

**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE**

**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA E GEOLOGIA MARINHA – LAGEMAR**

**CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA**

**IMAGEAMENTO ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE SONAR DE VARREDURA  
LATERAL EM REGIÕES DE BOTA-FORA NA BAÍA DE GUANABARA**

**Fillipi Brandão Lagedo**

Niterói – RJ,

Dezembro de 2014

**IMAGEAMENTO ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE SONAR DE VARREDURA  
LATERAL EM REGIÕES DE BOTA-FORA NA BAÍA DE GUANABARA**

Trabalho de conclusão de curso  
submetido ao programa de  
graduação em Geofísica da  
Universidade Federal Fluminense,  
como requisito parcial para a  
obtenção do título de bacharel em  
Geofísica.

**Orientador: Prof. Dr. José Antônio Baptista Neto**

**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE**

**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA E GEOLOGIA MARINHA – LAGEMAR**

**CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA**

**Fillipi Brandão Lagedo**

BANCA EXAMINADORA:

---

**Prof. Dsc. José Antonio Baptista Neto**

---

**Prof. Dsc. Cleverson Guizan Silva**

---

**Dsc. Estefan M. da Fonseca**

---

**Prof. Dsc. Gilberto T. M. Dias**

Niterói – RJ,

Dezembro de 2014

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à Deus, por me ter dado todas as possibilidades, além dessa, de estar realizando este trabalho junto à faculdade.

Aos meus pais, Leila Baptista Brandão e Julio César Aquino Lagedo, namorada, Juliana Xavier de Lima Martins, irmão Julio César Junior, amigos e familiares, que com muito carinho e apoio não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

Ao professor José Antônio, pela paciência na orientação e incentivo que tornaram possível a conclusão deste trabalho final. Aos professores Gilberto Dias, Cleverson Silva e Estefan Monteiro, pelas críticas e direcionamentos para que houvesse melhor qualidade no trabalho.

A todos os professores, amigos e colegas do curso de Geofísica, que foram fundamentais na minha vida acadêmica e desenvolvimento desta monografia.



## RESUMO

As áreas costeiras, particularmente ambientes como: baías, lagunas, rios e estuários, estão sujeitas à instalação de grandes centros urbanos. Suas características de alta produtividade e de abrigo favorecerem a ocupação do seu entorno. Estes ambientes são ou serão responsáveis pelo desenvolvimento econômico e social do país em que se localizam, através do aproveitamento de seu potencial pesqueiro, construções de portos e assentamentos urbano e industrial em suas margens. De uma maneira geral, esse processo sócio-econômico não é acompanhado de um planejamento adequado, gerando assim grandes modificações nas características naturais do meio ambiente. Durante as últimas décadas, a Baía de Guanabara experimentou os efeitos causados pelo crescimento de grandes centros urbanos em seu entorno sem um planejamento adequado. Um dos grandes problemas atuais é o aumento nas taxas de sedimentação, que afetam a sedimentação das áreas portuárias. O que tem levado a intensificação das dragagens da baía. A área de bota-fora está causando intenso impacto na zona costeira. O objetivo deste trabalho foi o de delimitar através de side-scan sonar a zona de bota-fora e caracterizar os impactos ambientais resultantes. O Sonar de Varredura Lateral (Side Scan Sonar) é um equipamento utilizado para obtenção de imagens de regiões submersas, podendo ser empregado para a localização de estruturas naturais (estruturas geológicas, formações sedimentares, canais, identificação do tipo de fundo, etc) e artificiais (barcos naufragados, canais resultante de dragagens, depósitos resultantes de despejos de dragagens, estruturas portuárias submersas, enrocamentos, etc.). À partir dos resultados obtidos no trabalho, foi possível observar que a realização de descarte de material dragado pode causar a transformação do fundo marinho, tanto com relação à cobertura sedimentar e sua composição, quanto modificações no relevo submarino.

**Palavras Chave:** Dragagem, Baía de Guanabara, sedimentação, bota-fora, impactos ambientais, sonar de varredura lateral, fundo marinho, relevo submarino.

## **ABSTRACT**

The coast areas, particularly environments like: bays, lagoons, rivers and estuaries, are subject to the installation of great urbane centers. The characteristics of high productivity and shelter favor the occupation of its surrounding area. These environment are or they will be responsible for the economical and social development of the country in which there are located, trough the urbane and industrial use of his fishing potential, constructions of ports and registrations in its edges. In general, this social-economic process is not followed by a proper planning, generating large changes in the natural characteristics of the environment. During the last decades, the Guanabara bay experienced the effects caused by a large growth of the urbane centers around it without a proper planning. One of the big actual problems is the raise in sedimentary taxes, which affects the sedimentation of the portuary zones, which has led to intensification of dredging in the bay. The disposal area is causing intense impact on the coastal zone. The objective of this work is to delineate the disposal zone trough side scan sonar application and characterize the environmental impacts. The side scan sonar is a device used to obtain images of submerged regions and can be used for localization of natural structures (geological structures, sedimentary formations, channels, identifying the type of background, etc.) and artificial (shipwrecks, resulting from dredging channels, deposits resulting from dumping of dredging, submerged offshore structures, embankments, etc.). From the results obtained in the study , it was observed that the performance of dredged material disposal can cause the transformation of the seabed , both regarding the sedimentary cover and composition , as changes in the submarine relief.

**Keywords:** Dredging, Guanabara bay, sedimentary taxes, disposal zone, submarine relief, side scan sonar, environmental impacts, seabed.

## ÍNDICIE DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - Localização da Baía de Guanabara .....	<b>pág. 3</b>
<b>Figura 2</b> - Presença de Recifes de Ostras no rio Great Wicomico, Virginia, US .....	<b>pág. 5</b>
<b>Figura 3</b> - As áreas de despejo de material dragado.....	<b>pág. 6</b>
<b>Figura 4</b> - Ambientes de influência direta de fluxos sedimentares na área de estudo e suas respectivas distâncias da região C de despejo. Fonte: Google Earth .....	<b>pág. 7</b>
<b>Figura 5</b> - Carta sedimentológica da plataforma e talude entre RJ e ES. Fonte: Modificado de Dias, 2001 .....	<b>pág. 8</b>
<b>Figura 6</b> - Mosaico de Fotografias do Canal do Fundão e foz do Canal do Cunha. Fonte: <a href="http://limpezariomeriti.blogspot.com.br">http://limpezariomeriti.blogspot.com.br</a> e <a href="http://sosriosdobrasil.blogspot.com">http://sosriosdobrasil.blogspot.com</a> .....	<b>pág. 9</b>
<b>Figura 7</b> - Caracterização das condições ambientais e hidrológicas da Baía de Guanabara (Modificado de Mayr et al. 1989) .....	<b>pág. 10</b>
<b>Figura 8</b> - Disposição e dispersão do sedimento conforme os tipos de descarte utilizados .....	<b>pág. 12</b>
<b>Figura 9</b> - Processos de dispersão sedimentar e deposição durante uma atividade de despejo.....	<b>pág. 13</b>
<b>Figura 10</b> - Resultados de levantamentos batimétricos referentes a àrea de descarte C. Fonte: Tese de doutorado: Abordagem Multimetodológica sobre o despejo de sedimentos de dragagem em área de descarte oceânico - plataforma adjacente à Baía de Guanabara, Thiago Gonçalves Pereira, 2013.....	<b>pág. 14</b>
<b>Figura 11</b> - Ilustração do mecanismo de funcionamento dos feixes de um SVL.....	<b>pág. 15</b>
<b>Figura 12</b> - Esquema de formação de sombras acústicas.....	<b>pág. 16</b>



## ÍNDICIE DE ILUSTRAÇÕES

<b>Tabela 1</b> - Relação entre varredura de uma área x frequência e comprimento de onda. Fonte: FISH e CARR, 1990.....	<b>pág. 17</b>
<b>Figura 13</b> - Exemplo de imagem gerada por sondagem com um sidescan sonar. Fonte: Bastos et al.;Buracas:Novel and unusual sinkhole-like features in the Abrolhos Bank.....	<b>pág. 18</b>
<b>Figura 14</b> - Exemplo de imagem gerada por sonar de varredura lateral para investigação de destroços de embarcações. Fonte: <a href="http://pbrasil.wordpress.com/">http://pbrasil.wordpress.com/</a> , ORPHEU.....	<b>pág. 18</b>
<b>Figura 15</b> – “Tow-Fish” Modelo 272 –TD da EdgeTech.....	<b>pág. 19</b>
<b>Figura 16</b> - Localização das linhas de navegação do levantamento sonográfico e dos centros das áreas de despejo.....	<b>pág. 20</b>
<b>Figura 17</b> - Mosaico de imagens dos perfis de levantamentos com o uso do sonar de varredura lateral. Fonte: Modificado de tese de doutorado: Thiago Gonçalves Pereira.....	<b>pág. 21</b>
<b>Figura 18</b> - Imagem sonográfica da linha 28 com identificação das feições arenosas no assoalho oceânico.....	<b>pág. 22</b>
<b>Figura 19</b> - Imagem sonográfica da linha 20 com ênfase na acumulação de material lamoso.....	<b>pág. 23</b>
<b>Figura 20</b> - Amostra de material lamoso proveniente do interior da Baía .....	<b>pág. 24</b>

**Figura 21** - Embarcações realizando o despejo do material dragado do interior da Baía diretamente no ponto de estudo C ..... **pág. 24**

**Figura 22** - Imagem sonográfica da linha 23 detalhada indicando a presença de anéis de perturbação do fundo marinho ..... **pág. 25**

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b>	<b>I</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>II</b>
<b>ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES</b>	<b>III, IV</b>
<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>PÁG. 1</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>PÁG. 4</b>
<b>CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA</b>	<b>PÁG. 4</b>
<b>ÁREA DE ESTUDO</b>	<b>PÁG. 6</b>
<b>GEOMORFOLOGIA REGIONAL</b>	<b>PÁG. 6</b>
<b>HIDRODINÂMICA REGIONAL</b>	<b>PÁG. 8</b>
<b>COMPORTAMENTO DOS DEPÓSITOS DE MATERIAL DRAGADO</b>	<b>PÁG. 11</b>
<b>DADOS BATIMÉTRICOS</b>	<b>PÁG. 13</b>
<b>LEVANTAMENTO COM SONAR DE VARREDURA LATERAL</b>	<b>PÁG. 15</b>
<b>METODOLOGIA</b>	<b>PÁG. 19</b>
<b>RESULTADOS</b>	<b>PÁG. 20</b>
<b>CONCLUSÃO</b>	<b>PÁG. 25</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>PÁG. 27</b>

## INTRODUÇÃO

A dragagem é um método comumente utilizado para desassoreamento, desobstrução, remoção, ou escavação de material de fundo de rios, lagoas, mares, baías e canais de acesso a portos. Seu principal objetivo é realizar uma manutenção ou aumentar a profundidade. Dessa forma, a ação de dragagem se qualifica no gerenciamento de reservas aquáticas (SUZZANE, 2009).

Este método é utilizado essencialmente como ferramenta fundamental para o saneamento de corpos d'água com sedimentos contaminados, bem como para a recuperação da capacidade de escoamento de cursos d'água em estágio avançado de assoreamento, dentre outras ações de remediação ambiental (PEREIRA, 2013).

Historicamente, os portos têm ocupado os centros econômicos e urbanos das nações litorâneas. Em virtude das atividades portuárias, com o passar do tempo, foram notadas modificações drásticas nessas regiões, devido ao intenso fluxo de embarcações e obras realizadas para o desenvolvimento econômico (PORTO E TEIXEIRA, 2002). Atualmente, muitos complexos portuários apresentam trabalhos ambientais (WOOLDRIDGE, 1999) devido ao expressivo potencial para impactos ambientais na costa, no oceano e na atmosfera.

Com o objetivo de atender às exigências do mercado, grande parte dos portos teve que ampliar não somente a profundidade como também a largura de seus canais de acesso, de forma que navios de diferentes portes pudessem trafegar nas regiões e realizar o embarque e desembarque (PEREIRA, 2013).

Devido a implicações diretamente relacionadas ao meio ambiente, a dragagem é um processo que deve ser regulamentado. Em uma escala global, a Convenção de Londres, em 1972 (CL-1972), identificou que diversas porções marítimas estavam se tornando severamente degradadas, e parte dessa degradação se dava pela disposição não regulamentada de material dragado. Por esse motivo foram estabelecidas linhas de gerenciamento global. Num total de 72 nações, dentre elas o Brasil, são signatárias da CL-1972.

Os conflitos que derivam da realização da dragagem relacionam-se com o nível de contaminação dos sedimentos dragados, e conseqüentemente com o local

selecionado para o despejo, o que pode acarretar danos à biota aquática refletindo sobre a qualidade de vida de organismos regionais (THEODORO, 2005).

A Baía de Guanabara tem uma área de aproximadamente 400km<sup>2</sup> e comporta cerca de 3 bilhões de m<sup>3</sup> de água. É um exemplo de ambiente costeiro misto, interface marinho-continental, em acelerado processo de degradação, motivado pela combinação de fatores naturais e antrópicos. Situada no estado do Rio de Janeiro entre as latitudes de 22°40' e 23°00' Sul e longitude 43°00' e 43°20' Oeste, é uma das baías mais proeminentes do litoral brasileiro, margeando as regiões metropolitanas das cidades do Rio de Janeiro, Niterói, São Gonçalo, Magé, entre outras (KJERFVE *et al.* 1997).

Segundo a classificação proposta por Perillo (1995), a Baía de Guanabara pode ser classificada como um estuário de planície costeira (QUARESMA, 1997). O sistema da Baía de Guanabara e bacia de drenagem associada está inserido no rifte da Guanabara (FERRARI, 1990) que faz parte do conjunto de depressões Terciárias da costa sudeste brasileira, e tem sua configuração atual ligada às variações do nível do mar, no Holoceno, que condicionaram o afogamento de um antigo vale fluvial Pleistocênico (AMADOR, 1992).

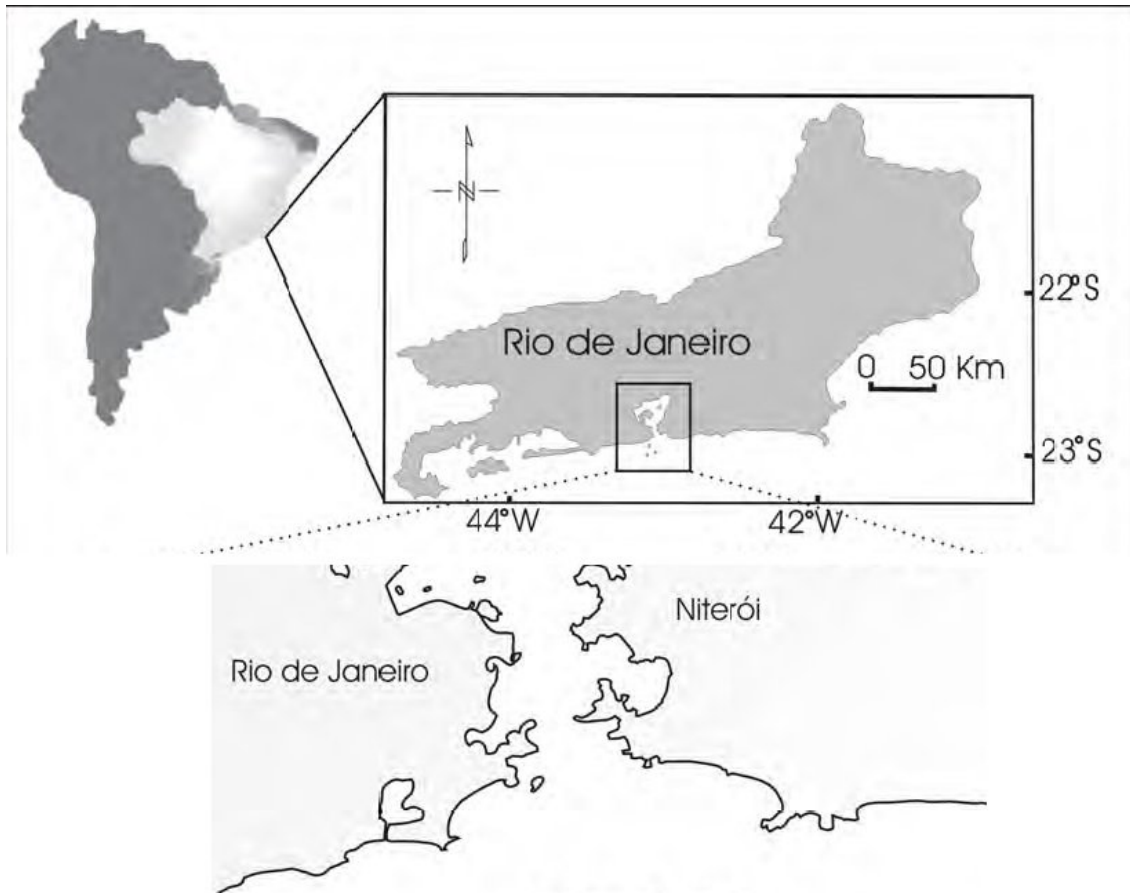


Figura 1. Localização da Baía de Guanabara. Fonte: Modificado de Baptista Neto, 2002.

No decorrer das últimas décadas, os processos de urbanização e industrialização desequilibrados ao redor da Baía de Guanabara conduziram suas regiões vizinhas a uma erosão intensa, e conseqüentemente a um maior aporte de sedimentos para áreas marinhas. Este aumento na descarga sedimentar vem provocando elevadas taxas de assoreamento e afetando a qualidade ambiental desse estuário, visto que, além dos sedimentos, diversos poluentes industriais e domésticos são despejados na baía diariamente (AMADOR, 1980; REBELLO *et al.*, 1986; VANDENBERG e REBELLO, 1986; BAPTISTA NETO *et al.*, 2006).

Devido a aceleração da economia nacional, a demanda portuária vem aumentando intensamente, o que se reverte numa drástica elevação de volume de sedimentos dragados no interior da Baía de Guanabara. Esse material dragado é depositado em áreas localizadas na plataforma continental interna, adjacente à baía.

## **OBJETIVOS**

O objetivo primário deste trabalho é caracterizar a transformação da sedimentação de fundo marinho nas regiões de despejo de material dragado, situadas na plataforma continental rasa, adjacente à Baía de Guanabara, através da caracterização da resposta do sonar (efeito backscatter). Esta caracterização será realizada através da utilização de métodos geofísicos, no caso um Sonar de Varredura Lateral (SVL).

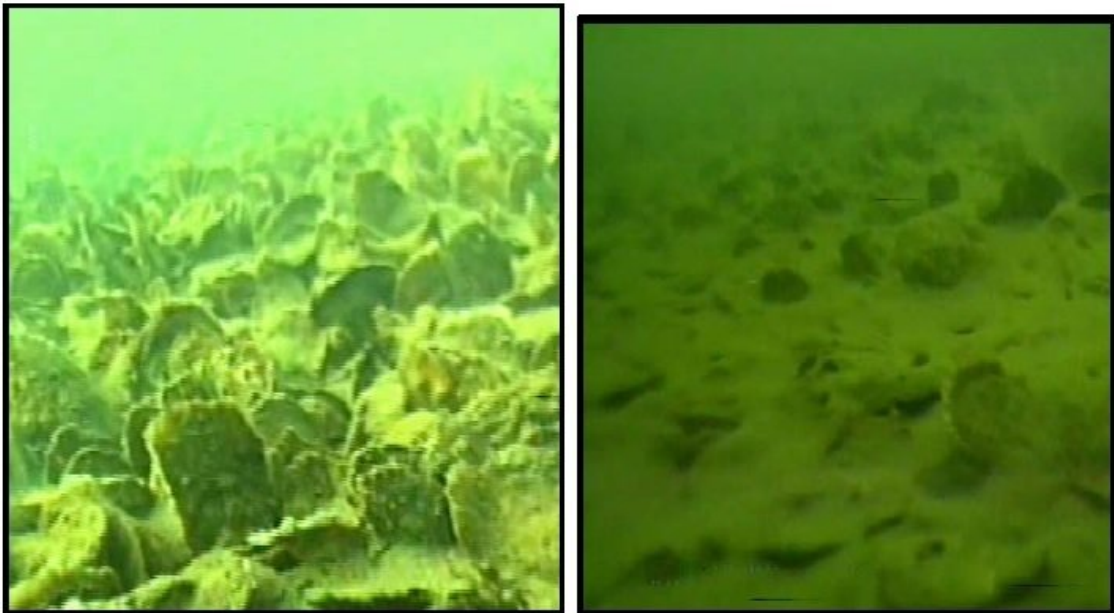
## **CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA**

Mesmo não estando altamente contaminados, muitos materiais dragados estão sujeitos a alguma contaminação (MURRAY 1994b). Uma variedade de substâncias tóxicas, incluindo metais pesados, óleo, TBT (bio ácido), PCBs (substâncias insolúveis na água) e pesticidas, podem ser “trapeados” no assoalho oceânico, através dos sedimentos, em regiões portuárias. Estes contaminantes podem ser de origem histórica ou de fontes distantes.

Os processos de dragagem e de disposição do material podem liberar esses contaminantes na coluna d'água, fazendo com que estes estejam dispostos no ambiente e consumidos por animais e plantas, o que pode acarretar a contaminação desses organismos. Esse fato desencadeia um ciclo que se transfere para a cadeia alimentar do meio em que ocorre a disposição sedimentar deste material contaminado.

Um ótimo exemplo a ser citado para que se haja um entendimento da consequência da suspensão e contaminação de sedimentos em certos ambientes é o evento ocorrido na costa leste dos Estados Unidos, em regiões com alta concentração de recifes de ostras. Eles são conhecidos por sua capacidade de gerar harmonia ao ambiente em que se inserem. Os recifes de ostras têm a capacidade de prover habitat para outros organismos e larvas para que se desenvolvam novos recifes, assim como atuam com a capacidade de filtragem de impurezas contidas em sedimentos.

Segundo Dara Wilber & Douglas Clarke (2010), algumas comunidades de recifes de ostras da costa leste dos Estados Unidos, contidas em baías e rios, desde o leste da Virginia até a Carolina do Sul, vêm sendo degradadas devido à alta taxa de sedimentação nos locais. Eventos como variação de fluxos hidrodinâmicos podem acarretar alto fluxo sedimentar, contudo, a disposição excessiva e mal planejada de material dragado também pode contribuir para tal desequilíbrio. O sedimento suspenso sob os recifes causam o soterramento, o que impossibilita que os mesmos sirvam de habitat para o desenvolvimento de larvas e conseqüentemente novos recifes de ostras, assim como esse excesso sedimentar contribui para a diminuição de dissolução de oxigênio na água, afetando diretamente os recifes.



*Figura 2. Presença de Recifes de Ostras no rio Great Wicomico, Virginia, US, com pouca sedimentação em alto relevo (esquerda) e sedimentação substancial em baixo relevo (direita). Fonte: Schulte et al 2009.*



## ÁREA DE ESTUDO

O local a ser estudado encontra-se na plataforma continental rasa, ao longo do litoral entre as praias do Leblon e Itaipuaçu, incluindo a baía e o entorno das ilhas adjacentes, onde se situam as regiões de despejo de material dragado.

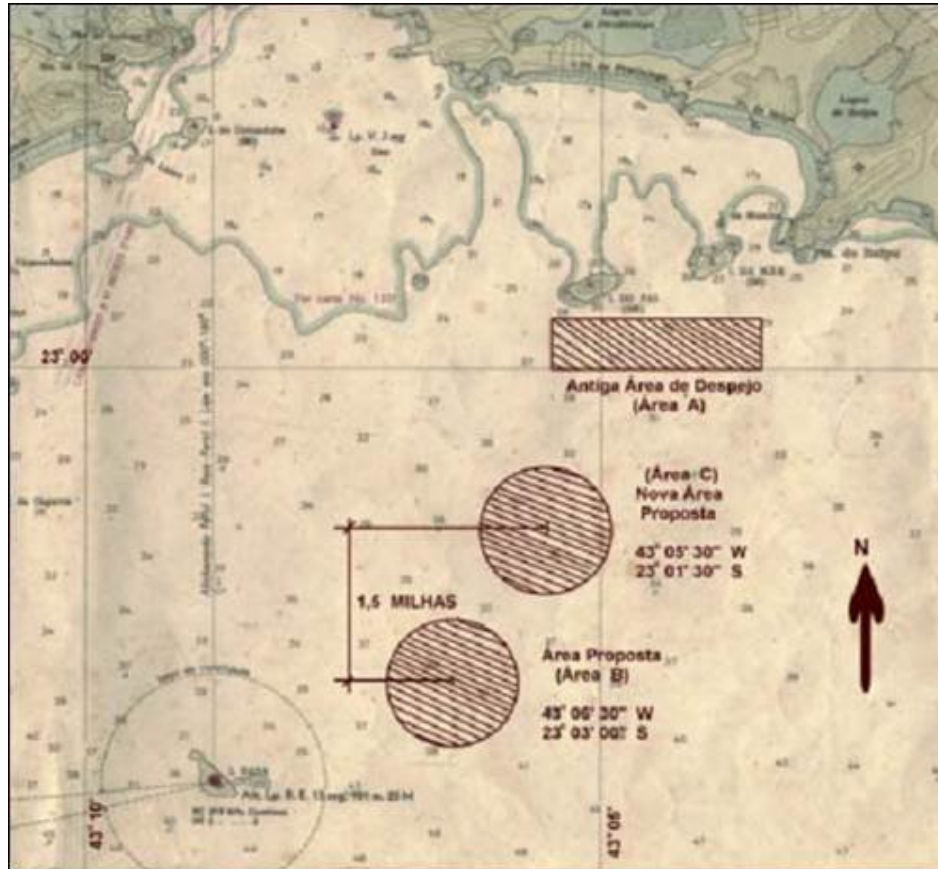


Figura 3. As áreas de despejo de material dragado.

## GEOMORFOLOGIA REGIONAL

Dentre as feições ao entorno da região de descarte de material dragado, destacam-se as praias litorâneas e ilhas da cidade do Rio de Janeiro e do município Niterói, que formam uma diversidade paisagística, e situam-se relativamente próximas da região em estudo.

Segundo Muehe e Valentinni (1998) essa zona costeira adjacente está sob o domínio do macrocompartimento de Cordões Litorâneos, que compreende o litoral entre a ilha de Marambaia e o Cabo Frio. Esta faixa litorânea é marcada principalmente pela presença de cordões litorâneos orientados para direção sul, que

foram formados nas últimas transgressões marinhas quaternárias. Outro fator importante é a ausência de descargas fluviais na linha de costa ao longo deste compartimento, sugerindo que a maior parte dos sedimentos continentais seja depositada no interior das lagoas e baía.

Os cordões litorâneos mais próximos às áreas de despejo são as praias de Piratininga, Cambinhas, Itaipu e Itacoatiara e formam uma sequência de arcos de praias com orientação aproximada de NO-SE. Segundo estudos elaborados para uma dragagem de adequação de terminais aquaviários localizados no interior da Baía de Guanabara (PETROBRÁS, 2010), essas praias estão diretamente relacionadas à influência na sedimentação da área de despejo de material dragado estudada neste trabalho.

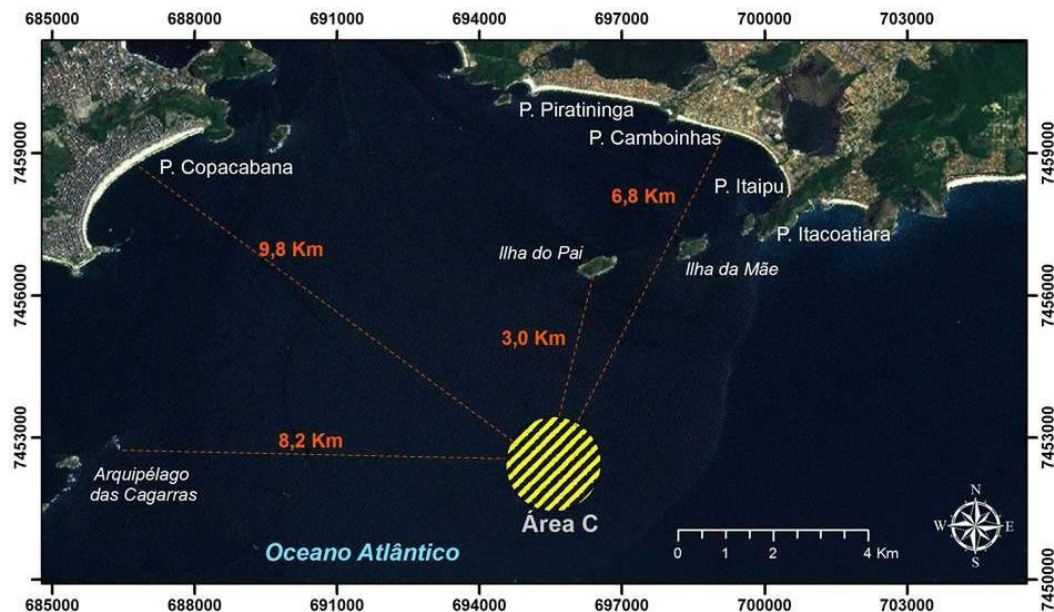


Figura 4. Ambientes de influência direta de fluxos sedimentares na área de estudo e suas respectivas distâncias da região C de despejo. Fonte: Google Earth.

Eventos de alta energia atuam com frequência nos arcos de praias citados anteriormente, gerando ondas de tempestades (swell) de direção SW e SE de até 4 metros, formadas durante a migração de frentes frias. A morfodinâmica local apresenta alto grau de variabilidade no estoque sedimentar, que é submetida a condições oceanográficas mais severas, como por exemplo, episódios de ressacas. A granulometria dos arcos de praia varia entre areias médias a muito grossas, enfatizando a tendência de praias refletivas, com elevado gradiente da face de praia (PEREIRA, 2013).

Dias (2001) elaborou uma carta sedimentológica da cobertura sedimentar superficial da plataforma e talude continental da região costeira adjacente à Baía de Guanabara (Figura 4). Segundo os dados obtidos, as áreas de despejo englobam três tipos sedimentares: areias finas, lamas e areias quartzosa e areia quartzosa média.

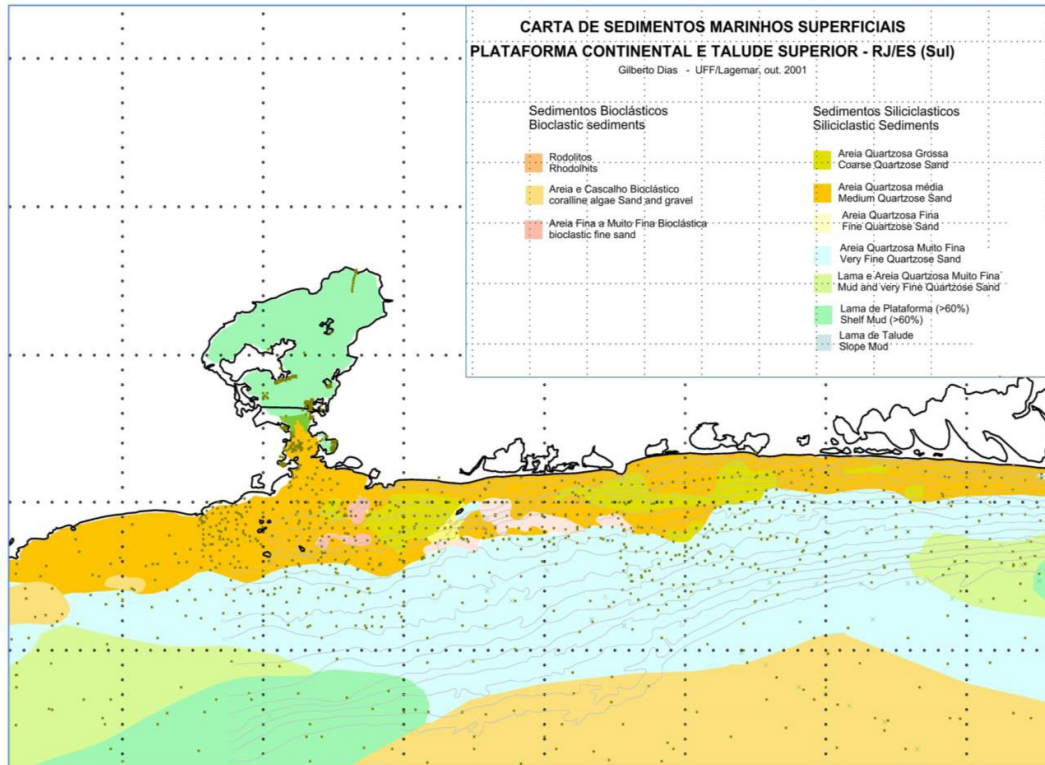


Figura 5. Carta sedimentológica da plataforma e talude entre RJ e ES. Fonte: Modificado de Dias, 2001.

## HIDRODINÂMICA REGIONAL

Quanto aos aspectos hidrológicos da região: a Baía de Guanabara possui 4081 km<sup>2</sup>, abrigando cerca de 25 bacias e sub-bacias, cujos cursos d'água principais transportam a maior parte da sedimentação e poluição gerada pelos centros urbanos. Com um total de 91 rios e canais, todo o sistema estuarino contribui com a drenagem da Baía de Guanabara, que possui um corpo hídrico de 346 km<sup>2</sup> incluindo 59 km<sup>2</sup> de ilhas (BAPTISTA NETO *et. al.*, 2006). O fluxo médio de água doce da bacia para a baía é de cerca de 100 m<sup>3</sup>/s (KJERFVE *et. al.*, 1997).



Os sedimentos que chegam a região portuária do Rio de Janeiro provém principalmente de canais de drenagem da Baía de Guanabara. A rede de drenagem do entorno da região onde ocorreram as dragagens não preserva traços das condições naturais em seu médio e baixo curso, e não possui um rio principal para a coleta de suas águas. Assim uma série de canais urbanizados interligados e com grande volume de resíduos domésticos realiza a drenagem (PEREIRA, 2013). Os canais do Fundão, do Cunha e do Mangue, situam-se mais próximo ao Porto, logo têm maior influência na descarga sedimentar.

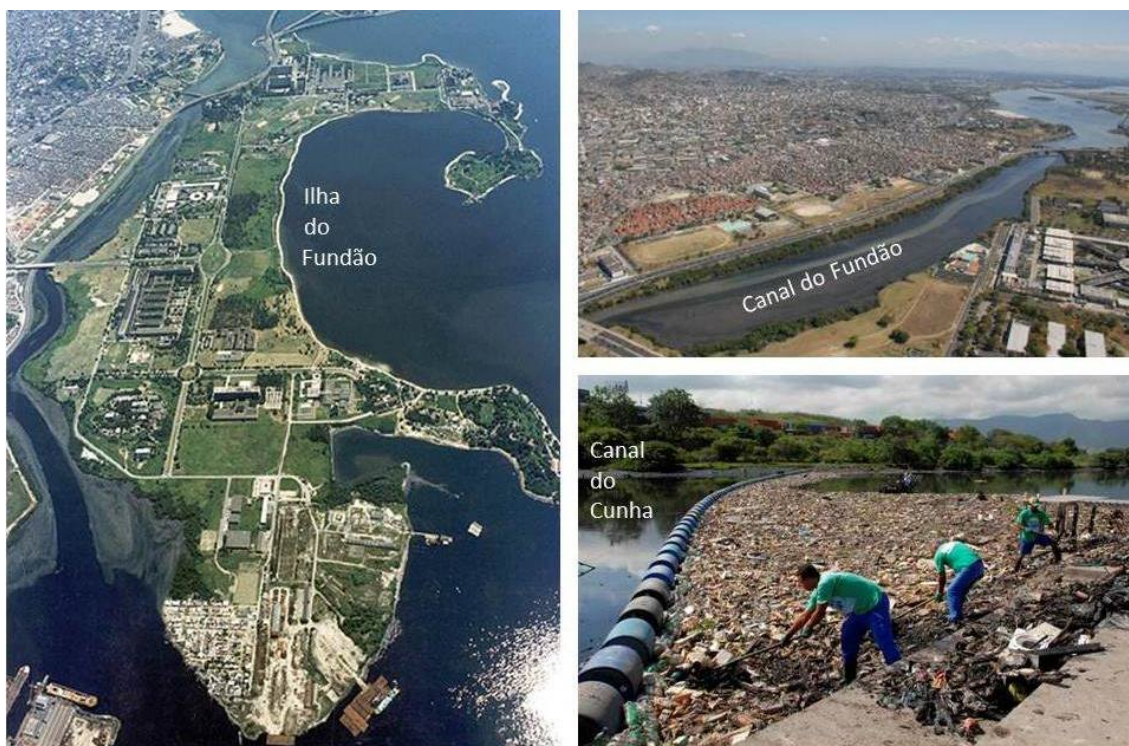


Figura 6. Mosaico de Fotografias do Canal do Fundão e foz do Canal do Cunha. Fonte: <http://limpezariomeriti.blogspot.com.br> e <http://sosriosdobrasil.blogspot.com.br>.

Mayer *et al.* (1989) propôs uma divisão da Baía de Guanabara em 5 regiões de circulação estuária, descrevendo características hidrológicas para cada setor, observados na figura 6.

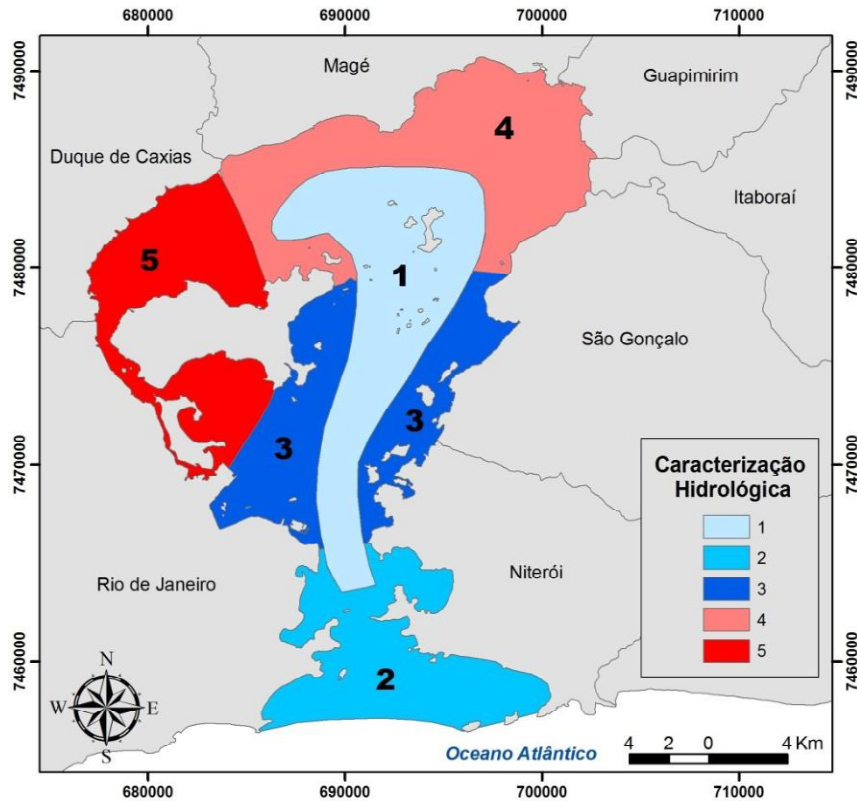


Figura 7. Caracterização das condições ambientais e hidrológicas da Baía de Guanabara (Modificado de Mayr et al. 1989).

A região 1 foi definida pelo canal principal de circulação, aonde se encontram as melhores condições ambientais devido à maior circulação da água do mar. Já a região 2 está sujeita a intensa poluição vindo das cidades de Niterói à leste e Rio de Janeiro à oeste, com centros urbanos desenvolvidos. Na região 3 são recebidos lançamentos de esgotos domésticos e industriais, e poluição por óleo oriunda de portos e estaleiros locais, sendo assim caracterizada por elevado grau de deterioração ambiental. A região 4 é influenciada pela desembocadura de rios menos poluídos, oriundos de reservas ambientais. Porém, na região 5 identifica-se um alto grau de poluição, que é consequência da presença de aterros, o que torna a circulação hidrodinâmica deficiente.

De uma forma geral, não há variação substancial na direção das correntes. Podem ser observadas sensíveis diferenças nas intensidades nos períodos de sizígiaquadratura, assim como nas estações chuvosas e secas (KJERFVE *et al.*, 1997). A circulação das massas d'água é governada pelas marés e ventos e são diretamente influenciadas pelos fluxos dos rios contribuintes.

## **COMPORTAMENTO DOS DEPÓSITOS DE MATERIAL DRAGADO**

Ao ser despejado na área de destino, o material dragado apresenta formas de disposição na coluna d'água e no fundo marinho. Bokuniewicz e Gordon (1980) inferiram taxas relativamente baixas entre 1 e 5% de dispersão em relação ao total de carga despejada, concluindo que as correntes de marés teriam maior influência no transporte de sedimentos, seguidos pelos eventos de tempestade.

A estimativa de dispersão do sedimento despejado depende do sítio aonde ocorre o descarte, do tipo de material que foi dragado da área fonte e dos métodos de dragagem/descarte realizados (PEREIRA, 2013).

A variação sedimentar é composta basicamente pela granulometria e grau de coesão do sedimento. Em ambientes estuarinos as frações argilosas e orgânicas são as mais presentes, mesmo assim parte do material pode conter areia grossa e fina e cascalhos (CASTIGLIA, 2006). No cenário urbano encontra-se argila, matéria orgânica, rochas e materiais comumente descartados nas áreas urbanas (madeiras, plásticos e metais). Essa variação de composição granulométrica faz com que hajam diferentes tipos de deposição, ao se despejar o material. Quanto maior o nível de coesão do material, no caso material siltoso e argiloso, ocorre maior acúmulo vertical e diminuição de extensão radial da área disposta, e quando o sedimento não é tão coeso, como cascalhos e areias mais grossas, há a tendência de maior espalhamento, e a deposição se dá em forma de chuva dos grãos (PEREIRA, 2013).

Os métodos utilizados na dragagem/descarte afetam diretamente na deposição do material (Figura 8) principalmente pelo nível de perturbação sofrida pelo material no momento de sua retirada do local original, também influenciam o meio em que esse material é transportado e a quantidade de água introduzida e misturado ao sedimento no processo de dragagem (PEREIRA, 2013). Como exemplos usuais, tem-se o material produzido por dragas hidráulicas, que utilizam grandes quantidades de água misturadas aos sedimentos, assim gerando um material menos denso e pastoso, e os sedimentos dragados mecanicamente, que mantêm os aglomerados originários da remoção (POINDEXTER-ROLLINGS, 1990). No primeiro caso há a tendência de espalhamento dos depósitos numa maior área, e maior

facilidade de dispersão na coluna d'água, enquanto o despejo de material dragado mecanicamente forma montes mais íngremes com maior resistência à erosão.

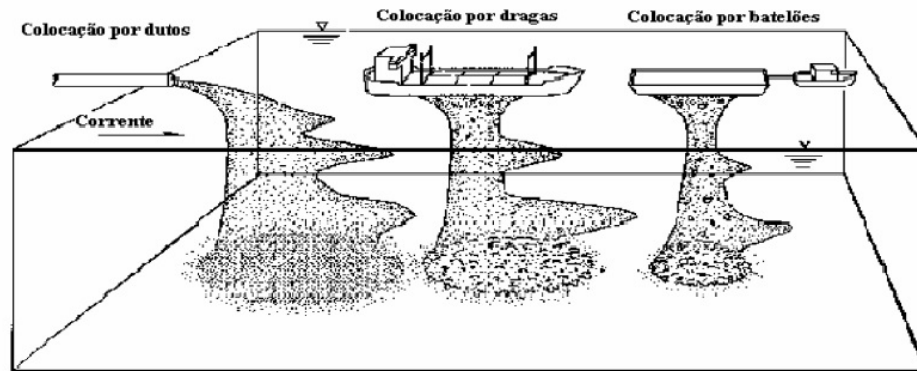


Figura 8. Disposição e dispersão do sedimento conforme os tipos de descarte utilizados.

(Modificado por Goes Filho, 2004)

McAnally e Adamec (1987) admitiram que o comportamento do material descartado pode ser dividido em três fases: descida convectiva – no qual a nuvem de descarga cai através da coluna d'água sob a influência da gravidade; colapso dinâmico – onde ocorre os impactos no leito marinho gerando ressuspensão em forma de nuvem na parte inferior da coluna de água; e por fim, a dispersão passiva a longo prazo – quando se encerra a dinâmica da operação de despejo e começa o transporte de material, determinado pelas correntes marinhas adjacentes ao fundo marinho (Figura 9).

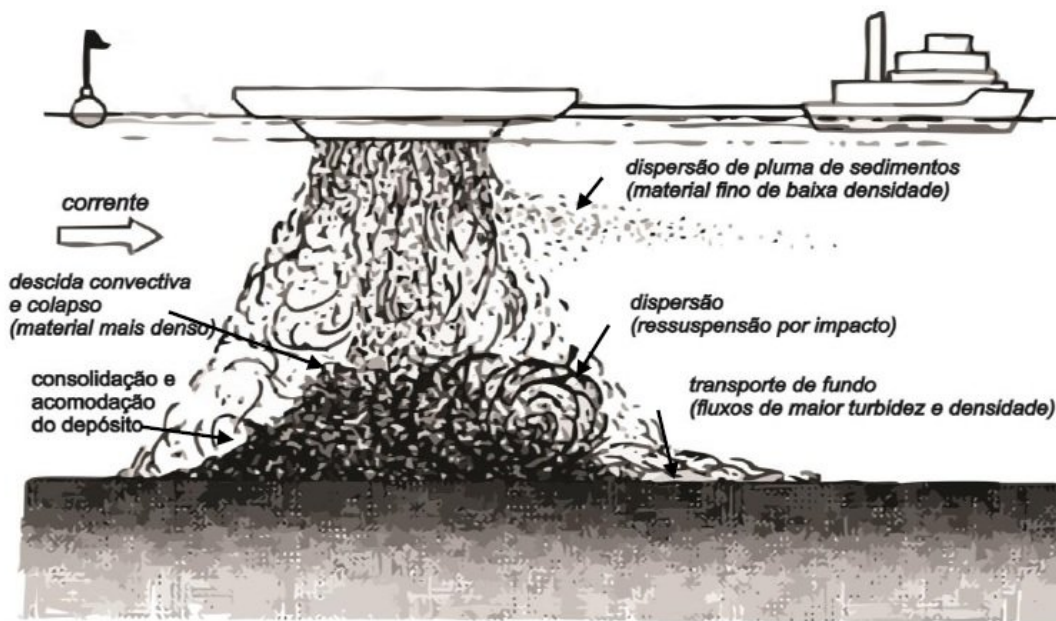


Figura 9. Processos de dispersão sedimentar e deposição durante uma atividade de despejo.

(Modificado de Poindexter-Rollings, 1990).

## DADOS BATIMÉTRICOS

Os levantamentos geofísicos levaram a resultados essenciais para o entendimento dos processos dinâmicos e evolutivos dos depósitos formados por despejo de material dragado. Foram obtidos dados batimétricos durante e após o período de descarte de material dragado na área C, possibilitando assim inferir conclusões sobre a morfologia submarina da área e seu comportamento.

Após o início do processo de dragagem, com descarte de material na área C, foram realizados três levantamentos batimétricos. A primeira campanha, realizada pelo consórcio de empresas de apoio à fiscalização das obras, aconteceu após nove meses de dragagem, e observou-se nitidamente a existência da formação de uma elevação na porção central da área C, com morrotes adjacentes de altas cotas (cerca de -32m de profundidade) (PEREIRA, 2013).

Já o segundo levantamento batimétrico, também realizado pelo consórcio, ocorreu em dezembro de 2011, um mês após o término da dragagem, e identificou a presença de pontos altos com cotas de -30m de profundidade, assim como camadas de sedimentos depositadas no leito oceânico com espessura variando entre 3 a 4 m,



e também um relevo submarino com gradiente de 1:169 m de inclinação para a extremidade sul da área de deposição (PEREIRA, 2013).

O terceiro e último levantamento, realizado com fins de pesquisa e acadêmicos, mostrou uma leve perda de volume de material depositado nas áreas radiais ao centro, onde não houve consistência na deposição, também destacando pontos mais altos de aproximadamente -30m de profundidade próximo ao centro e gradiente de declividade de 1:171 m entre o ponto mais alto e o limite sul do depósito (PEREIRA, 2013).

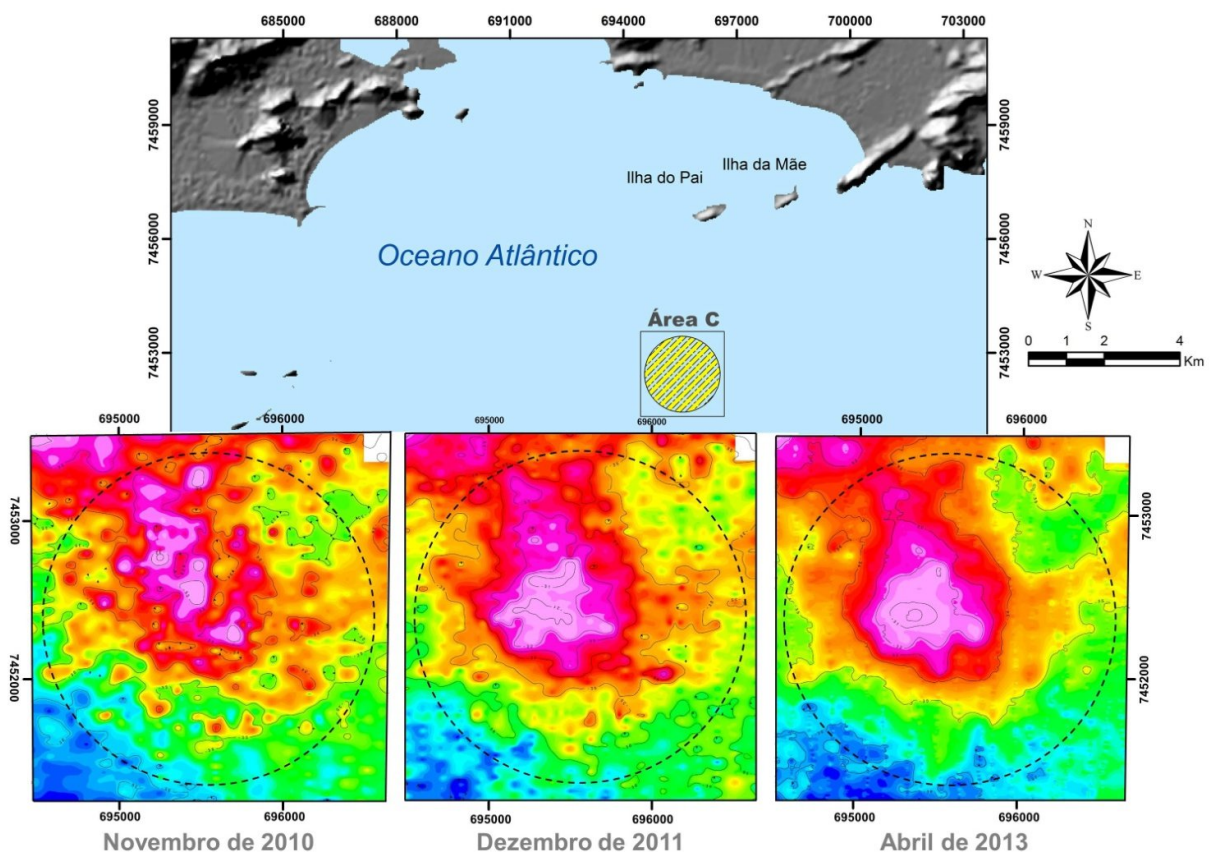


Figura 10. Resultados de levantamentos batimétricos referentes a área de descarte C. Fonte: Tese de doutorado: Abordagem Multimetodológica sobre o despejo de sedimentos de dragagem em área de descarte oceânico - plataforma adjacente à Baía de Guanabara, Thiago Gonçalves Pereira, 2013.

## LEVANTAMENTO COM SVL

### Fundamentos

Um sonar de varredura lateral desempenha a função de um sistema acústico utilizado para o imageamento do fundo marinho. Em seu produto, é gerada uma imagem que se assemelha a uma fotografia do fundo marinho, aonde as tonalidades observadas nessa imagem se correlacionam aos diferentes tipos de sedimento (conforme suas granulometria, mineralogia, adensamento, etc.) e estruturas, como rochas maciças ou objetos (FLOOD, 1980).

A técnica se resume na transmissão de um sinal acústico onde o som é transmitido lateralmente para a água por um transdutor rebocado por uma embarcação. O pulso sonográfico ou frente de onda sonora incide para os dois lados num eixo transversal ao de navegação em vez de apenas em linha reta para baixo. O sinal acústico, transmitido pelo sistema é propagado com ângulo de espalhamento aproximado de  $30^\circ$  e reflete na interface entre água e o sedimento, provocando a absorção, reflexão ou dispersão ao interagir com o fundo marinho (sedimentos e estruturas) (BLONDEL e MURTON, 1997), e, ao retornar ao transdutor, o sinal é transformado em pulso elétrico e registrado no software do sistema.

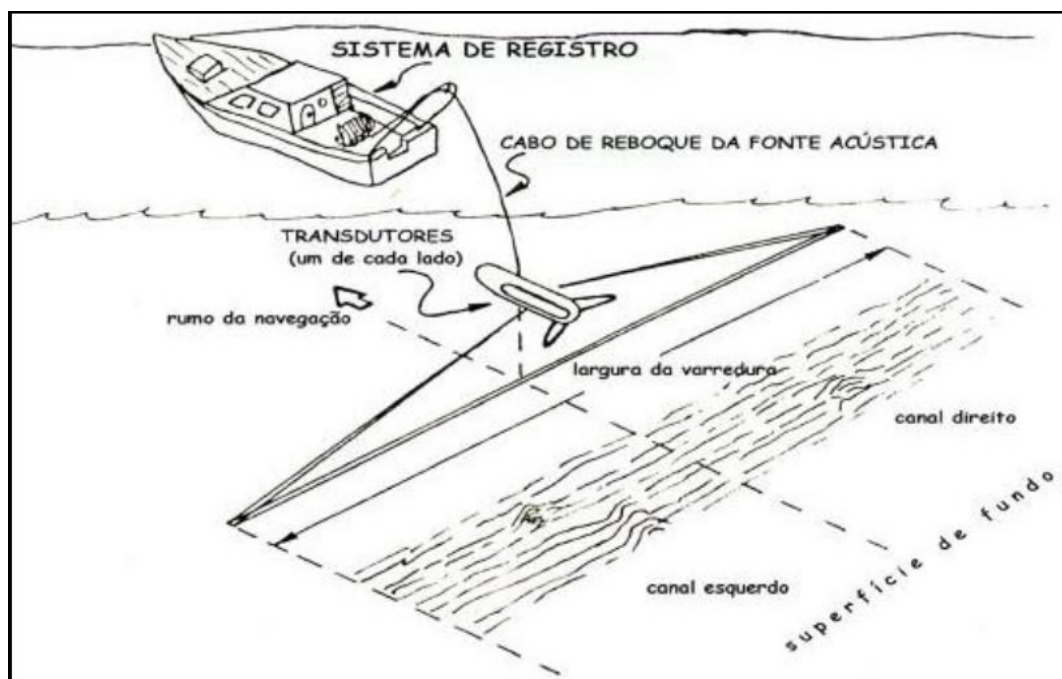


Figura 11. Ilustração do mecanismo de funcionamento dos feixes de um SVL. Fonte: MAZEL, 1985.

A inclinação da superfície de fundo é um fator que majoritariamente controla a intensidade do sinal acústico de retorno, ou seja, um sinal mais forte será recebido para a parte em que a superfície do fundo está com sua direção voltada para o instrumento. Há a possibilidade de formação de sombras acústicas em estruturas elevadas, em formas que se destacam da superfície do fundo, como uma topografia irregular, formando imagens escuras para onde a sombra está projetada (QUARESMA, 2009).

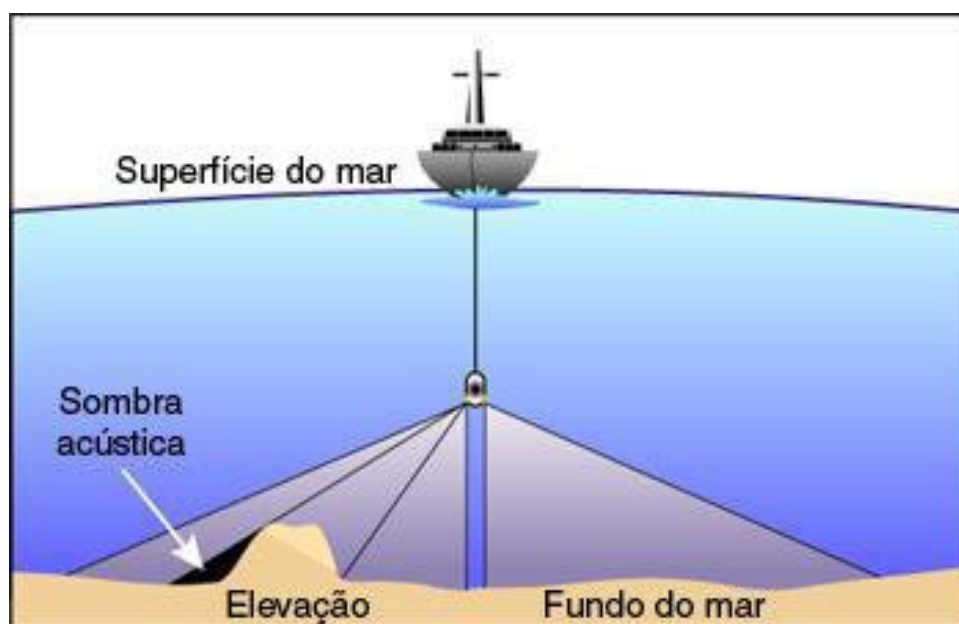


Figura 12. Esquema de formação de sombras acústicas. Fonte: [www.punaridge.org/doc/factoids/digitaldata/default.htm](http://www.punaridge.org/doc/factoids/digitaldata/default.htm).

De uma forma usual, quanto mais grossos for o sedimento a interagir com a onda acústica, maior será a quantidade de energia refletida. De tal maneira, uma areia grossa refletirá a energia do que um sedimento composto por partículas finas. Isto ocorre devido a maior irregularidade e maior área de incidência causadas por grãos maiores, o que permite a maior refletância em um maior espalhamento de energia do sinal acústico (AYRES e AGUIAR, 1993).

O sinal acústico emitido possui frequências altas (de 100 kHz à 500 kHz), o que permite o imageamento do fundo marinho (SOUZA, 2006). A frequência é designada pelo ciclo, em que um comprimento de onda (distância entre as ondas, num mesmo ponto de cada onda), se repete num período de 1 segundo. Tanto o comprimento de

onda quanto a frequência são importantes grandezas físicas para o entendimento de um sonar de varredura lateral.

Portanto, para se realizar o imageamento através do sonar, é preciso apenas especificar umas dessas grandezas para que a outra seja determinada. Logo, sinais acústicos de alta frequência são fortemente atenuados pela água do mar, devido ao seu pequeno comprimento de onda, e, já os sinais de baixa frequência, são reduzidos a uma taxa menor. Na tabela 1 pode-se observar a efetividade de um sinal acústico de acordo com sua frequência e comprimento de onda.

<b>Frequency</b>	<b>Wavelength</b>	<b>Distance</b>
100 Hz	15 meters	One thousand kilometers or more
1 kHz	1.5 meters	One hundred kilometers or more
10 kHz	15 centimeters	Ten kilometers
25 kHz	6 centimeters	Three kilometers
50 kHz	3 centimeters	One kilometer
100 kHz	1.5 centimeters	600 meters
500 kHz	3 millimeters	150 meters
1 MHz	1.5 millimeters	50 meters

*Tabela 1. Relação entre varredura de uma área x frequência e comprimento de onda. Fonte: FISH e CARR, 1990.*

O sonar de varredura lateral é composto por dois transdutores que desempenham as funções de emissão e recepção do sinal acústico e estão localizados nas laterais do equipamento.

Suas principais aplicações são: o mapeamento da geologia do fundo do mar, a distribuição superficial dos sedimentos depositados nele, a identificação de obstáculos (navios encalhados, dutos submarinos, detritos, etc.), a arqueologia submarina e a determinação de áreas móveis na superfície do assoalho marinho (sand-waves).



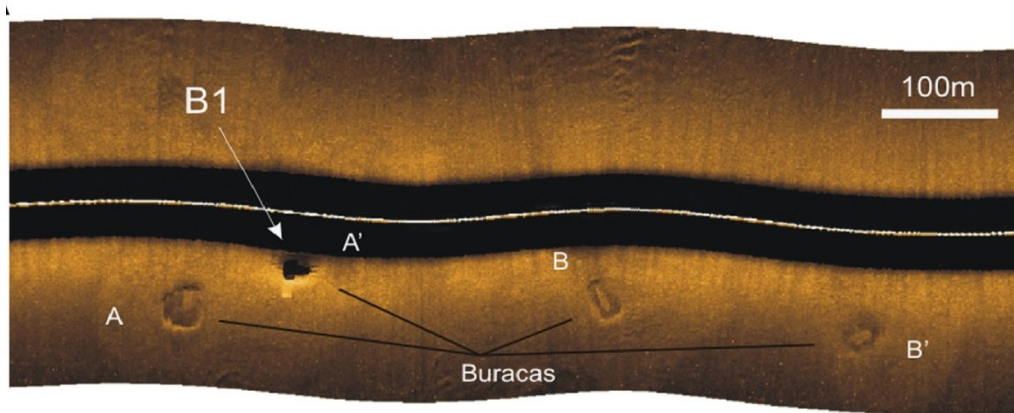


Figura 13. Exemplo de imagem gerada por sondagem com um sidescan sonar. Fonte: Bastos et al. ;Buracas:Novel and unusual sinkhole-like features in the Arolhos Bank.

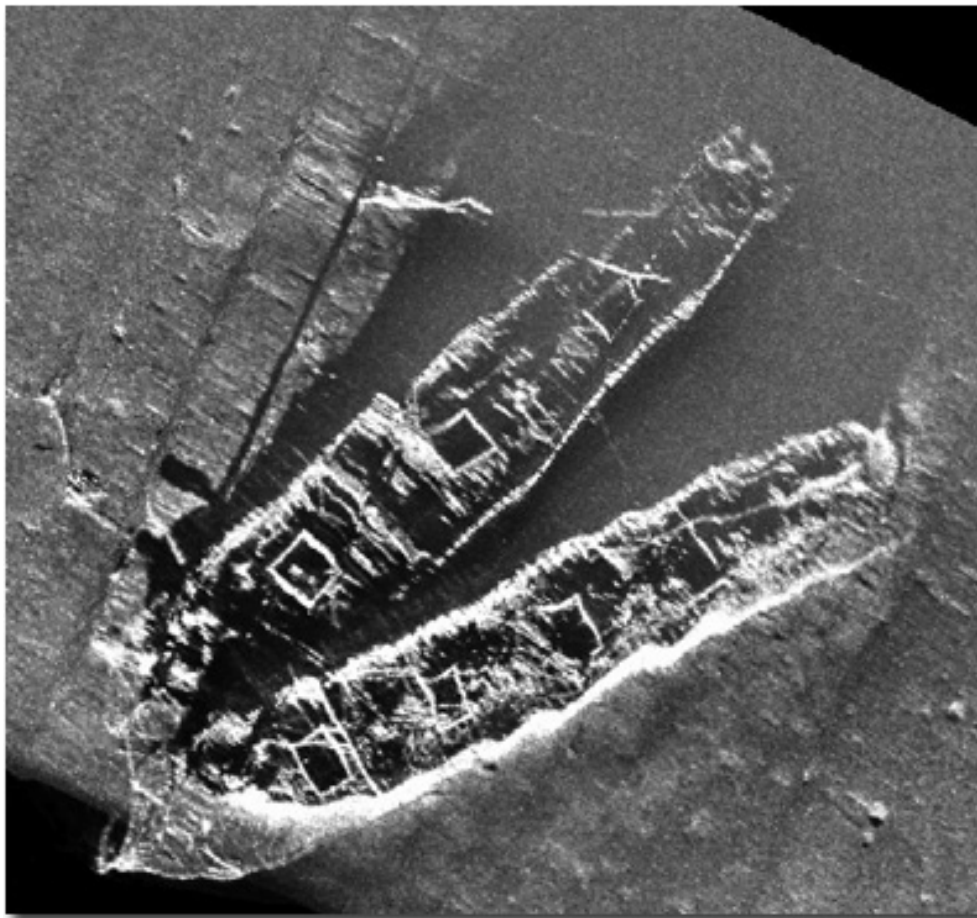


Figura 14. Exemplo de imagem gerada por sonar de varredura lateral para investigação de destroços de embarcações. Fonte: <http://pbrasil.wordpress.com/>, ORPHEU.

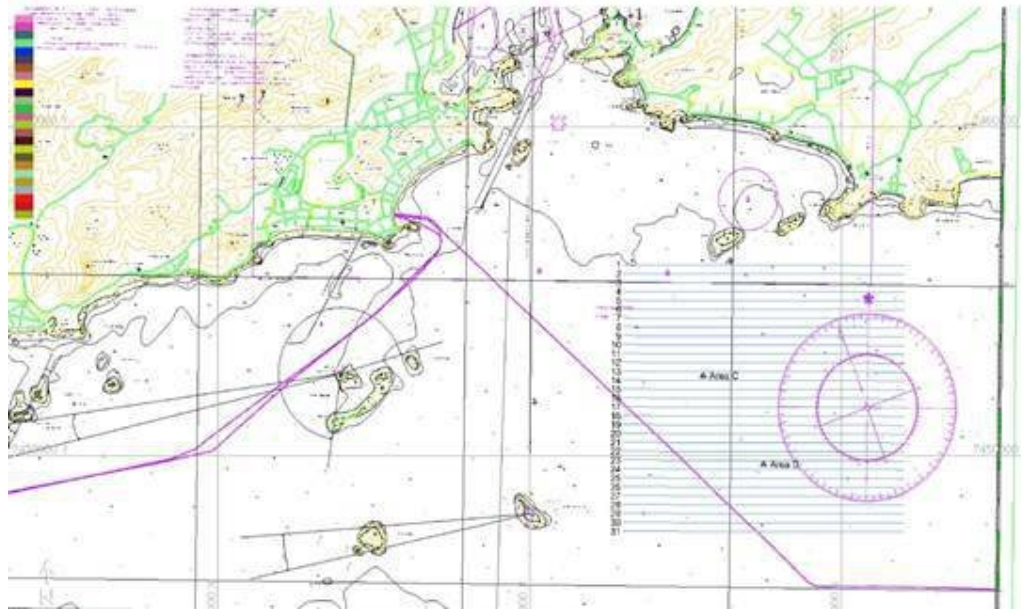
## METODOLOGIA

O equipamento a ser utilizado no trabalho será um peixe de modelo 272 – TD Side Scan Sonar, do fabricante *EdgeTech* (figura 9). O sonar opera em frequência dual, sendo controlada, e podendo variar da frequência padrão de 100 kHz à frequência máxima de 500 kHz. O peixe é rebocado pela embarcação enquanto realiza a emissão e recepção do sinal acústico, podendo situar-se em profundidade rasa e média.



*Figura 15. "Tow-fish" modelo 272 – TD da EdgeTech.*

A varredura inicial prevista para o levantamento será feita no range de 150m, com espaçamentos de 270m entre as linhas de varredura do sonar, para que haja recobrimento com espaçamento de 30m entre as imagens obtidas. A navegação será controlada pelo programa Hypack e sistema DGPS.



*Figura 16. Localização das linhas de navegação do levantamento sonográfico e dos centros das áreas de despejo.*

## **RESULTADOS**

A utilização do sonar de varredura lateral teve como objetivo realizar uma identificação primária do depósito de material dragado sob a superfície marinha, e conseqüentemente a análise dos efeitos causados pelo mesmo no ambiente presente. Pode-se observar na figura 16 o conjunto total de linhas sonográficas obtidas no ponto C.



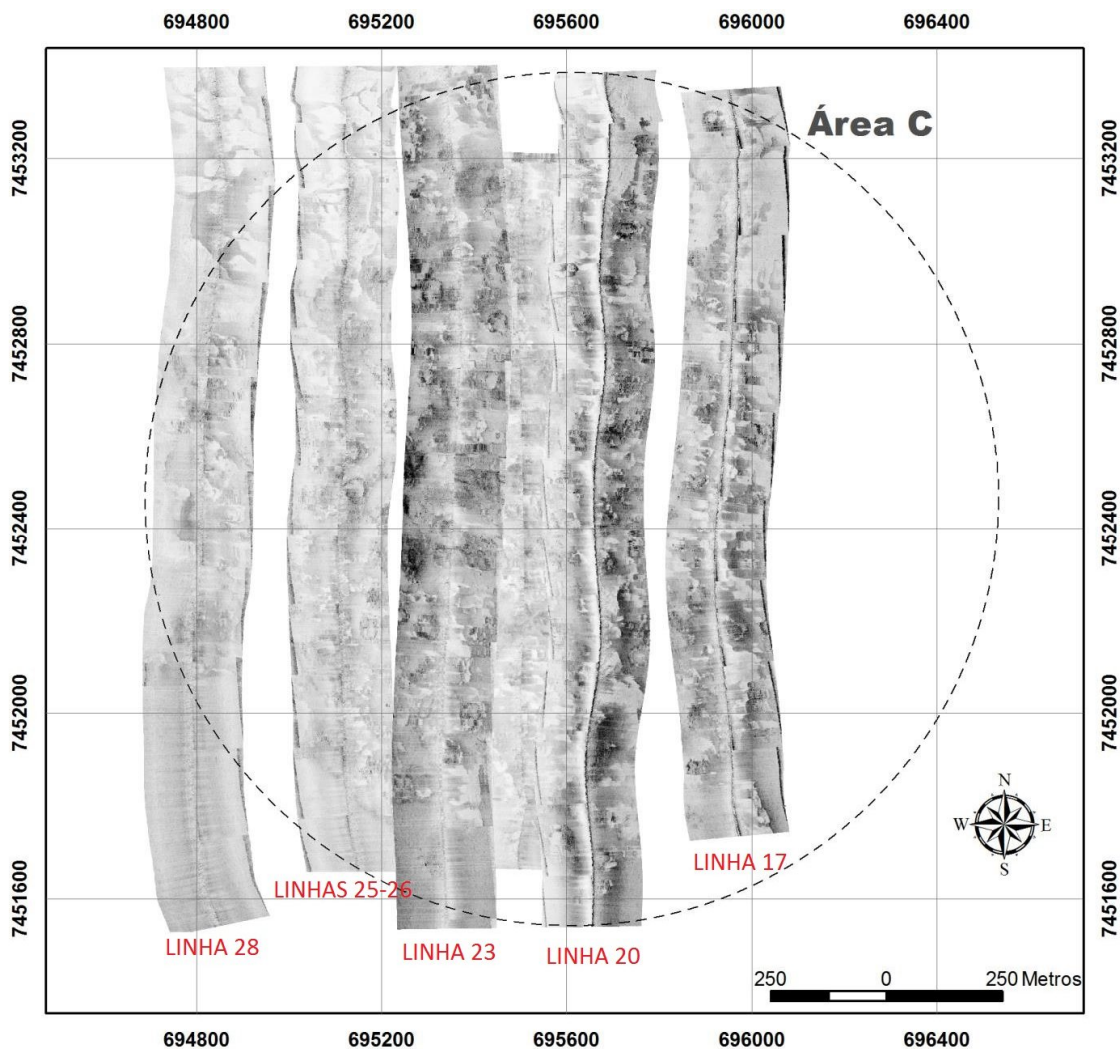


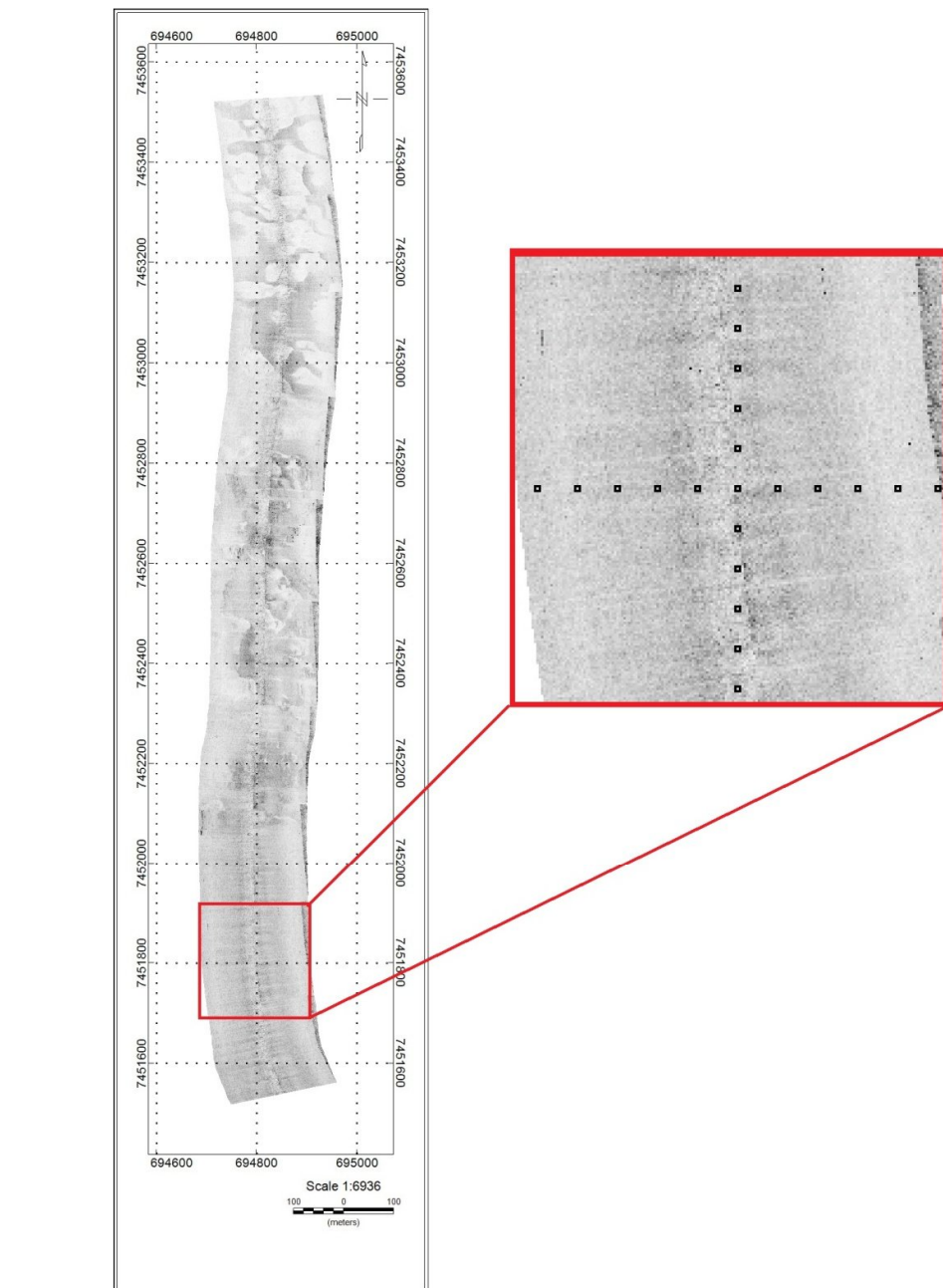
Figura 17. Mosaico de imagens dos perfis de levantamentos com o uso do sonar de varredura lateral.  
 Fonte: Modificado de tese de doutorado: *Abordagem Multimetodológica sobre o despejo de sedimentos de dragagem em área de descarte oceânico - plataforma adjacente à Baía de Guanabara*, Thiago Gonçalves Pereira, 2013.

Observa-se que quanto mais ao centro da região de despejo, maior é a concentração de pontos de maior refletividade, que são representados por cores mais escuras. Essas reflexões escuras indicam a presença de material lamoso, já os tons cinza mais claro representam areias.

Fora do círculo delimitador da área C nota-se com nitidez o preenchimento da superfície do assoalho marinho por sedimentos arenosos, que são de característica natural da região de estudo, caracterizados pela representação de tons de cinza



mais claros. É importante ressaltar também a não perturbação na organização dos sedimentos na região apontada (figura 17).



*Figura 18. Imagem sonográfica da linha 28 com identificação das feições arenosas no assoalho oceânico.*

Realizando uma comparação entre a sedimentação prevista pela carta de sedimentos marinhos superficiais (DIAS, 2001) da figura 5, com as imagens do levantamento sonográfico presentes no ponto C, constata-se que a lama acumulada

no centro do ponto C provém de despejos de material dragado de dentro da baía de Guanabara (figura 18), onde há predominância de sedimentos deste tipo. Nas Figuras 19 e 20 observa-se em detalhe o material tipicamente lamoso dragado na área do interior da Baía e o seu posterior descarte no ponto C, respectivamente.

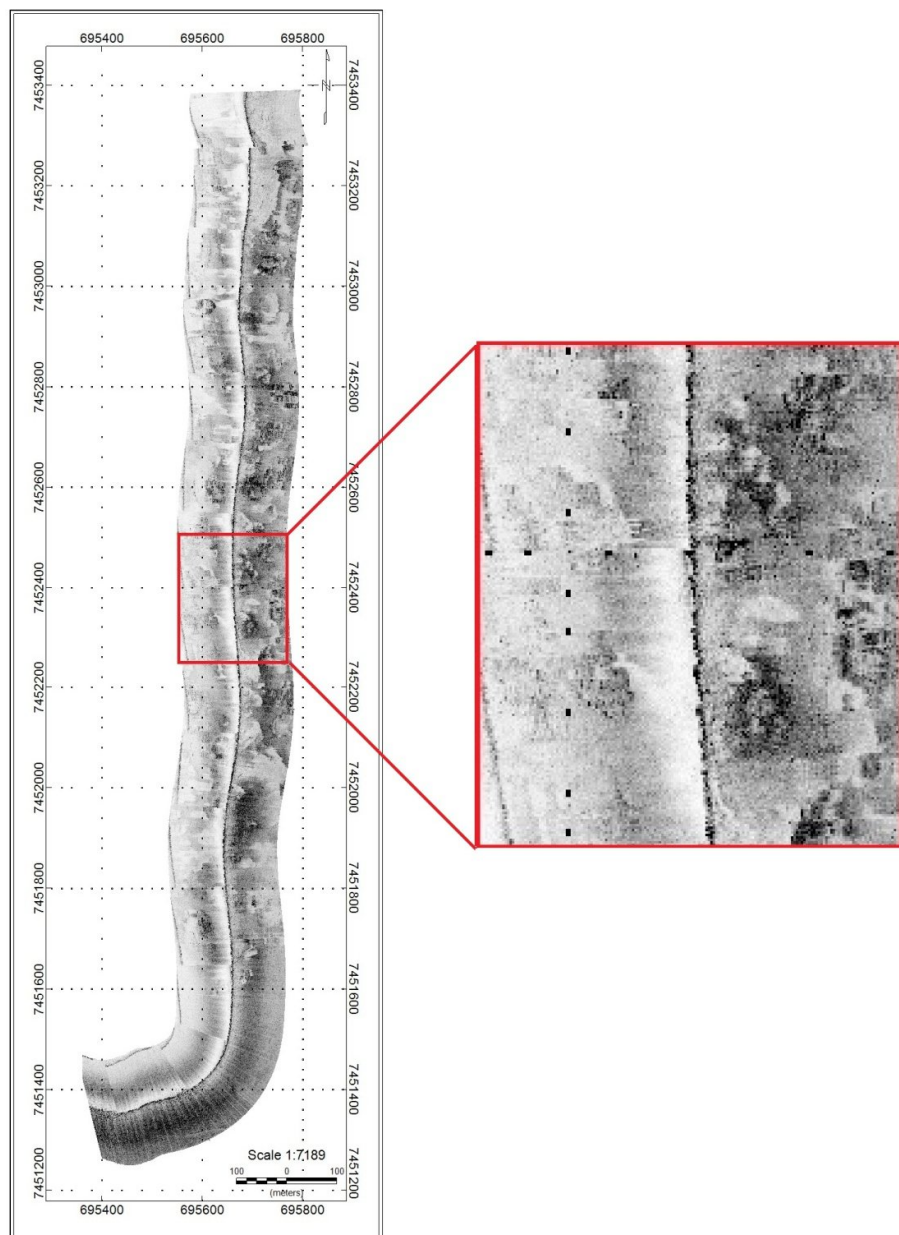


Figura 19. Imagem sonográfica da linha 20 com ênfase na acumulação de material lamoso.

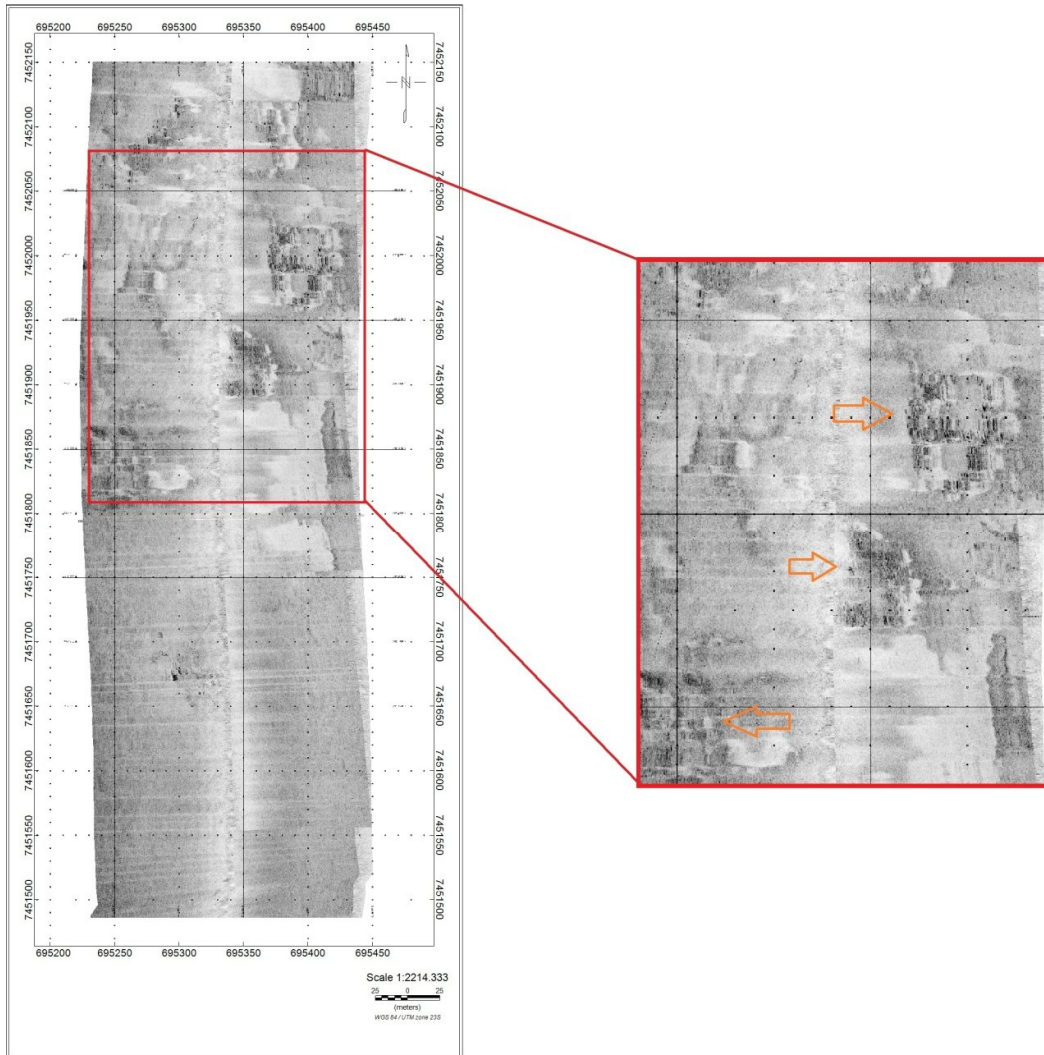


*Figura 20. Amostra de material lamoso proveniente do interior da Baía.*



*Figura 21. Embarcações realizando o despejo do material dragado do interior da Baía diretamente no ponto de estudo C.*

Também é evidente a presença de registros dos impactos causados pelo material despejado em forma de anéis de colapso, devido à alta resistência do material ao entrar em contato com a cobertura sedimentar da superfície marinha (figura 19).



*Figura 22. Imagem sonográfica da linha 23 detalhada indicando a presença de anéis de perturbação do fundo marinho.*

## CONCLUSÃO

À partir da análise das imagens do levantamento com sidescan sonar no ponto C proposta, foram observadas as feições previstas. Concentrações de lamas com maior acentuação na região central, anéis de colapso de material despejado preservados, e, em áreas mais distais ao centro do círculo que delimita a área C

uma cobertura mais arenosa indicadora da feição original (sem transformação) da região. Todos esses fatores indicam a realização de despejo de material originário da Baía de Guanabara no local. Considerando-se que a maior parte das áreas dragadas da Baía de Guanabara são formadas por sedimentos contaminados, este bota-fora representa um grande impacto ambiental na área. Por ser uma região de grande importância ambiental, levantamentos periódicos com sidescan sonar deveriam ser realizados com uma certa frequência, para monitorar estes depósitos de bota-fora, para medir o real impacto ambiental na área de estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAPTISTA NETO JA; PONZI V. R. A.; SICHEL S. E. (2004) Introdução à Geologia Marinha. p. 137-141.

BASTOS A. C., MOURA R. L., AMADO-FILHO G. M., D'AGOSTINI D. P., SECCHIN N. A., FRANCINI-FILHO B., GÜTH A. Z., SUMIDA P. Y.G., MAHIQUES M. M., THOMPSON F. L. (2013) Buracas: Novel and unusual sink hole-like features in the Abrolhos Bank. *Continental Shelf Research* 70(2013) p.118–125.

CATANZARO L. F., BAPTISTA NETO JA, GUIMARÃES M. S. AND G. S. CLEVERSON (2004) Distinctive sedimentary processes in Guanabara bay – SE/Brazil, based on the analysis of echo-character (7.0kHz). *Revista Brasileira de Geofísica* (2004) 22(1): 69-83.

FERRARI A. L. (2001) Evolução Tectônica do *Grabenda* Guanabara. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. p. 1-449.

GONÇALVES, T. P. (2013) Abordagem multimetodológica sobre o despejo de sedimentos de dragagem em área de descarte oceânico – plataforma adjacente à Baía de Guanabara. Tese de Doutorado em Geologia e Geofísica Marinha. p.1-282.

GRANATO F. C. (2005) Subsídios Técnicos para o Estabelecimento de um Plano de Gerenciamento Ambiental Integrado do Processo de Dragagem do Porto de Rio Grande - RS. Tese de Mestrado. Fundação Universidade Federal do Rio Grande. p. 1-141.

KJERFVE B, RIBEIRO CA, DIAS GTM, FILIPPO A, QUARESMA VS (1997) Oceanographic characteristics of an impacted coastal bay: Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil. Cont. Shelf Res. 17(13):1609–1643.

MARINO I. G.; SILVA G. C; BAPTISTA NETO JA (2011) Correlação entre dados geofísicos, sedimentológicos e geoquímicos na caracterização dos depósitos quaternários e influência da ação antrópica na Baía de Guanabara, Rj. ABEQUA. p. 1-5.

QUARESMA VS, DIAS GTM, BAPTISTA NETO JA (2000) Caracterização da ocorrência de padrões de sonar de varredura lateral e sísmica de alta frequência (3,5 e 7,0 kHz) na porção sul da Baía de Guanabara—RJ. Braz J Geophysics 18(2):201–214.

RICCOMINI C. (1989) O Rift Continental do Sudeste do Brasil. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. p. 1-319.

SALVADOR M. V. AND AUGUSTA M. DA SILVA(2001) Morphology and sedimentology of the Itaipú Embayment – Niterói /RJ. Anais da Academia Brasileira de Ciências (2002) 74(1): 127–134.

SILVA J. G. S. (2010) A utilização do sonar de varredura lateral e do ecobatímetro multifeixe na interpretação e análise da morfologia da Baía de Vitória (ES). Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharel em Geofísica, Universidade Federal Fluminense. p. 1-76.

TROTTA M. C, (2004) Análise estrutural dos diques e brechas tectônicas da região leste do Gráben da Guanabara, estado do Rio de Janeiro. Centro de Estudos



Gerais, Instituto de Geociências. Programa de pós-graduação em geologia e geofísica marinha - Mestrado. p. 1-61.

UKMPA CENTRE. UK Marine SACs Project website (2001).  
[www.ukmarinesac.org.uk/index.htm](http://www.ukmarinesac.org.uk/index.htm).

WARE, S.\*, G. BOLAM S., HUBERT L. REES (2009) Impact and recovery associated with the deposition of capital dredging at UK disposal sites: Lessons for future licensing and monitoring Marine Pollution Bulletin 60 (2010). p. 79–90.

WILBER D., CLARKE D.(2010) Dredging activities and the potential impacts of sediment resuspension and sedimentation on oyster reefs. Research Article. p. 1-9.



