

## Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências Faculdade de Oceanografia

Nãnashaira Medeiros Siqueira

Identificação de areias siliciclásticas para a recuperação de praias em erosão através de métodos geofísicos acústicos

Rio de Janeiro 2013 Nãnashaira Medeiros Siqueira

# Identificação de areias siliciclásticas para a recuperação de praias em erosão através de métodos geofísicos acústicos

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação Oceanografia em da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Processos Oceanográficos na Interface Continente-Oceano.

Orientador Prof. Dr. Marcelo Sperle Dias

Rio de Janeiro 2013

### CATALOGAÇÃO NA FONTE UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

S618 Medeiros, Nãnashaira Siqueira. Identificação de areias siliciclásticas para recuperação de praias em erosão através de métodos geofísicos acústicos / Nãnashaira Medeiros Sigueira. -2013. 91 f. il. Orientador: Marcelo Sperle Dias. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Oceanografia. Bibliografia 1. Acústica submarina - Maricá (RJ) - Teses. 2. Geologia submarina - Teses. 3. Costa - Erosão - Maricá (RJ) - Teses. 4. Sedimentos (Geologia) - Maricá (RJ) -Teses. I. Sperle, Marcelo Dias. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Oceanografia. III. Título. CDU 551.463.2(815.3)

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese.

Assinatura

Data

Nãnashaira Medeiros Siqueira

# Identificação de areias siliciclásticas para a recuperação de praias em erosão através de métodos geofísicos acústicos

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Processos Oceanográficos na Interface Continente-Oceano.

Aprovado em 30 de julho de 2013. Banca Examinadora:

Prof. Dr. Marcelo Sperle Dias (Orientador) Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da UERJ

Prof.ª Dra. Josefa Varela Guerra Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da UERJ

Prof. Dr. Dieter Carl Ernst Heino Muehe Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFRJ

> Rio de Janeiro 2013

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe, Mônica Araujo. Por toda estrutura, confiança e incentivo oferecidos a mim. Por todo amor que sentimos uma pela outra. Por ter sido a grande responsável pela minha formação moral e crítica através dos valores a mim ensinados. Por ser minha melhor amiga e minha eterna parceira na vida.

#### AGRADECIMENTOS

Expresso meus agradecimentos a todos que contribuíram com a execução deste trabalho.

Ao meu orientador, Prof.º Dr. Marcelo Sperle, pela oportunidade de realizar este trabalho, pelo conhecimento passado, pelas sugestões, pelas críticas fundamentais, por todas as discussões técnicas sempre muito estimuladoras e principalmente pelo aprendizado e crescimento profissional.

Ao Prof.º Dr. Dieter Muehe pelo seu interesse neste estudo, por sua contribuição na estratégia de levantamento dos dados e pela disponibilização dos dados de amostras de sedimento.

Ao Prof.º Dr. Artur Ayres Neto por sua contribuição na análise dos dados sonográficos através do desenvolvimento do software Histog.

Aos amigos que participaram das campanhas para a coleta de dados: Marcelo Sperle, Matheus Graciano, Julio Fernandes e Robson Takanohashi.

Aos técnicos do Laboratório de Oceanografia Geológica, Leandro Nogueira e Núbia, pelo apoio durante a realização deste trabalho.

#### RESUMO

MEDEIROS, Nãnashaira Siqueira. Identificação de areias siliciclásticas para a recuperação de praias em erosão através de métodos geofísicos acústicos. 2013.
91 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

Devido a sua grande extensão latitudinal, a costa brasileira é influenciada por diferentes regimes climáticos e oceanográficos. Adicionalmente, a distribuição da população brasileira é caracterizada por uma alta concentração nas capitais litorâneas. Todos esses fatores levam à construção de inúmeras estruturas de engenharia que podem de alguma forma impactar o transporte de sedimento e consequentemente o balanço sedimentar de algumas praias. Uma das formas mais eficientes de recuperar esse balanço sedimentar é a alimentação artificial de praias, com sedimentos provenientes da plataforma continental com características semelhantes. Os métodos geofísicos acústicos permitem mapear de forma eficiente o fundo e o subfundo marinho para a busca de áreas fontes para a lavra de forma eficiente. O objetivo deste estudo é a identificação de padrões geoacústicos a partir de analises quantitativas e qualitativas, para a caracterização de áreas fontes de areias siliciclásticas compatíveis com sedimentos de praias em erosão na cidade do Rio de Janeiro. O mapeamento foi realizado na plataforma continental interna do Rio de Janeiro, em área adjacente à praia de Itaipuaçu (Maricá, RJ). As análises evidenciaram depósitos, localizados entre 19 e 30 metros, de areias com granulometria, textura e selecionamento em condições ideias para a recomposição de praias do Rio de Janeiro.

Palavras chave: Oceanografia geológica. Métodos geofísicos. Areias quartzosas. Erosão costeira.

#### ABSTRACT

The Brazilian coast is afected by different oceanographic characteristics, mainly due to its large latitudinal extention. Additionally, the distribution of the Brazilian population is characterized by a high concentration in the coastal capital. These facts generate a large number of coastal engineering structures that may impact the sediment transport and consequently the sediment balance in some beaches. All these factors impact some sand beaches and the best choice for its mitigation and recovering is the beach nourishment - with sediments from the continental shelf with similar characteristics. However to find a good place for dredging in the shelf, we need to use geophysical methods that allow to map the bottom and sub bottom environments more efficiently. The objective of this study is the identification of geoacoustics patterns, following qualitative and quantitative analyzes, for characterizing source areas of siliciclastic sands in ideal conditions for recovering eroded beaches in Rio de Janeiro. The mapping was done in the shelf in front of Itaipuaçu beach (Maricá, RJ). The quantitative results showed well sorted median sand placers seaward of the closure depth, located between 19 and 30 meters, ideal for Rio's beaches recovering.

Keywords: Geological oceanography. Geophysical methods. Quartz sands. Eroded beaches.

#### LISTA DE FIGURAS

Figura 8 - Trecho do registro sísmico representativo de grande parte do perfil. .....40

Figura 14 - À esquerda, o amostrador de sedimentos Van Veen, e à direita imagens das amostras de sedimento coletadas para parametrizar os dados sonográficos....47

Figura 21 - Análise de similaridade entre os parâmetros estatísticos dos padrões de cinza das imagens, apresentados na Figura 20, através da adequação de escala. .62

Figura 32 - Mapa de classificação dos padrões geacústicos (*superior*) e mapas comparativos do padrão E referente ao registro sonográfico (*inferior esquerda*) e sua interpretação (*inferior direita*) com sobreposição\* de parâmetros sedimentológicos

#### LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Informações sobre equipamentos de aquisição e softwares de processamentos dos dados
Tabela 2 - Exemplo de um registro de saída do Histog após a análise de umaimagem do registro sonográfico
Tabela 3 - Análise estatística dos histogramas.       59
Tabela 4 - Classificação do padrão geoacústico A em relação às imagens do registro sonográfico 1A 13A e análise sedimentológica das amostras #1 e #1371
Tabela 5 - Classificação do padrão geoacústico B em relação à imagem do registrosonográfico 2A e análise sedimentológica da amostra #272
<ul> <li>Tabela 6 - Classificação do padrão geoacústico C em relação às imagens do registro sonográfico 3A, 4A, 5A e 6A e análise sedimentológica das amostras #3, #4, #5 e #6.</li> <li>74</li> </ul>
Tabela 7 - Classificação do padrão geoacústico D em relação às imagens 7A e 8A         do registro sonográfico e análise sedimentológica das amostras #7 e #8.
<ul> <li>Tabela 8 - Classificação do padrão geoacústico E em relação às imagens 9A, 10A,</li> <li>11A e 12A do registro sonográfico e análise sedimentológica das amostras #9, #10, #11 e #12</li></ul>

	INTRODUÇÃO			
1	1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA			
1.1	1	Métodos geofísicos acústicos	17	
1.1	1.1	Ecobatimetria	19	
1.1	1.2	Sonografia de varredura lateral	19	
1.1	1.3	Sísmica rasa de alta resolução	20	
1.2	2	Formação de jazidas sedimentares	21	
1.3	3	Areias quartzosas: importância econômica e exploração	22	
1.4	1	Vulnerabilidade costeira	24	
1.5	5	Suporte governamental	31	
2	ÁR	EA DE ESTUDO	33	
2.1	1	Escolha da área de estudo	33	
2.2	2	Campanhas oceanográficas	38	
2.2	2.1	Equipamentos utilizados	44	
2.2	2.1.1	1 Sistema de posicionamento	44	
2.2	2.1.2	2 Ecobatimetro	44	
2.2	2.1.3	3 Sonar de varredura lateral	45	
2.2	2.1.4	4 Sísmica Rasa de Alta-Resolução	45	
2.2	2.1.5	5 Parametrização	47	
3	ME	TODOLOGIA	49	
3.1	1	Processamento dos dados geofísicos	49	
3.2	2	Processamento dos dados geológicos	50	
3.3	3	Análise dos dados	51	
4	RE	SULTADOS E DISCUSSÃO	63	
5	со	NCLUSÃO	85	
	RE	FERÊNCIAS	87	

# SUMÁRIO

#### INTRODUÇÃO

O litoral brasileiro possui cerca de 8.000km de comprimento estendendo-se em latitude desde a região equatorial do Hemisfério Norte até a região subtropical do Hemisfério Sul. Por sua vasta extensão latitudinal, o litoral brasileiro sofre influências de diversos regimes climáticos.

A partir de uma simples análise do litoral do estado do Rio de Janeiro é possível observar dois grandes segmentos com distintas orientações. O segmento ao norte do estado tem sua orientação Norte-Nordeste – Sul-Sudeste, já o segmento ao sul é orientado pelo sentido Leste-Oeste. O segmento de orientação Leste-Oeste está mais sujeito a flutuações climáticas devido às frequentes passagens de frentes frias e chegadas de *swells* derivados de tempestades das altas latitudes do Atlântico Sul (MUEHE, 2006).

Adicionalmente, a distribuição populacional de forma irregular ao longo do litoral gera uma alta concentração da população nas grandes capitais (NEVES e MUEHE, 2008). Consequentemente, trazem para essas regiões um grande número de obras que impactam o balanço sedimentar litorâneo como, por exemplo, quebramares, estabilização de canais de maré, acesso a terminais e portos, entre outras.

Por todos esses fatores, algumas praias são impactadas e sofrem um déficit no balaço sedimentar ao longo do tempo. Uma opção para recuperação da faixa de areia das praias é a recuperação da faixa de areias das praias, também conhecida como "engorda de praia", com a deposição de sedimentos de áreas fontes com características semelhantes ao sedimento local.

Os métodos geofísicos acústicos possibilitam a busca por áreas fontes através da investigação de características geológicas e geotécnicas na superfície do fundo e em subsuperfície de ambientes submersos de forma bastante eficaz. Suas principais vantagens são o baixo custo em relação ao porte do ambiente que é investigado e o grande número de informações que podem ser adquiridas em um levantamento.

Para a alimentação artificial de praias, umas das etapas mais importantes é a escolha da área fonte das areias (*sand search*), ou seja, identificar uma região com um volume adequado de sedimentos disponíveis para a lavra. Segundo Dean

(2002), mais de 95% dos sedimentos utilizados para a alimentação artificial de praias advém de fontes de sedimentos marinhos. As áreas fontes, em inglês chamadas de *borrow areas* ou *borrow pits*, após sua extração, devem estar localizadas relativamente próximas até mais ou menos algumas dezenas de quilômetros do seu destino final.

As áreas fontes devem dispor de uma porção disponível tanto em área quanto em volume. Geralmente, a extração ocorre em áreas de 1km<sup>2</sup> a 10km<sup>2</sup> e em profundidades na ordem de 2 a 10 metros (DEAN, 2002). Porém há de se observar as condições ambientais da região de lavra para a decisão do volume de material que será extraído, para que não seja ocasionado um impacto negativo irreversível e de alta magnitude na dinâmica sedimentar na região explorada.

Os sedimentos devem ser compatíveis com a área a ser recuperada e preferencialmente a região deve ser livre de afloramentos rochosos por questões operacionais. Prevendo o uso das areias para recuperação de praias cujo uso seja também recreativo, o material de alimentação deve conter um mínimo de argila e silte. O material para recomposição também deve ser limpo, livre de contaminantes (DEAN, 2002).

Artigos do Grupo de Pesquisa de Oceanografia Geológica (GPOG), no âmbito do projeto Erocosta, sobre a morfodinâmica de praias do Rio de Janeiro, mostram que as praias de Ipanema, Leblon, Grumari, Reserva, Prainha e Barra apresentam indícios de erosão e são compostas por areias siliciclásticas com granulometria de areia média, predominantemente (SPERLE, et al., 1999; KAJI et al., 2006; LOPES et al. 2006; PEREIRA et al., 2006). Dados do GPOG indicam que o trecho Ipanema – Leblon tenha sofrido uma perda nos últimos anos de 1 a 2 milhões de metros cúbicos.

O objetivo deste estudo é apresentar a identificação de forma eficiente de padrões geoacústicos, a partir de análises qualitativas e quantitativas, que caracterizem pacotes de áreas fontes de areias siliciclásticas em condições ideias para recuperação de praias em erosão.

Dessa forma, foi realizada uma investigação em uma região adjacente à praia de Itaipuaçu (Maricá/RJ) para a busca de áreas fontes de areias siliciclásticas compatíveis com praias em erosão no litoral da cidade do Rio de Janeiro. Cartas Sedimentológicas do REVIZEE (DIAS et al., 2004), indicam que a região possui uma cobertura sedimentar de textura areia.

A área de estudo foi escolhida a partir do trabalho de Medeiros (2010), no qual foi verificada uma área com potencial para servir como uma jazida de areias médias quartzosas. Após o mapeamento através de métodos geofísicos de alta resolução ao longo da isóbata de 20m entre em Niterói em Maricá, observou-se a existência de setores adjacentes à Praia de Itaipuaçu que poderiam ser áreas fontes de sedimentos para a recomposição de regiões litorâneas do Rio de Janeiro que apresentam indícios de erosão.

De acordo com o Projeto Orla, não são recomendadas atividades de mineração em profundidades menores que 10m. Esse limite é próximo à profundidade de fechamento encontrada em perfis de praias expostas, ou seja, a profundidade limite da parte ativa do prisma praial submerso (MUEHE, 2004).

Dados observados por Muehe (2004) indicam um valor 10,7m como a profundidade de fechamento para a praia de Itaipuaçu. Belligotti (2009) calculou a profundidade de fechamento dos perfis de praia de Piratininga e Itacoatiara e foram encontradas as profundidades médias de 11,7m e 13,4m, respectivamente.

De forma conservadora, o mapeamento foi realizado em profundidades maiores que 19m, já que não seria apropriado sugerir áreas para lavra com profundidades muito menores do que esta.

#### 1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 1.1 Métodos geofísicos acústicos

Existem atualmente no mercado, diversos equipamentos que funcionam a partir do método sísmico e a diferenciação entre eles ocorre basicamente na frequência e amplitude dos sinais acústicos emitidos. Com essas características são identificados como métodos geofísicos a ecobatimetria, a sonografia de varredura lateral e a sísmica rasa de alta-resolução (SOUZA, 2006).

A energia utilizada nesses métodos se propaga através das ondas mecânicas em meios elásticos. Para o entendimento do comportamento dessas ondas nos diversos meios por onde passam é necessária a compreensão de três princípios físicos básicos: Princípio de Huygens, Princípio de Fermat e Lei de Snell-Descartes.

O princípio de Huygnes afirma que cada ponto em uma frente de onda pode ser considerado como uma nova fonte de propagação ondas. Ou seja, dada a localização de uma frente de onda em um certo instante de tempo, futuras posições de frentes de onda podem ser encontradas a partir de cada ponto na primeira frente de onda como um nova fonte de propagação (TELFORD et al., 1990).

O princípio de Pierre Fermat considera para o caso de raios ópticos, mas igualmente aplicável para os raios sísmicos, que na reflexão de um raio sísmico sobre uma fronteira limite de dois meios com velocidades de propagação diferentes, o tempo de percurso, entre a fonte de incidência e a recepção do raio refletido, é mínimo (TELFORD et al., 1990).

A Lei de Snell-Decartes diz que na ocorrência da passagem de uma onda compressiva que passe por dois meios com densidades e velocidade de propagação distintas entre si, a razão entre o seno do ângulo de incidência e o seno do ângulo de refração é constante, como observado na fórmula abaixo:

$$\frac{\text{sen i}}{\text{sen r}} = \frac{\text{v1}}{\text{v2}} = n_{2,1}$$

Onde: **sen i** = seno do ângulo de incidência; **senr** = seno do ângulo de refração; **v1** = velocidade no meio 1; **v2** = velocidade no meio 2; **n** <sub>2,1</sub>= índice de refração relativo do meio em relação ao meio 1 (TELFORD et al., 1990).

A relação entre a energia transmitida e a refletida é representada através da impedância acústica. A impedância acústica é definida como sendo o produto entre a densidade de um meio e a velocidade de propagação da onda compressiva (LATIMER et al., 2000).

A velocidade de propagação das ondas sonoras varia de acordo com as propriedades físicas da água como a temperatura, salinidade e pressão. A velocidade do som aumenta com o aumento da temperatura, da salinidade e da profundidade (FOFONOFF e MILLARD Jr., 1983; KATSNELSON e PETNIKOV,1997).

Já a densidade dos sedimentos de fundo varia basicamente em função da mineralogia, da porosidade e do teor de água. Esses fatores variam localmente em maior escala, controlando assim de forma mais intensa a impedância dos sedimentos.

O coeficiente de reflexão é função do contraste de impedância acústica entre os meios por onde passam as ondas compressivas. Quanto maior o contraste, maior a quantidade de energia refletida. Assim, quanto maior a compactação dos sedimentos, menor o teor de água e menor porosidade, maior a reflexão da energia. Afloramentos rochosos apresentam mais altas refletividades acústicas do que sedimentos de fundo inconsolidados (com alta porosidade e saturação) (AYRES NETO, 2000).

E a variação da aparência do registro sísmico em função das características dos sedimentos (compactação, porosidade, presença ou não de gases ou fluídos, arranjo das estruturas internas, entre outros) denomina-se eco-caráter. A partir do pioneiro estudo de Damuth et al.(1975), diversos estudos vêm usando o conceito de eco-caráter como uma fermenta de extrema utilidade para a realização de mapeamentos de morfologias e texturas de sedimentos de fundo (DAMUTH e HAYES, 1977; DYER, 1986; FONTOURA, 2001; GLAISTER e NELSON, 1974; LIMA et al. 1999; THEILEN e FIGUEIREDO, 1996).

#### 1.1.1 Ecobatimetria

A Ecobatimetria se baseia na emissão de sinais acústicos de alta frequência através de monofeixes ou multifeixes. Os principais objetivos deste método são determinar a profundidade do fundo marinho com alta resolução e alta precisão, mapear a morfologia e o gradiente do fundo marinho. Dessa forma a ecobatimetria trabalha com altas frequências, entre 20 e 200 kHz. A frequência de operação deve estar de acordo com a profundidade do local do mapeamento. Os sinais acústicos são emitidos por um transdutor fixado na embarcação (BLONDEL, 2009).

A variação relativa à penetração do sinal no fundo depende de vários fatores relativos às caraterísticas do substrato. O sinal de retorno ao transdutor varia, principalmente, com a amplitude do sinal e com o comprimento de onda do sinal acústico emitido (FLOOD, 1980).

#### 1.1.2 Sonografia de varredura lateral

A Sonografia de Varredura Lateral é o método geofísico acústico ideal para o mapeamento da cobertura do fundo marinho com alta resolução. Através do método é possível mapeamento da cobertura sedimentar, morfologia do fundo e identificação de obstáculos. O método baseia-se nos princípios da propagação do som na água e sistema de reflexão a partir da emissão de ondas acústicas de alta frequência, em intervalos de tempo regulares (BLONDEL, 2009).

O sistema do sonar de varredura lateral permite a construção de imagens da superfície de fundo a partir das varreduras (*scans*) laterais. Isso é possível a partir da atuação de dois transdutores submersos, que apontam para as laterais da superfície de fundo em relação ao rumo da navegação. Os feixes emitidos pelo sonar de varredura lateral é bastante estreito, na direção paralela à navegação (raramente ultrapassando 2º) e largo na direção

perpendicular à rota de navegação (comumente da ordem de 40-50°) (BLONDEL, 2009; SOUZA, 2006).

Os mesmos transdutores de emissão do sinal acústico são também responsáveis pela recepção do sinal, oriundos da reflexão ou do *backscattering* na superfície de fundo, e atuam independentemente um do outro. Os transdutores, constituídos por geralmente conjuntos de pastilhas piezelétricas, formam a parte principal do sistema, já que são os responsáveis pela conversão da energia elétrica original em energia mecânica (vibrações) que irá se propagar na coluna d'água, e vice-versa, quando do retorno do sinal, na forma de energia mecânica, ao transdutor, após refletir na superfície de fundo (SOUZA, 2006).

São basicamente dois os mecanismos primários que permitem que o som emitido pelo sonar retorne ao transdutor: reflexão e *backscattering*. A reflexão está relacionada com o sinal que atinge a superfície de fundo e retorna diretamente ao transdutor. Já o *backscattering* está relacionado com a interação entre a energia do som e a textura do material da superfície de fundo. A quantidade de energia que retorna ao transdutor está diretamente relacionada com o tipo de pulso acústico emitido, com o tipo de fundo e suas propriedades acústicas (impedância acústica) (DAMUTH, 1975)

Como regra geral, quanto maior for o tamanho dos grãos, compactação dos grãos, perpendicularidade do relevo em relação ao feixe, maior será a refletividade do sinal de retorno. Um sedimento composto por areias grossas refletirão mais energia do que um sedimento lamoso, por exemplo. Ao mesmo tempo, um sedimento composto por um padrão morfológico marcante, como *sandwaves* por exemplo, terá a energia que mais refletida em um flanco e uma maior dispersão de energia em outro (AYRES NETO, 2000).

#### 1.1.3 Sísmica rasa de alta resolução

O principal objetivo desse método é a investigação acústica da estratigrafia do quaternário em áreas submersas. Assim os métodos de

perfilagem sísmica se diferenciam basicamente pelo grau de energia e frequência da fonte acústica utilizada. Sistemas de baixa frequência e alta energia são usados para investigação profunda e sistemas de alta frequência e baixa energia, são usados para investigação rasa.

As fontes acústicas utilizadas no sistema de sísmica rasa de altaresolução podem ser de potências intermediárias, como *minisparkers* e *boomers* e de baixa potência, do tipo SBP (*Subbottom Profilers*), *chirp* e sistemas paramétricos (*Parasound Systems*); entre outros.

Independente do método, a base conceitual é a mesma: são métodos indiretos de investigação que se utilizam o princípio da propagação das ondas acústicas na água, e exploram a existência de contrastes de impedância acústica entre as diferentes camadas existentes abaixo da superfície de fundo. Para cada interesse de estudo deve-se estabelecer uma velocidade de navegação, a fim de garantir a qualidade dos mesmos, pois velocidade de navegação influi na qualidade dos dados (DAMUTH e HAYES, 1977).

#### 1.2 Formação de jazidas sedimentares

As jazidas sedimentares são formadas a partir dos processos de geração dos sedimentos em conjunto com as condições de deposição dos mesmos. Os sedimentos litoclásticos são originados pelo intemperismo e erosão de rochas ígneas, metamórficas e sedimentares e podem ser transportados para os ambientes litorâneos e marinhos por agentes continentais (rios, geleiras, vento) ou mesmo por eventos de escorregamentos de encostas, em regiões costeiras de relevo acentuado, concentrando-se na base de escarpas que atingem diretamente o litoral. Por possuírem granulometria variável, incluindo desde areias finas (0,250 - 0,125mm) até seixos (64,0 - 4,0 mm), emprega-se comumente o termo de "granulado" para descrição deste material detrítico (SILVA et al., 2000).

Na maior parte dos ambientes marinhos e litorâneos do mundo, os granulados litoclásticos são compostos predominantemente por areias

quartzosas, também chamadas de areias siliciclásticas, em função da composição predominante de SiO<sub>2</sub>, e por outros minerais tais em menor proporção como feldspato, zirconita e ilmenita, bem como por fragmentos de rocha. Na linha de costa, os minerais mais resistentes, conhecidos como "resistatos", são concentrados pelos agentes marinhos, que promovem a deposição na foz de rios, planícies costeiras, praias e plataforma continental interna (SILVA et al., 2000). Na plataforma continental, a maioria dos depósitos litoclásticos é composta por areias relíquias, isto é, areias remanescentes de períodos glaciais em nível de mar baixo, como discutido por Emery (1952, 1968 apud SILVA et al. 2000).

Estas areias foram depositadas na plataforma continental, por processos continentais associados a canais fluviais, durante eventos pretéritos de regressão marinha que ocorreram durante os períodos glaciais. Nestas fases, quase toda a plataforma continental estava exposta e os depósitos fluviais e glaciais se estendiam até a atual plataforma continental externa, ou mesmo atingiam a região de quebra da plataforma e o talude continental através de cânions submarinos. Estes depósitos de nível de mar baixo podem ter sido parcialmente retrabalhados e afogados pelos diferentes eventos transgressivos que ocorreram durante o Período Quaternário, sendo então denominados de sedimentos "palimpsestos" (SWIFT et al., 1971 apud SILVA et al., 2000).

#### 1.3 Areias quartzosas: importância econômica e exploração

A importância econômica dos recursos minerais da Plataforma Continental Jurídica Brasileira (PCJB) está diretamente relacionada ao que a mineração representa para a economia e a competitividade desses recursos frente a outras fontes de suprimento disponíveis. Em relação à competitividade, a importância dos recursos minerais marinhos será maior, quanto mais escassas forem as outras fontes e mais avançada for a tecnologia para a viabilização da sua exploração em bases sustentáveis e ambientalmente seguras (BORGES, 2007).

Por serem commodities de baixo custo, é importante que o material extraído esteja próximo ao mercado consumidor. A maioria das regiões metropolitanas brasileiras está localizada na zona costeira. Logo, as reservas de granulados siliciclásticos tendem a ser cada vez mais escassas nas proximidades desses grandes centros, tanto pela exaustão como pelas exigências ambientais (CGEE, 2007).

Além das melhores condições de disponibilidade, as areias quartzosas marinhas possuem outra vantagem em relação às reservas continentais. O percentual de quartzo das reservas marinhas é cerca de 99%, enquanto o percentual em arenitos e quartzitos continentais é em média de 60 a 70%. Essa diferença ocorre em função das impurezas pela presença de óxidos de ferro, argilas e outros minerais (SPERLE, 2010). Os depósitos marinhos são uma opção viável já implantada em diversos outros países (CGEE, 2007).

Para a recomposição de faixas de areias de praias em erosão, a etapa posterior ao mapeamento geofísico da região é a lavra. Em outros países, medidas governamentais restringem a mineração muito próxima à linha de costa de duas maneiras: pela distância ou pela profundidade da lâmina d'água. Em Brunswick (Canadá), a distância é de 300m, enquanto no Japão a dragagem e proibida até o limite de 4 ~ 5 km da costa. Na Grã-Bretanha, as licenças de mineração em mar aberto, não são concedidas para águas mais rasas que 18m (CGEE, 2007).

No Brasil, o Projeto Orla recomenda a profundidade de 10m como limite da zona submarina da orla. Este valor é adotado por ser próximo à profundidade de fechamento do perfil de praias expostas, sendo assim a profundidade limite da parte ativa do prisma praial submerso. Desta forma, não são recomendadas atividades de mineração em profundidades menores que 10m. Porém, uma vez adotado tal limite batimétrico, este pode sofrer alterações pontuais a partir de estudos que comprovem a adequação de um outro valor em função do clima de ondas, da geomorfologia e característica dos sedimentos (MUEHE, 2004).

Para a adequação do empreendimento às normas ambientais brasileiras, cada um, de acordo com a classificação de seu porte, segundo Brasil (1986), deverá ser submetido ao licenciamento ambiental. O órgão ambiental competente, por sua vez, irá definir áreas de exclusão para prover

refúgios para habitats ou espécies importantes, ou mesmo, outras áreas sensíveis (CAVALCANTI, 2007).

#### 1.4 Vulnerabilidade costeira

A zona costeira é influenciada por diversos agentes físicos, como forçantes atmosféricas, oceânicas e continentais, tornando-se assim particularmente sensível às mudanças climáticas. A vulnerabilidade dos ambientes costeiros depende tanto da escala e natureza dos fenômenos que exercem pressão sobre ele, quanto da sensibilidade de trechos da linha de costa (MUEHE, 2006; NEVES & MUEHE, 2008).

A natureza dos fenômenos pode tanto ser classificada como natural e antrópica, como pelo tipo do agente físico envolvido (ventos, correntes, ondas, entre outros). Já a sensibilidade da linha de costa depende da ação dos agentes físicos, da estrutura geomorfológica, da inclinação do terreno, da angulação geográfica em relação aos agentes físicos, entre outros fatores. A combinação desses fatores pode resultar em grandes prejuízos não só em termos ecológicos, mas também econômicos. Neves & Muehe (2004) descreveram alguns dos impactos previstos na zona costeira em conseqüência de mudanças climáticas, como por exemplo:

- Erosão e progradação costeira;
- Danos a obras de proteção costeira;
- Prejuízos estruturais ou operacionais a portos e terminais;
- Danos a obras de urbanização de cidades litorâneas;
- Danos estruturais ou prejuízos operacionais a obras de saneamento;
- Exposição de dutos enterrados ou danos estruturais a dutos expostos;
- Intrusão salina em estuários;
- Intrusão salina em aquíferos.

O Rio de Janeiro é um estado cuja faixa litorânea se estende por grande parte do contorno de seu território. Nessa faixa, podem ser identificados ecossistemas litorâneos variados como manguezais, estuários, restingas, praias, costões rochosos, baías e lagoas. Certos trechos litorâneos do estado são exemplos clássicos da fragilidade de alguns ecossistemas, frente à erosão causada por flutuações climáticas, tempestades, ressacas e segundo alguns autores até um possível aumento do nível médio do mar (SILVA et al.,1991 apud VALENTINI, 1992; SILVA, 1992 apud VALENTINI, 1992; IPCC, 2007; NEVES, 2005).

São recorrentes cenas em que danos e prejuízos atingem as praias do estado do Rio de Janeiro. As ressacas tem avançado cada vez mais sobre a faixa de areia e destruído estruturas pertencentes à orla como deques, rampas e escadas. Esse fenômeno não ocorre apenas nos tempos atuais. O avanço do mar em direção à costa tem sido registrado há bastante tempo por jornais, revistas e instituições de pesquisa. Algumas fotos desses eventos podem ser visualizadas na Figura 1.



Grumari, 28 de maio de 2004. Fonte: LAMMA, 2010



Macumba, 28 de maio de 2004. Fonte: LAMMA, 2010



Arpoador, 09 de abril de 2010. Fonte: PONTES.



São Conrado, 17 de agosto de 2003. Fonte: LAMMA, 2010



Ipanema, 09 de abril de 2010. Fonte: PONTES.



São Conrado, 14 de abril de 2003. Fonte: LAMMA, 2010

Figura 1 – Fotos de ressacas em praias do Rio de Janeiro como ilustração de eventos extremos recorrentes na região.(continua).





Barra, 06 de maio de 2001. Fonte: LAMMA, 2010



Arpoador, 06 de maio de 2001. Fonte: LAMMA, 2010

Leblon, 14 de abril de 2003. Fonte: LAMMA,2010



Copacabana, 06 de maio de 2001. Fonte: LAMMA, 2010

Figura 1 – Fotos de ressacas em praias do Rio de Janeiro como ilustração de eventos extremos recorrentes na região (conclusão).

Em função de um conjunto de fatores – incluindo interesses ambientais e socioeconômicos – serão sugeridas, no presente trabalho, áreas que vem sofrendo sérios processos erosivos, para a remediação por recomposição da faixa de areia. Segundo dados do Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2008), o trecho Ipanema – Leblon tem risco natural variando entre médio e alto (Figura2). O trecho da restinga da Marambaia tem como classificação risco natural muito alto e tem como indicação o processo de retrogradação (Figura3).

O Risco Natural está relacionado a processos e eventos de origem natural ou induzida por atividades humanas. A natureza desses processos é bastante diversa nas escalas temporal e espacial, por isso o risco natural pode se apresentar com diferentes graus de perdas, em função da intensidade (magnitude), da abrangência espacial e do tempo de atividade dos processos considerados. Nesse contexto, foi considerado risco natural o risco associado ao comportamento dinâmico dos sistemas naturais, isto é, considerando o seu grau de estabilidade/instabilidade expresso na sua vulnerabilidade a eventos críticos de curta ou longa duração, tais como inundações, desabamentos e aceleração de processos erosivos (BRASIL, 2008).

Como resposta a erosão costeira, diversos autores recomendam a reconstrução praial artificial como medida de mitigação (AYRES NETO, 2000; SILVA et al., 2000; NEVES e MUEHE, 2004, 2008; SPERLE, 2010). Porém, para o sucesso futuro desse tipo de obra de engenharia, é imprescindível o conhecimento do regime de ondas da região, as flutuações relativas do nível no mar (maré astronômica e meteorológica) e as características granulométricas da praia a ser remediada (NEVES e MUEHE, 2004). Dessa forma, são minimizados os riscos de danos à morfodinâmica de regiões adjacentes, assim como o rápido estabelecimento da condição erosiva da região antes de ser remediada.



Figura 2 - Folha 12 – Rio Paraíba do Sul - do Macrodiagnóstico Ambiental da Zona Costeira e Marinha, referente ao Risco Natural. Zoom em vermelho. Fonte: BRASIL, 2008.



Figura 3 - Folha 13 – Baía da Ilha Grande - do Macrodiagnóstico Ambiental da Zona Costeira e Marinha, referente ao Risco Natural. Zoom em vermelho mostra o alto risco natural incidente sobre a Restinga da Marambaia, assim como a indicação do processo de retrogradação costeira.

Fonte: BRASIL, 2008.

#### 1.5 Suporte governamental

O sucesso do aproveitamento dos recursos minerais marinhos da Plataforma Continental Jurídica Brasileira (PCJB) para uso na mitigação de efeitos erosivos em regiões costeiras só é possível com incentivos governamentais, frente à abrangência deste tipo de obra e ao número de setores sociais a serem mobilizados.

O suporte governamental torna-se necessário desde investimentos em universidades, fomentando a geração de novas tecnologias e mão de obra, até a produção de legislação sustente empreendimentos de grande porte no setor de mineração. Planos e programas governamentais foram criados com o objetivo de incentivar e subsidiar propostas que tenham como foco avaliar a potencialidade mineral da PCJB.

Exemplo dessa iniciativa foi a criação da Política Nacional para os Recursos do Mar (PNRM) que tem por finalidade orientar o desenvolvimento das atividades que visem à efetiva utilização, exploração e aproveitamento dos recursos vivos, minerais e energéticos do Mar Territorial, da Zona Econômica Exclusiva e da Plataforma Continental, de acordo com os interesses nacionais, de forma racional e sustentável para o desenvolvimento socioeconômico do País. Dessa forma o Plano Setorial para os Recursos do Mar (PSRM), constitui um dos desdobramentos da PNRM.

O PSRM da Secretaria da Comissão Interministerial dos Recursos do Mar (SECIRM) e o Programa de Avaliação da Potencialidade Mineral da Plataforma Continental Jurídica Brasileira (REMPLAC), criado pela Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM) e sob responsabilidade da CPRM/MME (Serviço Geológico do Brasil / Ministério de Minas e Energia), possuem diretrizes com consonância com os objetivos da realização do presente trabalho. O Programa REMPLAC tem os seguintes objetivos específicos:

Efetuar o levantamento geológico-geofísico básico sistemático da PCJB;

- Efetuar, em escalas apropriadas, projetos temáticos, levantamentos geológico-geofísicos de sítios de interesse geo-econômico-ambiental identificados na PCJB, visando avaliar sua potencialidade mineral; e
- Acompanhar, a nível nacional e internacional, as atividades relacionadas à exploração e explotação dos recursos minerais de bacias oceânicas e sistemas de cordilheira mesoceânicas. (PGGM, 2010).

A geração de dados geológicos básicos é missão do Estado e é fundamental para o planejamento territorial e para a formulação e implementação de políticas públicas voltadas para o desenvolvimento sustentável dos recursos minerais, petrolíferos e hídricos do País (MARINHA DO BRASIL, 2010).

### 2 ÁREA DE ESTUDO

#### 2.1 Escolha da área de estudo

Para a escolha da área de estudo, foram analisados dados e bibliografias sobre a cobertura sedimentar da Plataforma Continental Interna do Rio de Janeiro. Os critérios para a escolha da região de mapeamento foram guiados pela estratégia de propor uma alternativa econômica e ambientalmente viável de recuperação de praias do Rio de janeiro, em estado de erosão, a partir da lavra de areias quartzosas.

A partir das Cartas Sedimentológicas do REVIZEE (DIAS et al., 2004) foi identificada a área adjacente à Praia de Itaipuaçu (Marica/RJ) como uma região com as condições mínimas para o cumprimento do objetivo deste estudo (Figs. 4 e 5).



Figura 4 - Carta Sedimentológica do Programa REVIZEE – Carta D, que segue de Vitória a São Sebastião (-46º.00 -19º.86;-38º.00 -24º.00) Fonte: DIAS et al., 2004.

Nota: Área delimitada em vermelho representa a região de interesse coberta por areias médias detalhada na Figura 5.



Figura 5 - Detalhamento da Carta Sedimentológica D. Sobreposição da linha de navegação e aquisição de dados coletados por Medeiros (2010) (linha vermelha) e da área de mapeamento geofísico e geológico do presente trabalho (retângulo amarelo).