Leandro de Sousa Batista

Mapeamento, através de métodos geofísicos, dos impactos ambientais dos rejeitos de dragagem em regiões de bota-fora na Plataforma Continental do Rio de Janeiro

Brasil 2018 Leandro de Sousa Batista

Mapeamento, através de métodos geofísicos, dos impactos ambientais dos rejeitos de dragagem em regiões de bota-fora na Plataforma Continental do Rio de Janeiro

Projeto Final II em Geofísica apresentado à Universidade Federal Fluminense como exigência parcial para obtenção do título de Bacharel em Geofísica

Universidade Federal Fluminense

Orientador: José Antônio Baptista Neto

Brasil 2018 Leandro de Sousa Batista

Mapeamento, através de métodos geofísicos, dos impactos ambientais dos rejeitos de dragagem em regiões de bota-fora na Plataforma Continental do Rio de Janeiro

Projeto Final II em Geofísica apresentado à Universidade Federal Fluminense como exigência parcial para obtenção do título de Bacharel em Geofísica

Orientador:José Antônio Baptista Neto

Aprovado em :

José Antônio Baptista Neto (Orientador) Universidade Federal Fluminense

Hélio Heringer Villena Universidade do Estado do Rio de Janeiro

> **Cleverson Guizan Silva** Universidade Federal Fluminense

ii

Resumo

O uso de dragagens para a manutenção da comercialidade de região portuárias é algo recorrente e o monitoramento do manejo desse sedimento é igualmente importante. As dragagens vem sendo cada vez mais utilizadas nas últimas décadas pelo aumento do calado dos navios e aporte sedimentar pelo aumento da atividade antropogênica. Apenas nos últimos anos que o mapeamento das atividades de dragagem vem ganhando devida importância, e junto a esse crescimento a Geofísica ganhou espaço. Pois com métodos indiretos é possível cobrir grandes áreas em pouco tempo, além de não utilizar nenhum método destrutivo. Neste estudo, valendo-se de métodos acústicos (Sísmica de alta resolução e sonografia), teve o objetivo de mapear as áreas de despejo de sedimento dragado do Porto do Rio de Janeiro na plataforma continental rasa. Além de qualquer outra estrutura localizada na região de pesquisa.

Palavras-chave: Sonografia, Sísmica, hidrografia, dragagem

Abstract

The use of dredging to maintain the commercial viability of the port region is recurrent, and the monitoring of the dumping of this sediment is also important. The dredging is being increasingly used in the last decades by increasing the draft of vessels and sedimentary supply by increased anthropogenic activity. Only in recent years that the mapping of the dredging activities has been gaining due weight, and along with this growth the Geophysics won space too. As with indirect methods it is possible to cover large areas in a short time, in addition to not using any destructive method. In this study, using acoustic methods (sub-bottom profile and sidescan sonar), aimed to map the dredged sediment dump areas of the port of rio de Janeiro in the continental shelf. Besides to any other structure located in the area of research.

Keywords: Sidescan sonar, seismic, hydrography, dredging

Sumário

	Sumário
	Lista de ilustrações
	Lista de tabelas
1	INTRODUÇÃO 1
1.1	Motivação
1.2	Objetivo
2	ÁREA DE ESTUDO
2.1	Localização
2.2	Geomorfologia regional
3	REVISÃO CONCEITUAL
3.1	Método sísmico
3.1.1	Ondas sísmicas
3.1.2	Resolução Vertical
3.1.3	Sísmica de alta resolução
3.2	Sonografia
4	METODOLOGIA 18
5	RESULTADOS
5.1	Sonografia
5.2	Sísmica de alta resolução
6	DISCUSSÃO
7	CONCLUSÃO
	REFERÊNCIAS

Lista de ilustrações

Figura 1 –	Áreas previstas para despejo de material dragado	3
Figura 2 –	Localização da área de estudo	5
Figura 3 –	Posicionamento da Área C em relação a pontos de relevante	
	interesse ambiental	6
Figura 4 –	Carta de sedimentos marinhos superficiais	7
Figura 5 –	Uma curva tensão-deformação típica para um corpo sólido	8
Figura 6 –	Transmissão e reflexão do sinal sísmico	10
Figura 7 –	Transmissão e reflexão do sinal sísmico	13
Figura 8 –	Ilustração demonstrando como funciona a aquisição de uma	
	atividade sonografica.	15
Figura 9 –	Esquema com a definição de algumas parâmetros de propagação	
	do sinal de Sidescan sonar	16
Figura 10 –	Reflexão e espalhamento (backscattering) do sinal acústico emi-	
	tido pelo sonar	17
Figura 11 –	Localização das linhas sonográficas/sísmicas	18
Figura 12 –	"Tow-fish" modelo 272 – TD da EdgeTech	19
Figura 13 –	Modelo de Equipamento Chirp utilizado no levantamento sísmico.	19
Figura 14 –	Mosaico com a exemplificação de cada ganho em uma mesma	
	área específica do estudo. Sem aplicação de nenhum ganho (A),	
	com o AGC (B), com o TVG (C) e com o EGN (D). \ldots .	22
Figura 15 –	Mosaico com a exemplificação de cada paleta de cor em uma	
	mesma área específica do estudo. De cima para baixo, as paletas	
	grey, newgrey e klein	23
Figura 16 –	Mapa da área de estudo plotado junto às linhas de sonar de	
	varredura lateral	23
Figura 17 –	Mosaico com exemplo de cada uma das quatro diferentes respos-	
	tas encontradas no dado sonográfico	24
Figura 19 –	Detalhe da área mapeada com rejeito na segunda linha de aquisição.	25

Figura	18 -	Mapa da área de estudo plotado junto às linhas de sonar de	
		varredura lateral, bota-foras (vermelho) e despejos mapeados	
		$(verde). \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots $	26
Figura	20 -	Seção sísmica de um trecho específico da área de estudo. $\ .\ .$	27
Figura	21 -	Fluxo de processamento empregado no estudo	28
Figura	22 -	Seção sísmica, pós-processada, de um trecho específico da área	
		de estudo	28
Figura	23 -	Mosaico dos ecocaráteres mapeados na área de estudo	29
Figura	24 -	Seção sísmica da região das ilhas Cagarras	30
Figura	25 -	Seção sísmica da região com rejeito de dragagem	31
Figura	26 -	Seção sísmica com o registro do emissário submarino	31
Figura	27 -	Visualização 3D das linhas adquiridas no estudo	32
Figura	28 -	Imagem com exagero vertical das linhas sísmica, com enfoque	
		nas zonas de despejo	32
Figura	29 -	Exemplos de registros zonas de rejeito com os dois métodos	
		geofísicos	33

Lista de tabelas

Tabela 1 –	Limites da resolução vertical.	11
Tabela 2 –	Características das principais fontes sísmicas.	14

1 Introdução

Zonas portuárias são regiões com alta taxa de circulação aquaviária e com alto grau de importância econômica para qualquer país. O que torna essencial a manutenção da lâmina d'água destas regiões. Além disso, muitas vezes, elas podem estar localizadas em ambientes estuarinos, sofrendo assim um grande aporte sedimentar, o que torna a dragagem uma atividade fundamental e constante.

Todos os anos, as operações de dragagem geram centenas de milhões de metros cúbicos de sedimentos em todo o mundo, que devem ser descartados e gerenciados de forma economicamente e ambientalmente sustentáveis (HARVEY et al., 1998). Dragagens e eliminação de material dragado são um dos maiores e mais importantes problemas ambientais da gestão da zona costeira (MARMIN et al., 2014). A necessidade de dragagem tem sido fortemente influenciada pelo aumento dos requisitos de transporte aquaviário, e do tamanho das embarcações. Como consequência da pressão econômica da navegação, os canais são regularmente dragados para garantir uma profundidade suficiente para uma grande variedade de embarcações. Isto, tal como descrito, acarretou em modificações nos padrões de sedimentação de estuários e baías. Estas atividades vêm provocando, ao longo dos anos, alterações, e afetam a qualidade ambiental dessas regiões uma vez que, além do aporte de sedimentos, vários poluentes industriais e domésticos são despejados, diariamente nas baías e estuários; tornando-os muitas vezes, ambientes bastante degradados (KJERFVE; LACERDA; DIAS, 2001; NETO et al., 2006). Tão importante quanto a dragagem é a redistribuição do material dragado no assoalho oceânico, pois este pode ser responsável por uma grande perturbação ao ecossistema marinho da região (ESSINK, 1999; BOLAM et al., 2006).

Embora o uso de dragagens seja uma prática necessária para suprir as atuais necessidades econômicas, o devido cuidado com sua realização através de estudos multidisciplinares é algo extremamente necessário para se entender as questões ambientais associadas a essa prática. O estudo dos distúrbios naturais e antropogênicos é chave para o devido tratamento que se deve tomar com todo o ecossistema envolvido. No passado, eram utilizados apenas métodos diretos, como análise de testemunhos, para quantificar a sedimentação marinha e seu ambiente bentônico associado (BOYD et al., 2002). O que muitas vezes podia trazer um grande erro ao estudo, pois iria atribuir características de alguns pontos específicos para uma região que poderia apresentar uma complexidade muito maior. Uma revolução nestes estudos foi o uso de métodos indiretos para se imagear grandes extensões em muito menos tempo. Onde se ganhou cada vez mais espaço o uso da Geofísica, mais precisamente o uso de métodos acústicos para imageamento do fundo oceânico e subsuperfície.

A utilização de um ou mais métodos acústicos como, sidescan sonar, sísmica de alta resolução e batimetria possibilita o imageamento de grandes áreas e caracterização de "fácies Geofísicas' para diferentes respostas ao sinal emitido (CARLINO et al., 2013).

1.1 Motivação

Nos últimos 40 anos a preocupação com a gestão adequada do material dragado ganhou grande importância ambiental na Europa e nos Estados Unidos, enquanto que no Brasil, apenas nas últimas décadas iniciaram-se esforços reais a fim de permitir uma melhor compreensão do manejo de material dragado. Anteriormente a isso, o rejeito de dragagens era despejado sem nenhuma preocupação com os impactos que aquele material poderia provocar ao ambiente marinho. E no estado do Rio de Janeiro esse cenário não era diferente, onde o crescimento da fiscalização e do estudo destas zonas de despejo ganhou maior importância apenas nos últimos anos.

A delimitação de áreas de descarte de material dragado na plataforma continental do Rio de Janeiro foi proposta por estudos dirigidos pelo INPH, a partir do ano de 1996, em que os alojamentos de materiais dragados oriundos da Baía de Guanabara passaram a ser autorizados pela Fundação Estadual de Engenharia e Meio Ambiente (FEEMA), que posteriormente foi reestruturado e denominado Instituto Estadual do Ambiente – INEA (PEREIRA, 2013). Na ocasião, foram criadas as áreas A, B e C, todas localizadas nas proximidades da barra da Baía de Guanabara.



Figura 1 – Áreas previstas para despejo de material dragado.

Fonte: Pereira (2013)

Locais de mar aberto utilizados para disposição de sedimentos dragados são denominados de áreas de descarte oceânico, conhecidos vulgarmente como bota-foras (PEREIRA, 2013).

E desde de então foram feitos os descartes de várias regiões da Baía de Guanabara seguindo esse modelo. Mas para essa delimitação ser eficiente é necessário um constante monitoramento da região para o real entendimento da dinâmica marinha local.

1.2 Objetivo

Para um estudo do despejo de sedimentos dragados e da sua dinâmica de dispersão durante o tempo, se faz necessário o uso de métodos acústicos para a otimização da caracterização do assoalho marinho. Tendo como finalidade mapear os rejeitos do porto do Rio de Janeiro na plataforma continental rasa, foram feitas uma série de linhas de aquisição de Sidescan sonar e de sísmica de alta resolução.

Com o uso da sonografia será possível de se imagear uma grande área com apenas um levantamento. E com as zonas anômalas identificadas, a sísmica será utilizada para uma análise em profundidade e de possíveis impactos provocados pelas dragagens que não são possíveis de ser visualizados em 2D.

Com a união de todos os dados levantados, espera-se ser possível mapear as áreas de despejo, comprovar se as mesmas respeitam a jurisdição imposta pelo governo, além de qualquer outra anomalia no assoalho nas zonas adjacentes às regiões de remanejo de sedimento.

2 Área de estudo

2.1 Localização

A Baía de Guanabara localiza-se no estado do Rio de Janeiro, entre os paralelos 22°24"e 22°57"latitude sul, e meridianos 43°33"e 43°19"oeste. A baía representa um estuário com uma área total de 346 Km², incluindo 59Km² de ilhas. A baía é mais estreita em sua boca do que em seu interior, medindo aproximadamente 30 Km norte a sul e 28 Km leste a oeste (KJERFVE et al., 1997). A região de estudo (figura 2) se apresenta na entrada da Baía de Guanabara, cobrindo as áreas delimitadas pelo INEA para serem depositados os sedimentos das dragagens feitas em toda a Baía de Guanabara.





2.2 Geomorfologia regional

A região costeira, adjacente ao local de despejo, está sob o domínio do Macrocompartimento dos Cordões Litorâneos, que compreende o litoral entre a Ilha da Marambaia e o Cabo Frio (MUEHE; VALENTINI, 1998). Esta faixa litorânea é marcada principalmente pela presença de cordões litorâneos orientados para a direção sul. Estes cordões foram formados nas últimas transgressões marinhas Quaternárias, que barraram as lagoas costeiras observadas à retaguarda destas feições. Outra importante característica 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 lagunas e baía (PEREIRA, 2013).

As praias da região apresentam tendências reflexivas que geram alto grau de variabilidade sedimentar. A granulometria praial varia entre areias muito grossas a finas, indo de encontro à tendência reflexiva, com elevado gradiente da face praia.

O trecho da zona costeira que sofre transportes transversais e longitudinais à linha de costa pode ser representado desde o perfil praial emerso até a antepraia, onde se localizam as áreas de despejo. Está região se encontra inserida no limite interno da plataforma continental.





Os cordões litorâneos adjacentes às áreas de despejos são as praias de Piratininga, Camboinhas, Itaipu e Itacoatiara e formam uma sequência de arcos de praias com orientação aproximadamente de NO-SE. Estas praias estão inseridas dentro da AID (Área de Influência Direta), segundo estudos elaborados para uma dragagem de adequação para terminais aquaviários localizados no interior da baía de Guanabara, no qual também utilizaram as áreas estudadas como local de descarte (PEREIRA, 2013).

Dias (2001) propõe uma carta sedimentológica da cobertura superficial da plataforma e talude entre o RJ e ES. Nesta carta (Figura 4) observa-se que a região de estudo é composta por três populações distintas de sedimentos: areia bioclástica muito fina, areia quartzosa média e areia quartzosa grossa(PEREIRA, 2013).

Figura 4 – Carta de sedimentos marinhos superficiais.



Modificado de Dias, 2001

3 Revisão conceitual

3.1 Método sísmico

Em um levantamento sísmico, uma fonte é utilizada para geração de ondas sísmicas que se propagam por todo o meio, em subsuperfície elas são refratadas e refletidas por diferenças de propriedades físicas dos materiais. **Tensão** e **deformação** são dois princípios fundamentais para o entendimento do comportamentos destas ondas em subsuperfície.

Na aplicação de forças a um corpo, um conjunto de componentes internas são estabelecidas. Tensão (stress) é uma medida da intensidade dessas forças em equilíbrio (KEAREY et al., 2009). Se uma força é aplicada perpendicularmente a um corpo, ela é dita como tensão normal ou compressional, já se a mesma é aplicada de forma tangencial a tensão é dita cisalhante (TELFORD et al., 1990).

Segundo Telford et al. (1990), quando um corpo elástico é submetido a certa tensão, mudanças na sua forma e dimensões ocorrem. E são denominadas deformação.



Figura 5 – Uma curva tensão-deformação típica para um corpo sólido.

Fonte:(KEAREY et al., 2009)

Para se relacionar tensão e deformação, quando a primeira não ultrapassou o limite de deformação, utiliza-se da Lei de Hooke. Esse limite pode ser explicado como o que um material pode se deformar e voltar a seu estado inicial, ao ultrapassálo o corpo tem suas características iniciais modificadas. Quando a tensão é elevada acima do limite elástico, a Lei de Hooke não mais se sustenta e a deformação se eleva de forma mais rápida. A deformação causada por essa força em excesso faz com que o corpo alterado não retorne mais ao suas condições iniciais (TELFORD et al., 1990).

Se utilizada dos módulos elásticos dos materiais para relacionar as diferentes formas de tensão e deformação existentes nos materiais. Considere um cilindro de comprimento original l e seção com área A que é estirado, gerando um incremento Δ l pela aplicação de uma força distensiva F nas suas extremidades. O módulo elástico pertinente é o módulo de Young E, definido por (KEAREY et al., 2009):

$$E = \frac{\text{tensão longitudinal } F/A}{\text{deformação longitudinal } \Delta l/l}$$
(3.1)

O cilindro sofrerá tanto deformação longitudinal como transversal, a razão entre elas é chamada de razão de Poisson (σ).

A razão entre tensão e deformação sobre um corpo que tem uma força simples aplicada P, e tem sua deformação volumétrica resultante em relação a mudança de volume inicial pode ser expressa pelo módulo de bulk 3.2.

$$K = \frac{P}{\Delta v/v} \tag{3.2}$$

De forma análoga, o módulo de cisalhamento, é definido como a razão entre tensão de cisalhamento τ e a deformação de cisalhamento tan Θ 3.3.

$$\mu = \frac{\tau}{tan\Theta} \tag{3.3}$$

3.1.1 Ondas sísmicas

Ondas sísmicas são pacotes de energia de deformação elástica que se propagam radialmente a partir de uma fonte sísmica, como um terremoto ou uma explosão (KEAREY et al., 2009). Elas podem ser descritas em funções dos modelos elásticos e assim subdivididas em dois grupos. As ondas de corpo e as superficiais. Esse primeiro grupo pode ainda ser dividido em ondas P e S.

As ondas compressionais, P ou também chamadas de primária, tem esse nome por em eventos de abalos sísmicos, são as primeiras a serem registradas por terem a maior velocidade. Isso se explica pela propagação se dá pela deformação por compressão e deformação na direção de propagação da onda.

Já as ondas cisalhantes, também chamadas de S ou secundárias, deslocam-se por cisalhamento puro formando ângulos perpendiculares com a direção de propagação da onda. Isso explica a causa de as ondas P serem registradas primeiro.

A velocidades de propagação das ondas P (ondas longitudinais) e S (ondas transversais) são definidas pelas equações (SCHÖN, 1996):

$$V_p = \sqrt{\frac{K + \frac{4\mu}{3}}{\rho}} \tag{3.4}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \tag{3.5}$$

Onde μ é módulo de rigidez e ρ r é a densidade do meio em que a onda se propaga.



Figura 6 – Transmissão e reflexão do sinal sísmico.

Fonte: (KEAREY et al., 2009)

Segundo Telford et al. (1990), em meios homogêneos isotrópico infinitos apenas existiriam ondas P e S. Entretanto, como o meio não se estende ao infinito em todas as direções, outros tipos de onda são criadas. Elas são chamadas de ondas superficiais. Que são ondas que se propagam ao longo de uma superfície livre ou dois meios sólidos não similares com movimento elíptico perpendicular a direção de propagação.

3.1.2 Resolução Vertical

Para duas reflexões, uma do topo e outro da base de uma camada, há um limite de quão perto elas podem estar, e ainda assim serem separáveis. Esse limite depende da espessura da camada e é a essência do problema de resolução vertical (YILMAZ, 2001).

O comprimento de onda de forma simples é descrito pela equação 3.6.

$$\lambda = \frac{v}{f} \tag{3.6}$$

Onde v é velocidade e f a frequência. A velocidade das camadas em subsuperfície vai de 1500 a 5000 m/s, que tende a crescer com a profundidade. Em levantamentos de sísmica profunda as frequências variam entre 20 e 50 Hz, na maioria das vezes, o que consegue trazer informação de até quilômetros em profundidade. Na tabela a seguir, pode ser visto de uma forma simplificado o problema da resolução vertical exemplificado. Quanto menor a frequência, mais profundo é o imageamento, mas com uma menor resolução vertical.

$\lambda/4 = v/4f$				
v(m/s)	f(Hz)	$\lambda/4~(\mathrm{m})$		
2000	50	10		
3000	40	18		
4000	30	33		

Tabela 1 – Limites da resolução vertical.

Fonte: modificado de (YILMAZ, 2001)

De forma análoga, a sísmica de alta resolução, por ter uma alta frequência, tem profundidade de investigação de no máximo algumas centenas de metros, mas tem resolução vertical que pode chegar até poucos centímetros.

3.1.3 Sísmica de alta resolução

Na sísmica de alta resolução, o imageamento de camadas menos profundas, que não ultrapassam algumas centenas de metros é o maior objetivo. Analisando o tempo de chegada de ondas sísmicas em diferentes pontos em uma mesma linha de levantamento pode-se identificar interfaces de reflexão e refração destas mesmas. Gerando assim perfis de subsuperfície da região de aquisição.

Nos oceanos, as ondas acústicas propagam-se com velocidade em torno de 1500 m/s, e a salinidade é um dos principais fatores de variação deste parâmetro. Já a velocidade de propagação nos sedimentos, por sua vez, depende basicamente dos módulos de compressão e rigidez(NETO, 2000). Os fatores que controlam estes parâmetros em sedimentos marinhos são porosidade, pressão de confinamento, grau de saturação e temperatura (WOODS, 1991).

O sinal sísmico é refletido sempre que encontra uma diferença de impedância entre dois meios, lembrando que a impedância acústica é encontrada através da velocidade de propagação e densidade do meio onde se propaga.

$$I_p = V_p * \rho \tag{3.7}$$

O coeficiente de reflexão pode ser encontrado, de forma simplificada, através dos ângulos de incidência na superfícies refletora. Neste caso, o coeficiente é dado pela razão entre a amplitude do sinal refletido e a do sinal incidente.

$$R_c = \frac{I_2 - I_1}{I_2 + I_1} \tag{3.8}$$

Onde $I_1 \in I_2$ são as impedâncias acústicas de duas camadas diferentes.

Um esquema mais simplificado pode ser visto na figura 7, onde a diferença de impedância entre as várias camadas sedimentares, vai causar vários eventos de reflexão, essas ondas refletidas serão captadas pelo receptor na embarcação.

Existem diversos tipos de fontes sísmicas, cada uma com uma finalidade, desde de airguns usados na indústria do petróleo que tem capacidade de imagear mais de



Figura 7 – Transmissão e reflexão do sinal sísmico.

Fonte:(NETO, 2000)

4 mil metros abaixo da lâmina d'água, até Chirps de alta frequência, que tem uma capacidade de penetração de poucos metros. Resumidamente, a grande diferença está na frequência da onda emitida por cada aparelho, onde baixas frequências irão imagear com maior profundidade mais com uma perda de resolução, e altas frequências irão penetrar menos em subsuperfície mais com uma resolução elevada. O esquema ilustrado a seguir, apresenta algumas das fontes para gerar sinais sísmicos.

A sísmica de alta resolução vem ganhando muito espaço em obras de engenharia submarina e de fiscalização ambiental. Como por exemplo, na delimitação de dutos submarinos, no monitoramento de emissários, na delimitação de áreas de descarte no estudo de hidrovias, são exemplos da crescente necessidade pelo o imageamento de superfícies submersas. Além, de cada vez mais os equipamentos vem ganhando em precisão e resolução, trazendo ainda mais confiança ao emprego do método. Um exemplo é o novo chirp de alta frequência., que gera ondas entre 20 e 50 KHz, conseguindo ter uma resolução vertical de até três centímetros, algo impensável até anos atrás.

Tipo de fonte	Profundidade de reboque	Frequência de pico	Diretividade
Bommer 105 J 280 J 350 J	$5 \mathrm{m}$ $5 \mathrm{m}$ $5 \mathrm{m}$	10 KHz 6,5 KHz 5,7 KHz	Forte
Sparker 100 J 200 J 300J	15 m 15 m 15 m	0,9 KHz 0,8 KHz 1,6 KHz	Média/Forte
$\begin{array}{c} \text{Airgun} \\ 10 \text{in}^3 \end{array}$	$25 \mathrm{~m}$	$0,5~\mathrm{KHz}$	Fraca
Transdutores 14 KHz 7 KHz 3,5 KHz	15 m 15 m 15 m	13,9 KHz 5,7 KHz 4 KHz	-
Chirp sonar 5 ms 10 ms 20 ms	15 m 15 m 15 m	6,5 KHz 6,5 KHz 6,5 KHz	Fraca

Tabela 2 – Características das principais fontes sísmicas.

Fonte: modificado de (NETO, 2000)

3.2 Sonografia

A Sonografia baseia-se, de forma análoga, aos princípios da reflexão do sinal acústico, com o intuito de investigação de áreas submersas, lidando todavia, com espectros de alta frequência, variando entre 100 e 1000 KHz. O sonar de varredura lateral é um equipamento rebocado por uma embarcação que emite um feixe lateral de ondas acústicas produzindo uma imagem acústica do fundo do mar cujo resultado final lembra em muito a uma fotografia aérea (NETO, 2000). Semelhante a sísmica, o equipamento e tipo de arranjo de aquisição utilizado, depende do objetivo que o estudo pretende. Um exemplo do equipamento utilizado em uma aquisição pode ser visto na figura 8.

O Sidescan sonar irá transmitir dois feixes, um para cada lado da embarcação. Esses dois feixes têm uma estreita separação de cobertura para manter uma boa resolução. A distância do sonar até um ponto do assoalho se chama alcance inclinado,



Figura 8 – Ilustração demonstrando como funciona a aquisição de uma atividade sonografica.

Fonte: Modificado de (MAZEL, 1985)

e não deve ser confundido com o alcance de solo, que é do ponto do assoalho marinho logo abaixo do sonar até o ponto do assoalho que está sendo imageado(BLONDEL, 2010). O ângulo de incidência que o sinal chega no fundo marinho é a chave para entender o comportamento do sinal. Quando ocorre a reflexão, a energia é propagada em todas as direções, e a onda de acordo com o terreno, pode perder uma parte de sua amplitude, e apenas uma pequena porcentagem do sinal transmitido será captado pelo receptor (retroespalhamento)(BLONDEL, 2010).

Segundo Souza (2002), nem todo sinal que chega ao transdutor, oriundo da superfície de fundo refere-se a sinais refletidos propriamente ditos. Na verdade, se admitíssemos uma superfície de fundo plana e lisa, os sinais emitidos não retornam ao transdutor. A existência de rugosidades na superfície de fundo, seja devido à granulometria ou à micro e macro topografia de fundo, é que proporcionarão o espalhamento (scattering) do sinal incidente. Parte deste sinal é que atingirá

o sinal de retorno a ser registrado.

Figura 9 – Esquema com a definição de algumas parâmetros de propagação do sinal de Sidescan sonar.



os transdutores (backscattering). A intensidade do sinal oriundo da superfície de fundo é função também do ângulo de incidência do sinal emitido. Quanto mais rugosa a superfície de fundo e menor o ângulo de incidência, maior intensidade terá

As imagens produzidas pelo sonar de varredura lateral consistem em diferentes intensidades do retorno do sinal que são apresentadas em escalas de cores ou padrões de cinza. Essas intensidades distintas estão relacionadas com as propriedades dos tipos de sedimentos de fundo, como a granulometria, a textura, o ângulo de incidência do sinal, a micromorfologia do fundo e a atenuação das ondas acústicas (NETO, 2000; QUARESMA et al., 2000). Regiões com maior grau de compactação, como rochas consolidadas, terão um tom mais escuro, por ter uma maior refletividade do sinal acústico emitido pelo transdutor. De forma análoga, regiões menos consolidadas e com maior capacidade de absorção do sinal terão um tom mais claro de cinza nas imagens, por ter uma amplitude menor de sinal de resposta. Esse comportamento será observado usando uma escala de cor cinza, com tons de cinza escuro para maior retorno de sinal e cinza claro para menor. Existem uma infinidade de outras escalas de cor que ficam a critério do intérprete.

Figura 10 – Reflexão e espalhamento (backscattering) do sinal acústico emitido pelo sonar.



Fonte: (SOUZA, 2002)

4 Metodologia

Com o objetivo de estudar a plataforma continental rasa do Rio de Janeiro, adjacente à entrada da baía de Guanabara, foram feitos cinco perfis sísmico/sonográficos paralelos à costa (figura 11).





Para a sonografia, o equipamento utilizado foi um sistema digital de sonar de varredura lateral modelo 4100/560P da EdgeTech com sensor (towfish) 272 TD (figura 12), que emite feixes laterais de ondas acústicas na frequência de 100 ou 500 kHz, e um processador digital de alta performance. No presente trabalho a frequência utilizada foi de 100 KHz, e o software de aquisição empregado foi o Edgetech Discover 4100. Durante o levantamento foram utilizados "ranges" entre 50 a 100 metros para cada lado da linha navegada.



Figura 12 – "Tow-fish" modelo 272 – TD da EdgeTech

Para a sísmica rasa de alta resolução foi utilizado um CHIRP, um equipamento composto por um sistema de perfilagem multi-frequência 5100/560P da EdgeTech Inc. com sensor (Tow-Fish) de 2,0-16 kHz de frequência modulada (figura 13). O sistema foi controlado pelo programa Discover 3.42, que permite a visualização em tempo real da sismoestratigrafia da região.

Figura 13 – Modelo de Equipamento Chirp utilizado no levantamento sísmico.



Ambos os sistemas receberam os dados de posicionamento diretamente do DGPS, já com as devidas correções (offset e lay-back), obtendo coordenadas em tempo real, o que tornou possível georreferenciar cada pixel das imagens sonográficas e sísmicas realizadas. Além disso, ambos os equipamentos foram utilizados concomitantemente e paralelamente, rebocados na embarcação.

5 Resultados

5.1 Sonografia

O primeiro método utilizado para a análise dos rejeitos de dragagem na região dos bota-foras foi o sonográfico. O motivo principal está na possibilidade de uma vista mais regional conseguir trazer uma distribuição espacial de anomalias no assoalho marinho.

Para se interpretar as linhas adquiridas utilizou-se o software Sonarwiz 7.2, da empresa Chesapeake Technology, com ele foi possível tanto o processamento quanto a interpretação dos dados adquiridos.

Após as linhas carregadas no software, a primeira etapa consistiu na utilização da função bottom track, assim pode-se eliminar o registro referente a lâmina d'água no dado. Com essa etapa realizada as imagens de varredura de cada lado do assoalho marinho se tornam uma só imagem contínua de fundo. Vale ressaltar que o bottom track deve ser uma das primeiras etapas no processamento do dado, pois como o método consiste no sinal de resposta do fundo marinho plotado com uma escala de cor específica, o registro referente a lâmina d'água trará uma má distribuição de cores em seu sinal e poderá comprometer a utilização de determinados ganhos. Foram utilizados diferentes tipos de ganhos e até a combinação entre eles para se identificar o que traria a melhor resposta ao dado. Entre eles estão o Automatic Gain Control (AGC), Time-Varying Gain (TVG) e o Empirical Gain Normalization (EGN).

O algoritmo usado no AGC mede a força média local do sinal, em seguida, redimensiona todo o dado para a média local seja modificada para uma média global a escolha, que irá determinar o quão os dados serão modificados após o reescalonamento.

A função Auto TVG trabalha dividindo os dados em várias faixas paralelas, tentando equalizar o retroespalhamento de cada faixa. Este ganho pode ser visto como um grande equalizador gráfico, onde ele procura ajustar automaticamente a potência do sinal em cada banda do dado. O ganho EGN soma e calcula todas as médias de amplitudes do sonar em todos os pings do dado, os organizando em arquivos por amplitude e alcance. Sendo assim capaz de observar o comportamento padrão do sinal empiricamente, através de milhares de amostras retiradas do dado. Na figura 14 pode ser visto a comparação da aplicação de cada ganho explicado.

Figura 14 – Mosaico com a exemplificação de cada ganho em uma mesma área específica do estudo. Sem aplicação de nenhum ganho (A), com o AGC (B), com o TVG (C) e com o EGN (D).



Foram testadas também diversas tabelas de cor para determinar qual daria um melhor contraste no dado estudado. As paletas grey, newgrey e klein foram testadas (figura 15), sendo que para cada área específica uma obteve um melhor resultado que outra, sendo assim, utilizou-se de todas para plotar os resultados.

Com as linhas já processadas, a caracterização de diferentes respostas do assoalho foi o próximo objetivo. As linhas foram plotadas junto a carta náutica do DHN, como pode ser visto na 16, para facilitar a visualização geograficamente e assim poder correlacionar com a geomorfologia da região e com as áreas de despejos já conhecidas. Foi aplicado nessa imagem o ganho EGN e utilizada a escala de cor grey. Figura 15 – Mosaico com a exemplificação de cada paleta de cor em uma mesma área específica do estudo. De cima para baixo, as paletas grey, newgrey e klein.



Figura 16 – Mapa da área de estudo plotado junto às linhas de sonar de varredura lateral.



Foram identificadas quatro diferentes respostas no registro sonográfico. Com as interfaces caracterizadas, possibilitou a demarcação dos limites entre elas. Um exemplo de cada resposta pode ser visto no mosaico da figura 17.

Com cada interface identificada, o mapeamento de cada uma foi possível. A resposta mais encontrada foi a exemplificada na figura 17a, , que foi mapeada fora



Figura 17 – Mosaico com exemplo de cada uma das quatro diferentes respostas encontradas no dado sonográfico.

das áreas de despejo e longe da região com ilhas, levando a crer que esse sinal de resposta caracterizava fundo arenoso, comum para essa região de plataforma continental rasa. Já o sinal apresentado na figura17b, teve uma grande correlação com as áreas delimitadas pelo INEA para deposição do rejeito de dragagem, e por apresentar um registro com faixas de menor sinal de resposta, caracterizado por manchas brancas na imagem, se identificou como o material dragado da região portuária.

O levantamento geofísico transitou entre as ilhas Cagarras, logo nesta região era esperado caracterizar um fundo rochoso, proveniente da parte submersas das ilhas. E um exemplo desse fundo rochoso pode ser visto na figura 17c, onde em volta de fundo arenoso é capaz de identificar uma interface de sinal forte e bem delimitada.

A quarta resposta identificada na área de estudo foi mapeada apenas em uma região, na parte mais próxima a boca da baía de Guanabara. Este sinal foi identificado como um arenito de praia (figura 17d).O arenito (beachrock) é um depósito sedimentar de praia cimentado pela precipitação em geral carbonática e cuja litificação usualmente se dá na zona intermarés (MANSUR et al., 2011).

Vale ressaltar que também foi capaz de se identificar o emissário submarino que se localiza mais a noroeste da área estudada como se era esperado.

Através da sonografia, foram identificadas na região cinco zonas com presença

de despejo de sedimento dragagem. O material de dragagem, quando liberado, tende a ter um comportamento relacionado a seu nível de sedimentação. Os menos consolidados geram uma pluma de partículas na lâmina d'água, que pode ser dispersada diversos quilômetros por uma combinação de condições oceânicas e atmosféricas (PENNEKAMP et al., 1996; BASNYAT et al., 2000).Já o material mais consolidado é depositado sem sofrer um grande transporte e, neste estudo, foi o material que demonstrou padrão sonográfico conclusivo. Por conta desse comportamento, as manchas brancas visualizadas nas imagens de Sidescan Sonar são de sedimentos com granulometria fina, mas bem consolidada, trazendo assim pouco de retorno de sinal ao sonar.

Na figura 18 foram poligonadas as regiões onde se encontrou o tipo de sinal característico desse rejeito. Com a plotagem junto aos polígonos das áreas delimitadas pelo INEA, identificou se uma grande correlação entre as duas regiões poligonadas. Em todas as áreas delimitadas (A, B, C e D) houve registro de depósitos de sedimentos de dragagem.

No entanto, a região com maior volume de sedimentos de dragagem mapeadas com o método encontra-se na segunda linha sonográfica (figura 19), e não corresponde a nenhum bota-fora, algo que pode apresentar alguma irregularidade no despejo.







Figura 18 – Mapa da área de estudo plotado junto às linhas de sonar de varredura lateral, bota-foras (vermelho) e despejos mapeados (verde).

5.2 Sísmica de alta resolução

Como já descrito anteriormente, os levantamentos geofísicos foram realizados concomitantemente, logo todas as áreas varridas pelo Sidescan, também foram registradas pela sísmica. Com as zonas de interesse já mapeadas, a interpretação sísmica já tinha alguns alvos específicos, mas mesmo assim foi feita uma análise regional.

Para o processamento dos dados sísmicos o software utilizado foi o RadExPro Professional, da empresa DECO Geophysical. Para dados de sísmica rasa o processamento não necessita de ser tão robusto quanto o empregado em dados de sísmica profunda, mas principalmente para o dado adquirido para este estudo, um fluxo de processamento é essencial. Na figura 20, pode ser visto um dado pré-processado, a seção não traz nenhuma informação nova e pertinente com o dado não processado. Todo o dado foi interpretado usando a escala de tempo, a escala vertical esta em milissegundos.



Figura 20 – Seção sísmica de um trecho específico da área de estudo.

Foi aplicado o fluxo de processamento visualizado na figura 21, onde um filtro de passa banda foi aplicado no dado chirp, retirando frequências de mais 5 KHz, pois devido uma análise espectral, o sinal de grande montante dos dados permanecia com valores menores a essa frequência. Juntamente a esse filtro, foi aplicada uma correção de amplitude, utilizando-se o ganho AGC, já citado na seção de sonografia. E também um incremento na amplitude em relação ao tempo, realçando as camadas mais superficiais, pois em dados com esse tipo de fonte, nada que esteja a mais de alguns metros de profundidade é possível de ser visualizado.

Já com as etapas ditas incrementadas, o dado já apresentava uma grande melhora, mas as ondulações na navegação, provocadas pelas condições do mar durante o levantamento criavam elevações incoerentes com a realidade. Logo, foi aplicado o filtro de Swell, onde em sua implementação realizou-se o picking, marcação do que seria o primeiro refletor (fundo marinho) e através de uma análise feita pelo software o filtro de Swell pode ser aplicado. Já com os perfis gerados, uma diminuição no ganho foi aplicada, para a melhor visualização de mudanças nos refletores que anteriormente eram impossíveis de serem vistas.

Na figura 22, a mesma região demonstrada na figura 20, foi gerada com o fluxo de processamento já empregado.





Após o fluxo de processamento ser aplicado, foram mapeados os ecocaráteres da área de estudo (figura 23). O primeiro ecocaráter do tipo I tem forte penetração de sinal sem um refletor bem marcado. Já o segundo ecocaráter do tipo II, tem menor penetração de sinal e um refletor bem forte. Por último, o ecocaráter do tipo III apresentou-se um refletor mais bem delimitado e com quase nenhuma penetração de sinal.







Figura 23 – Mosaico dos ecocaráteres mapeados na área de estudo.

Com o dado processado foram investigadas as regiões onde, no Sidescan Sonar, havia apresentado alguma heterogeneidade no assoalho marinho. A primeira região interpretada foi a região próxima as Ilhas Cagarras, por ser uma zona com o embasamento aflorando, imaginava-se um segundo refletor bem marcado, sobre o caracterizado como areia, característica da baía de Guanabara. Algo que pode ser observado na figura 24. Nesta figura pode ser identificado o mergulho de um refletor sobre outro, o que é um sinal característico do mergulho de uma rocha aflorante. Para um mapeamento do embasamento da região, faria mais sentido a utilização de um boomer, fonte que opera em menores frequências, que traria maiores informações sobre algumas dezenas de metros de profundidade. Porém, o objetivo do estudo não era esse, logo essa informação não é de grande interesse, trazendo o enfoque para as regiões de 'manchas brancas' visualizadas no sonar de varredura lateral.



Figura 24 – Seção sísmica da região das ilhas Cagarras.

O comportamento do fundo arenoso da baía não teve grandes alterações, o que ajudou na identificação das regiões de rejeito de sedimento. O refletor nas zonas de fundo arenoso, é marcado por uma grande absorção de sinal, trazendo uma faixa com alta amplitude. O que foi observado nas regiões onde houve descarte de material, foi que o refletor nessa região, estava mais bem marcado e com baixa penetração de sinal. O que corrobora a informação retirada dos dados de sonografia, onde observou-se que os sedimentos encontrados de dragagem, eram já bem consolidados, diferentes do fundo característico da região.

Foram identificados rejeitos de dragagem em todas as cinco regiões onde foram mapeadas, pelo sonar de varredura lateral. Em todas as cinco regiões estudadas observou-se um comportamento de um refletor bem marcado com baixa penetração de sinal. Na figura 25, pode-se observar um bom exemplo de um perfil com esse tipo de sedimento. A região imageada, se localiza na linha dois, onde deveria apresentar uma sedimentação predominante arenosa é típica de plataforma continental, no entanto, parte desta linha é caracterizada por sinal de resposta a rejeitos de dragagem, mesmo está, não estando destinada a região de bota-fora.

Vale ressaltar que o registro sísmico teve êxito em mapear o emissário submarino que se encontrava na região de estudo, e com grande precisão.

Esse dado foi importante para demonstrar que os levantamentos acústicos estavam com suas posições geográficas bem delimitadas, pois o registro tanto na sísmica quanto na sonografia ocorrem na mesma região, batendo com este ponto bem definido na carta náutica. O emissário se comporta como um pico anômalo no



Figura 25 – Seção sísmica da região com rejeito de dragagem.

registro sísmico, um refletor que não condiz com a geologia do local e sem nenhuma continuidade (figura 26).

Figura 26 – Seção sísmica com o registro do emissário submarino.



Para uma visualização mais regional, os dados sísmicos foram carregados no software Sonarwiz, o mesmo usado para os dados sonográficos. Nele foi possível gerar uma vista 3D do dado (figura 27), trazendo assim uma nova forma de mapeamento dos rejeitos, mas com um menor detalhamento.

Na figura 28 pode ser visto nas áreas demarcadas, os pontos onde houve a ocorrência de sedimentos de dragagem. Nesta imagem foi aplicada um exagero vertical de 30% para facilitar a visualização das perturbações no assoalho marinho provocadas pelo rejeito. Mais uma vez, a sísmica obteve grande correlação com os dados de Sidescan Sonar.



Figura27-Visualização 3D das linhas adquiridas no estudo.

Figura 28 – Imagem com exagero vertical das linhas sísmica, com enfoque nas zonas de despejo.

and the second	11111111111111111111111111111111111111	1999) 1999) 1999)	
(1) (1) (1) (1)		1 martin and a	69
- Aller	Nachter anna		mia
		Mary	
1.			
	the state of the s		-
-			-

6 Discussão

Através do estudo realizado foi possível averiguar a eficácia da geofísica para mapeamento de rejeito de dragagens no assoalho marinho, como visto em diversos estudos (SOUZA; SILVA, 2006; BIANCO et al., 2003; WIENBERG; BARTHOLOMÄ, 2005). Tanto a sísmica quanto a sonografia obtiveram resultados coerentes entre si. Onde na região se encontra o emissário submarino, já mapeado em cartas náuticas, que ficou bem evidente no registro dos dois métodos. Na sísmica por um pico de amplitude, onde teoricamente seria lâmina d'água e no sonar por uma imagem com fortes tons de cinza escuro, demonstrando grande retorno de sinal.

O estudo geofísico utiliza de métodos indiretos, logo, a utilização de múltiplos em um mesmo estudo, torna a pesquisa muito mais detalhada e com maior confiança, o uso de diversos métodos e fontes já demonstrou eficácia em variados trabalhos (QUARESMA et al., 2000; SOUZA et al., 2007; SOUZA, 2011; SOUZA; SILVA et al., 2013).

Utilizando do Sonarwiz, para processar os dados, foram geradas uma visão 3D de toda a região, nas regiões despejo, os resultados demonstraram-se satisfatórios. Na figura 29, temos dois exemplos, onde em ambos os casos tanto a sísmica quanto a sonografia apresentaram uma mudança de comportamentos concomitante, aumentando a eficácia dos dados.

Figura 29 – Exemplos de registros zonas de rejeito com os dois métodos geofísicos.



Um estudo prévio a deposição de sedimentos evidencia o rela impacto da deposição de rejeitos. Além de uma análise anual do transporte sedimentar pela dinâmica oceânica, trazer mais ferramentas para o mapeamento dos impactos gerados por essa prática, como feito em estudos no mar báltico (TAUBER, 2009; SEIFERT; FENNEL; KUHRTS, 2009).

7 Conclusão

Pelo que foi observado com os dados coletados até o momento, o mapeamento dos rejeitos nas zonas de bota-fora o estudo foi satisfatório. Em todas as quatro zonas, regulamentadas pelo INEA, onde a análise se concentrou, foram identificados sedimentos referentes a despejos de dragas na região.

Todas as quatro zonas demonstraram o mesmo tipo de resposta aos métodos empregados, sendo que na área A, onde o despejo já não é feito a mais de duas décadas, observa-se a menor concentração de sedimentos de dragagem. O que ajuda a inferir que nestas regiões o rejeito tende a desaparecer com o decorrer do tempo.

Além das quatro áreas regulamentadas pelo INEA, se mapeou uma zona de despejo com cerca de 8 quilômetros de extensão na segunda linha de aquisição. Nesta região, não se encontrou uma justificativa na revisão bibliográfica para os despejos. O que leva a crer que, mesmo com o transporte após a liberação da draga por fatores oceânicos e atmosféricos, existe a possibilidade da ocorrência de despejos ilegais na região. Isso pode ser justificado pela forma de pagamento as responsáveis por estas dragagens, o profissional recebe por metro cúbico retirado da região de interesse, então o quanto antes despejar este sedimento, menos gastará com consumo de combustível e assim irá economizar. Para uma confirmação desta teoria, se mostra claro a necessidade por um estudo mais detalhado da região, assim como de uma visita ao histórico das dragas que tem funcionado nos últimos anos na região da baía de Guanabara.

Com o estudo finalizado, algumas lições são retiradas para futuras pesquisas na área. A utilização de métodos acústicos obteve bons resultados. Mas o que cada vez mais vem crescendo entre as pesquisas hidrográficas é o uso de múltiplas fontes em um mesmo levantamento. Por exemplo, a utilização de um sonar de 500 KHz traria informações mais claras sobre a morfologia desse rejeito e a utilização de um boomer revelaria a litologias mais profundas em subsuperfície e até mesmo o embasamento. Outra informação que ajudaria na pesquisa seria a batimetria multifeixe da região, que poderia até trazer informação de profundidade para a imagens de Sidescan Sonar. Em resumo, quanto mais fontes diferentes o estudo utilizar, mais sobre a região a Geofísica poderá trazer.

Referências

BASNYAT, P. et al. The use of remote sensing and gis in watershed level analyses of non-point source pollution problems. *Forest Ecology and Management*, Elsevier, v. 128, n. 1-2, p. 65–73, 2000.

BIANCO, R. et al. Sísmica rasa e sonar de varredura lateral aplicados a projetos de dragagem e derrocagem submarina. In: 8th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. [S.l.: s.n.], 2003.

BLONDEL, P. *The handbook of sidescan sonar*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2010.

BOLAM, S. et al. Ecological consequences of dredged material disposal in the marine environment: a holistic assessment of activities around the england and wales coastline. *Marine Pollution Bulletin*, Elsevier, v. 52, n. 4, p. 415–426, 2006.

BOYD, S. et al. Guidelines for the conduct of benchic studies at aggregate dredging sites. *Lowestoft, Department for Transport, Local Government and the Regions. CEFAS*, v. 117, 2002.

CARLINO, M. F. et al. Seismic facies and seabed morphology in a tectonically controlled continental shelf: The augusta bay (offshore eastern sicily, ionian sea). *Marine Geology*, Elsevier, v. 335, p. 35–51, 2013.

COUTINHO, P.; FARIAS, C. Contribuição à origem dos recifes do nordeste. Simpósio de Geologia do Nordeste, v. 9, p. 236–240, 1979.

ESSINK, K. Ecological effects of dumping of dredged sediments; options for management. *Journal of Coastal Conservation*, Springer, v. 5, n. 1, p. 69–80, 1999.

HARVEY et al. Temporal changes in the composition and abundance of the macro-benthic invertebrate communities at dredged material disposal sites in the anse à beaufils, baie des chaleurs, eastern canada. *Marine Pollution Bulletin*, Elsevier, v. 36, n. 1, p. 41–55, 1998.

JUNIOR, F. et al. Ambientes de formação, processos de cimentação de arenitos de praia e indicadores de variações do nível do mar. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 5, p. 938–960, 2011.

KEAREY et al. *Geofísica de exploração*. [S.l.]: Oficina de Textos, 2009.

KJERFVE, B.; LACERDA, L. D. D.; DIAS, G. Baía de guanabara, rio de janeiro, brazil. In: *Coastal marine ecosystems of Latin America*. [S.l.]: Springer, 2001. p. 107–117.

KJERFVE, B. et al. Oceanographic characteristics of an impacted coastal bay: Baía de guanabara, rio de janeiro, brazil. *Continental shelf research*, Elsevier, v. 17, n. 13, p. 1609–1643, 1997.

KUMAR, N.; SANDERS, J. E. Characteristics of shoreface storm deposits; modern and ancient examples. *Journal of Sedimentary Research*, SEPM Society for Sedimentary Geology, v. 46, n. 1, p. 145–162, 1976.

MANSUR, K. L. et al. Beachrock de jaconé, maricá e saquarema-rj: importância para a história da ciência e para o conhecimento geológico. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 41, n. 2, p. 290–303, 2011.

MARMIN, S. et al. Collaborative approach for the management of harbour-dredged sediment in the bay of seine (france). *Ocean & coastal management*, Elsevier, v. 102, p. 328–339, 2014.

MAZEL, C. Side scan sonar training manual. [S.l.]: Klein Associates, 1985.

MUEHE, D.; VALENTINI, E. *O litoral do Estado do Rio de Janeiro: uma caracterização físico-ambiental.* [S.l.]: Fundação de Estudos do Mar Rio de Janeiro, 1998.

NETO, A. A. Uso da sísmica de reflexão de alta resolução e da sonografia na exploração mineral submarina. *Brazilian Journal of Geophysics*, SciELO Brasil, v. 18, n. 3, p. 241–256, 2000.

NETO, J. A. B. et al. Spatial distribution of heavy metals in surficial sediments from guanabara bay: Rio de janeiro, brazil. *Environmental Geology*, Springer, v. 49, n. 7, p. 1051–1063, 2006.

OTAVIO, J. M. et al. Formação e diagênese de arenitos de praia: Uma revisão conceitual formation and diagenèse in beachrocks: A conceptual review. 2011.

PENNEKAMP, J. G. et al. Turbidity caused by dredging: viewed in perspective. *Terra et Aqua*, INTERNATIONAL ASSOCIATION OF DREDGING COMPANIES, p. 10–17, 1996.

PEREIRA, T. G. Abordagem Multimetodológica sobre o despejo de sedimentos de dragagem em área de descarte oceânico - Plataforma adjacente à Baia de Guanabara. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal Fluminense, Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Dinamica dos oceanos e da terra, Niterói, 2013.

QUARESMA, V. et al. Caracterização da ocorrência de padrões de sonar de varredura lateral e sísmica de alta freqüência (3, 5 e 7, 0 khz) na porção sul da baía de guanabara. *Brazilian Journal of Geophysics*, SciELO Brasil, v. 18, n. 2, p. 201–213, 2000.

SCHÖN, J. H. Physical properties of rocks: Fundamentals and principles of petrophysics. [S.l.]: Elsevier, 1996. v. 65.

SEIFERT, T.; FENNEL, W.; KUHRTS, C. High resolution model studies of transport of sedimentary material in the south-western baltic. *Journal of Marine Systems*, Elsevier, v. 75, n. 3-4, p. 382–396, 2009.

SOUZA, L. Exemplos de utilização de métodos geofísicos na investigação de áreas submersas. In: *Encontro Regional de Geotecnia e Meio Ambiente/Workshop de Geofísica Aplicada*. [S.l.: s.n.], 2002. v. 2.

SOUZA, L. A. P. de. Sbp 3.5, 7, 10khz, chirp (0.5-2.0 khz), chirp (2-12khz), chirp (10-18 khz), boomer (0.5-2 khz) e sparker (0.1-1.0 khz): Quando decidir por uma ou por outra fonte acústica? In: 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. [S.l.: s.n.], 2011.

SOUZA, L. A. P. de et al. Investigações geofísicas em áreas submersas rasas: qual o melhor método? In: 10th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. [S.l.: s.n.], 2007.

SOUZA, L. A. P. de; SILVA da. Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas. USP, São Paulo, 2006.

SOUZA, L. A. P. de; SILVA da et al. Why multi-frequency approach on shallow water seismic investigation? In: SOCIETY OF EXPLORATION GEOPHYSICISTS AND BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY. 13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society & EXPOGEF, Rio de Janeiro, Brazil, 26–29 August 2013. [S.1.], 2013. p. 1662–1665.

TAUBER, F. Sidescan sonar survey of a dumping site in the mecklenburg bight (south-western baltic sea). *Journal of Marine Systems*, Elsevier, v. 75, n. 3-4, p. 421–429, 2009.

TELFORD, W. M. et al. *Applied geophysics*. [S.1.]: Cambridge university press, 1990. v. 1.

WIENBERG, C.; BARTHOLOMÄ, A. Acoustic seabed classification in a coastal environment (outer weser estuary, german bight)—a new approach to monitor dredging and dredge spoil disposal. *Continental Shelf Research*, Elsevier, v. 25, n. 9, p. 1143–1156, 2005.

WOODS, R. Soil properties for shear wave propagation. In: *Shear Waves in Marine Sediments*. [S.l.]: Springer, 1991. p. 29–39.

YILMAZ, Ö. Seismic data analysis: Processing, inversion, and interpretation of seismic data. [S.1.]: Society of exploration geophysicists, 2001.