution in front of Cape Frio – Cape Búzios embayment. *JOPS-I Workshop, Brazilian German Victor Hense Programme Joint Oceanographic Projects*, p. 29. Niterói, RJ, Brasil.
- Silva, A.G. (1985) - *Sedimentação e morfologia do fundo da plataforma continental interna nas proximidades da Ilha do Cabo Frio, RJ*. 126p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. *Não publicado*.
- Siqueira, N.M. (2010) - *Mapeamento de jazidas de areias quartzosas na plataforma continental interna do Rio de Janeiro: estudo de caso no trecho Fortaleza de Santa Cruz – Itaipuaçu*. 78p., Monografia de Graduação, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. *Não Publicado*.
- Souza, O.F. (1991) - *Associação de moluscos e equinodermos da plataforma continental interna entre Cabo Frio e Saquarema*. 142p., Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. *Não Publicado*