



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

VICTOR HUGO ROCHA LOPES

**APLICAÇÃO DE MÉTODOS HIDROACÚSTICOS PARA ESTUDO E
DRAGAGEM NA REGIÃO PORTUÁRIA DE CABEDELLO – PB,
BRASIL**

**Belém
2014**

VICTOR HUGO ROCHA LOPES

**APLICAÇÃO DE MÉTODOS HIDROACÚSTICOS PARA ESTUDO E
DRAGAGEM NA REGIÃO PORTUÁRIA DE CABEDELO – PB,
BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geofísica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará - UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do Grau de Mestre em Geofísica.

Orientadora: Ellen de Nazaré Souza Gomes.
Coorientadora: Odete Silveira.

Belém

2014

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)
(Biblioteca do Instituto de Geociências/UFGA)

Lopes, Victor Hugo Rocha, 1986-
Aplicação de métodos hidroacústicos para estudo e
dragagem na Região Portuária de Cabedelo – PB, Brasil
/ Victor Hugo Rocha Lopes. – 2014.
47 f. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientadora: Ellen de Nazaré Souza Gomes
Coorientadora: Odete Silveira
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do
Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-
Graduação em Geofísica, Belém, 2014.

1. Dragagem - Cabedelo (PB). 2. Mapas
batimétricos. 3. Método de reflexão sísmica. 4.
Portos - Cabedelo (PB). I. Título.

CDD 22. ed. 627.73098133

VICTOR HUGO ROCHA LOPES

**APLICAÇÃO DE MÉTODOS HIDROACÚSTICOS PARA ESTUDO E
DRAGAGEM NA REGIÃO PORTUÁRIA DE CABEDELO – PB,
BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geofísica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará - UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção de Mestre em Geofísica.

Data de Apresentação: 17 / 11 / 2014
Conceito: BOM
Banca Examinadora:



Profa. Dra. Ellen de Nazaré Souza Gomes
Orientadora
Doutora em Geofísica
Universidade Federal do Pará



Prof. Dr. Roberto Lima Vizeu
PhD em Geologia Estrutural
Durham University - Inglaterra



Profa. Dra. Valdenira Ferreira Santos
Doutora em Geofísica e Geologia Marinha
Universidade Federal Fluminense

AGRADECIMENTOS

A Deus pela força e fé em nunca desistir

A Capes pela bolsa de Formação de Pesquisador de Mestrado concedida na primeira etapa deste mestrado no período de abril de 2008 até maio de 2009.

O autor agradece ao Programa de Pós-graduação em Geofísica da Universidade Federal do Pará, pela possibilidade do retorno e finalização do mestrado, bem como a todo o corpo docente e funcionários.

A Prof^a Dr^a Ellen de Nazaré Souza Gomes pelas orientações em todas as fases deste mestrado.

A Prof^a Dr^a Odete Silveira (In memoriam) por todo apoio e atenção concedida.

A Prof^a Dr^a Helenice Vital do PPGG/UFRN pelo apoio, conselhos e observações.

A empresa G2 Meio Ambiente - Soluções em Geologia, Geofísica, Química e Meio Ambiente Ltda. pela liberação dos dados para esta publicação.

A CPRM – Serviço Geológico do Brasil pelo apoio na finalização deste trabalho.

A todos os colegas do CPGF

Aos meus queridos pais Luiz e Eliete pela educação e amor, a minha esposa Aline Lopes pelo companheirismo e a todos os familiares e amigos, com muito amor e gratidão.

RESUMO

Este trabalho apresenta o uso de métodos hidroacústicos utilizados no mapeamento e detecção de feições estratigráficas em subsuperfície a fim de subsidiar um projeto de dragagem e derrocagem do canal de navegação da margem esquerda do rio Paraíba do Norte para ampliação da região portuária de Cabedelo/PB. Dados sísmicos de alta-resolução e batimétricos são utilizados para mapear dois objetivos principais: Topo do Embasamento Acústico Rochoso (TEAR) e o pacote sedimentar sobreposto. Essas informações são importantes para subsidiar o cálculo do volume de material a ser dragado e/ou derrocado ao longo do canal de navegação. A análise dos dados indica que a ampliação do porto de Cabedelo sugerida inicialmente pela Companhia Docas da Paraíba até a localidade de Forte Velho se torna dispendioso, devido ao grande volume do material sedimentar e rochoso a ser dragado. Desse modo, a região de Lucena é apresentada como alternativa de ampliação do porto, pois apresenta menor volume de material a ser dragado, o que reduz substancialmente os custos e o tempo de execução da obra.

Palavras-Chave: Batimetria, Sísmica de alta resolução, Dragagem. Porto de Cabedelo.

ABSTRACT

This paper presents the use of hydroacoustic methods used for mapping and detection of subsurface stratigraphic features to support a project of dredging and demolishing of the left edge of the navigation channel of the Paraíba do Norte's River to expand the port zone of Cabedelo/PB. High-resolution seismic data and bathymetric data are used to map two main objectives: top of the Acoustic Rocky Basement (TARB) and the superimposed sedimentary package. This information is important to support the volume calculation of the material to be dredged and/or demolished along the navigation channel. The data analysis indicates that the expansion of the Cabedelo's Port firstly suggested by the Docas do Paraíba Company to be in the Forte Velho's locality becomes expensive due to the large volume of sedimentary and rocky material to be dredged. Thus, the Lucena region is presented as an alternative to the port expansion since presents lower volume of material to be dredged that reduces substantially the costs and time of execution of the work.

Keywords: Bathymetry. High-Resolution Seismic. Dredging. Cabedelo's Port.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Localização da Bacia Pernambuco-Paraíba no contexto Regional.....15
- Figura 2 - Mapa geológico simplificado da área de estudo.16
- Figura 3 - Mapa de localização da área de estudo localizada na margem esquerda do estuário do Rio Paraíba do Norte, e a localização da região portuária de Cabedelo – PB.22
- Figura 4 - Mapa de localização e distribuição espacial das linhas batimétricas. Ao todo foram realizadas 185 linhas espaçadas em 25 metros.....24
- Figura 5 - Mapa de localização e distribuição espacial dos 5 perfis sísmicos de alta-resolução (em cinza) coletados em campo e espaçados em 70m, porém neste trabalho será apresentado apenas 5 perfis representativos (a, b, c, d, e e em vermelho) destas linhas.....25
- Figura 6 - Representação esquemática da definição das regiões calculadas a partir da linha de base. Volume da superfície superior (Positivo) e superfície inferior (Negativo).29
- Figura 7 - Mapa Batimétrico do canal de acesso à localidade de Forte Velho. Localização da região portuária de cabedelo e o Município de Lucena. 31
- Figura 8 - Mapa do topo do embasamento acústico rochoso para a região portuária de Cabedelo, PB. Isópacas em metros.32
- Figura 9 - Perfil a) representativo do registro sísmico de alta resolução na região portuária de Cabedelo (Ver Figura 5). Faixa de frequência de 17 a 32 dB. As linhas vermelhas nos perfis sísmicos representam o topo do embasamento acústico mapeado, ou seja, o limite do pacote sedimentar inconsolidado a ser dragado.33
- Figura 10 - Perfil b) representativo do registro sísmico de alta resolução na região portuária de Cabedelo (Ver Figura 5). Faixa de frequência de 17 a 32 dB. As linhas vermelhas nos perfis sísmicos representam o topo do

embasamento acústico mapeado, ou seja, o limite do pacote sedimentar inconsolidado a ser dragado.	34
Figura 11 - Perfil c) representativo do registro sísmico de alta resolução na região portuária de Cabedelo (Ver Figura 5). Faixa de frequência de 17 a 32 dB. As linhas vermelhas nos perfis sísmicos representam o topo do embasamento acústico mapeado, ou seja, o limite do pacote sedimentar inconsolidado ser dragado.	35
Figura 12 - Perfil d) representativo do registro sísmico de alta resolução na região portuária de Cabedelo (Ver Figura 5). Faixa de frequência de 17 a 32 dB. As linhas vermelhas nos perfis sísmicos representam o topo do embasamento acústico mapeado, ou seja, o limite do pacote sedimentar inconsolidado a ser dragado.	36
Figura 13 - Perfil e) representativo do registro sísmico de alta resolução na região portuária de Cabedelo (Ver Figura 5). Faixa de frequência de 17 a 32 dB. As linhas vermelhas nos perfis sísmicos representam o topo do embasamento acústico mapeado, ou seja, o limite do pacote sedimentar inconsolidado a ser dragado.	37
Figura 14 - Mapa da espessura do pacote sedimentar, da região portuária de Cabedelo, PB.	39
Figura 15 - Quantidade de material sedimentar e rochoso a ser dragado e/ou derrocado para a cota de 8,0 metros e tolerância de 0,3 metros ao longo do canal de acesso a Forte Velho e Lucena.	40
Figura 16 - Em (a) Mapa do topo do embasamento acústico rochoso até Forte Velho e em (b) Mapa da espessura de sedimento do canal de acesso a Forte Velho.	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	MUNICÍPIO E PORTO DE CABEDELO.....	12
1.2	APRESENTAÇÃO DO TEMA.....	13
1.3	OBJETIVO.....	14
1.4	METODOLOGIA.....	14
2	ÁREA DE ESTUDO.....	15
2.1	CONTEXTO GEOLÓGICO.....	15
2.2	PARÂMETROS OCEANOGRÁFICOS.....	18
2.3	CARACTERIZAÇÃO DA MORFOLOGIA.....	18
3	AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	21
3.1	PLANEJAMENTO DE CAMPO.....	21
3.2	AQUISIÇÃO DE DADOS DE CAMPO.....	21
3.3	AQUISIÇÃO DOS DADOS HIDROACÚSTICOS BATIMÉTRICOS E SÍSMICOS.....	23
3.4	PROCESSAMENTO DOS DADOS DE CAMPO.....	25
3.5	PROCESSAMENTO DOS DADOS BATIMÉTRICOS.....	26
3.6	PROCESSAMENTO DOS DADOS SÍSMICOS.....	26
3.7	INTERPRETAÇÃO DOS DADOS SÍSMICOS.....	27
3.8	CÁLCULO DO VOLUME DE SEDIMENTO A SER DRAGADO/DERROCADO.....	27
3.9	MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO – MDE.....	27
3.10	MÉTODO DO CÁLCULO DO VOLUME SEDIMENTAR.....	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	30
4.1	ANÁLISE BATIMÉTRICA.....	30
4.2	ANÁLISE DO TOPO DO EMBASAMENTO ACÚSTICO ROCHOSO – TEAR.....	31
4.3	OCORRÊNCIAS DE GÁS.....	38

4.4	ANÁLISE DO PACOTE SEDIMENTAR.....	38
4.5	CALCULO DO VOLUME DO MATERIAL A SER DRAGADO E/OU DERROCADO.....	39
5	CONCLUSÕES.....	42
	REFERÊNCIAS.....	43

1 INTRODUÇÃO

1.1 - MUNICÍPIO E PORTO DE CABEDELLO

Cabedelo é um município portuário que possui uma população de 64.360 hab. e área de 31.915 km² pertencente à região metropolitana do Estado da Paraíba. O município limita-se ao Norte e a Leste com o Oceano Atlântico, ao Oeste com os municípios de Santa Rita e Lucena e ao sul com João Pessoa. As principais atividades econômicas do município estão ligadas as atividades comércio, derivados de petróleo, serviços de operações portuárias, pesca, indústria e o turismo.

De todas as atividades econômicas da região os serviços de operações portuárias são as que mais se destacam devido à localização estratégica do Porto de Cabedelo (latitude 6°38'40" S e longitude 34°50'18" W) mais próximo dos mercados Africanos, Europeus e também do Canal do Panamá.

O Porto de Cabedelo tem sua história iniciada no período do Segundo Reinado. Em 1893, fundeu em Cabedelo o vapor norueguês de nome Forden Kjold, trazendo material para a dragagem. No ano seguinte, iniciaram-se os trabalhos, escavando 9.444 m³. Este valor foi irrisório para a necessidade a ser dragada, de 2.200.000 m³. Em 1905, foi aprovado o projeto de construção do cais de 400 metros, tendo sido efetivamente consolidado somente 1908. Em tal época já se entendia que o Porto de Cabedelo era o mais oriental da costa do Brasil.

Após uma longa paralisação as obras no porto foram retomadas em 1931, como resultado de um compromisso assumido em 1930, pelo Governo Federal e Governo do Estado da Paraíba, o qual reivindicava a execução de instalações adequadas às exportações de algodão, produzido naquele estado.

Devido sua posição privilegiada é o porto importante na integração dos modais marítimo, ferroviário e rodoviário, constituindo-se a melhor opção logística da região Centro Nordeste, com sua área de influência estendendo-se para além das divisas do Estado (COMPANHIA DOCAS DA PARAÍBA, 2014).

Com o restabelecimento do transporte marítimo no pós-guerra, o porto de Cabedelo-PB ocupou, na década de 1950, um importante papel nas exportações marítimas brasileiras, sendo responsável pela movimentação de grande volume de produtos como sisal, algodão, cimento, açúcar, minério. O transporte de cabotagem, também foi responsável pelo volume de cargas no porto de Cabedelo, que

atingiu o limite de sua capacidade operacional, principalmente por madeira, fósforo, ferro, cereais, bebidas, conservas, farinha de trigo e charque entre outros. (PIMENTEL, 2002).

1.2 - APRESENTAÇÃO DO TEMA

Como a maioria dos portos brasileiros, o Porto de Cabedelo se desenvolveu em canais de navegação estuarinos. No entanto, na região portuária de Cabedelo devido à intensa carga sedimentar, trazidas pelos rios que desembocam no Sistema Estuarino do Rio Paraíba do Norte (SERPN), bem como efluentes domésticos e industriais provenientes das áreas urbanizadas do seu entorno, estes necessitam frequentemente de dragagens, de modo a proporcionar a movimentação das embarcações.

De acordo com Alfredini (2005), “o serviço de dragagem consiste na escavação e remoção (retirada, transporte e despejo) de solo, rochas decompostas ou desmontadas (por derrocamento), submersos em qualquer profundidade e por meio de variados tipos de equipamentos (mecânicos ou hidráulicos) em mares, estuários e rios”, onde o custo e os impactos ambientais potenciais devem ser considerados.

Para a execução de serviços de dragagem são necessários elevados recursos financeiros, dragas e equipamentos adequados, e técnicas bastante especializadas. É, portanto, de suma importância o planejamento cuidadoso de todo o processo. Uma das etapas desse processo consiste na elaboração de projetos de dragagem que, se bem estruturados, vão permitir o gerenciamento de toda a cadeia de atividades de dragagem, entre as quais se destacam: a escolha dos melhores métodos de dragagem e de despejo do material dragado, bem como a seleção do equipamento de dragagem mais adequado para a retirada, transporte e despejo dos materiais submersos.

De acordo com a Lei nº 12.815/2013 o conceito legal de dragagem é a obra ou serviço de engenharia que consiste na limpeza, desobstrução, remoção, derrocamento ou escavação de material do fundo de rios, lagos, mares, baías e canais.

1.3 - OBJETIVO

Diante desse contexto, no decorrer das últimas décadas, as técnicas de análises e a integração de métodos hidroacústicos (métodos baseado em dados batimétricos e sísmicos) se mostraram excelentes ferramentas para obter informações sobre a morfologia do fundo (AYRES NETO, 2000; BRIGGS et al., 2002; DAVIS et al., 2002; SOUZA, 2006; BIANCO, 2004; BIANCO et al 2003; DIAS E SILVA, 2003; DIAS, 2000; SOUZA et al, 2007; SOUZA et al, 2006; SOUZA, 1988; SOUZA et al, 2004; SOUZA et al, 1998; JONES, 1999; SOUZA, 2006), localização de corpos rochosos submersos, espessura desses corpos, e se obter a relação entre tipos de leito e as condições hidrodinâmicas atuais na região.

Desta forma, o presente trabalho tem com objetivo geral subsidiar com informações geofísicas de subsuperfície a elaboração do projeto de dragagem para definir a localização mais adequada para a ampliação da região portuária de Cabedelo solicitada pela Companhia Docas da Paraíba.

1.4 - METODOLOGIA

O trabalho realizado consistiu na aquisição de dados sísmicos de alta resolução e de dados batimétricos ao longo do canal de navegação até a região de Forte Velho, na margem esquerda do SERPN. Ao todo, foram realizados 5 perfis sísmicos longitudinais e 185 perfis batimétricos transversais ao eixo central do canal de navegação. Neste trabalho são apresentados apenas 5 perfis representativos das linhas sísmicas adquiridas.

Após a aquisição dos dados a interpretação e análise sismoestratigráfica foi realizada segundo os conceitos propostos por Mitchum JR. et al. (1977). Os parâmetros utilizados para a definição das sísmofaceis no presente estudo foram as configurações dos refletores sísmicos, amplitude das reflexões e a continuidade dos traços sísmicos.

Com base nos dados e análise sismoestratigráfica, foi possível confeccionar mapas batimétricos, mapas do topo do embasamento acústico rochoso (TEAR) e o mapa do volume de material sedimentar utilizados para o cálculo do volume a ser dragado e/ou derrocado da região em estudo.

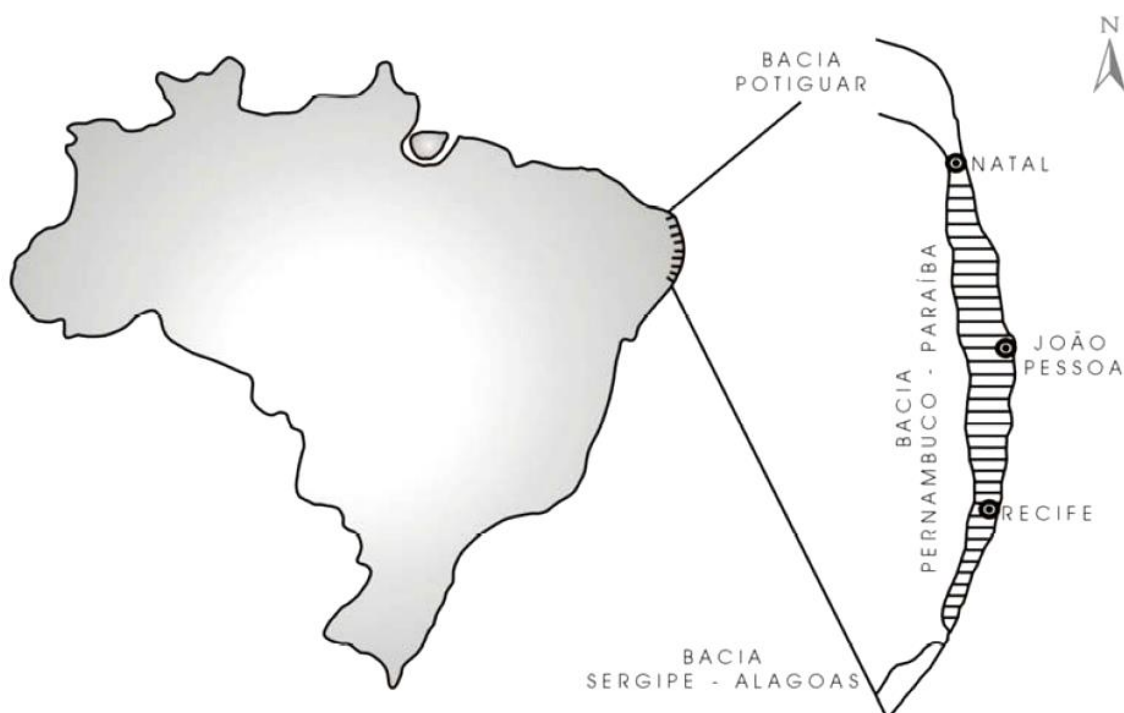
2 ÁREA DE ESTUDO

2.1 - CONTEXTO GEOLÓGICO

A área em estudo está inserida no contexto geológico da Bacia Pernambuco-Paraíba, sendo a bacia sedimentar mais setentrional da costa brasileira, situando-se entre os paralelos 6° e 9° sul. Limita-se a norte pelo Alto de Touros com a Bacia Potiguar, e a sul pelo Alto de Maragogi com a Bacia de Alagoas (MABESONE; ALHEIROS, 1988).

A Bacia Pernambuco-Paraíba (Figura 1) é constituída por duas sub-bacias: Bacia de Pernambuco (abreviada por SBPE e também conhecida como Bacia do Cabo, a sul) e da Paraíba (SBPB, a norte). O limite dessas sub-bacias é posicionado ao longo do extremo leste do Lineamento Pernambuco, com base na assinatura gravimétrica em offshore e nas diferenças nas colunas estratigráficas das porções emersas das mesmas. O alto que limita a Sub-bacia de Pernambuco com a Bacia Potiguar corresponde à Plataforma de Touros; a sul, o Alto de Maragogi limita a Sub-bacia de Pernambuco com a Bacia Sergipe-Alagoas. (CÓRDOBA et al. 2007).

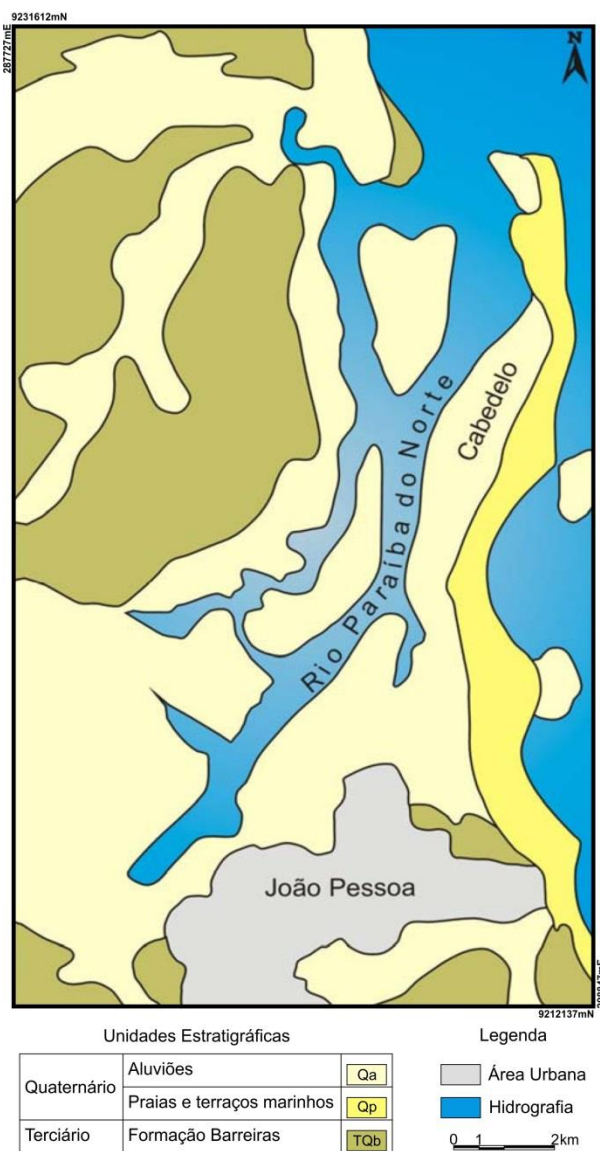
Figura 1 - Localização da Bacia Pernambuco-Paraíba no contexto Regional



Fonte: Mabesoone e Alheiros (1988)

Na área do estudo, os terrenos sedimentares cretáceos, são representados por arenitos sobrepostos por carbonatos, respectivamente das formações Beberibe e Gramame, ambas do Grupo Paraíba; sedimentos terciários do Grupo Barreiras e quaternários representados por com ocorrências de terraços marinhos pleistocênicos, terraços marinhos holocênicos, depósitos de mangues e depósitos aluviais e recifes (ROCHA, 1996; LEAL; SÁ, 1998).

Figura 2 - Mapa geológico simplificado da área de estudo.



Fonte: Modificado de Dantas, J.R.A.; Caúla, J.A.L.; Brito Neves, B.B. (1982)

A Formação Gramame é constituída de calcários quase puros, calcários argilosos, margas e calcarenitos. Na base desta formação é encontrada uma camada

irregular de fosforita. Esta formação recebeu a denominação de Oliveira et al. (1940) para uma melhor definição das ocorrências de calcários margosos no vale do Rio Gramame. A mesma repousa concordantemente sobre os clásticos da Formação Beberibe, interdigitando-se, inclusive, com as fácies mais distais desta última. Esta Formação atinge uma espessura de cerca de 55 metros, dos quais mais de dois terços são representados por calcários cinzentos. Na base, os calcários são dolomíticos tornando-se cálcicos e puros à medida que se aproximam do topo da sequência. Beurlen (1967), afirma que sua associação fóssil indica um ambiente de sedimentação marinho de águas quentes, calmo, pouco profundo, inferior a 200 metros.

Sobre os terrenos da Formação Gramame, repousam, em discordância erosiva, os clásticos continentais constituintes do Grupo Barreiras, com predominância da Formação Guararapes que forma a superfície dos tabuleiros e que em algumas partes aparece dissecada.

Os sedimentos do Grupo Barreiras apresentam-se em forma de capeamento sobre o Grupo Paraíba (Cretáceo). Eles são representados pela Formação Guararapes, de idade pliopleistocênica, composta de arenitos, argilas variegadas e cascalhos. Os arenitos apresentam coloração diversificada que varia do branco ao amarelo e vermelho.

O Grupo Barreiras estende-se por toda a faixa costeira com predominância à altura de João Pessoa e em direção ao norte onde avança sobre o litoral norte-rio-grandense. As formações quaternárias do litoral paraibano são representadas por sedimentos inconsolidados sendo representadas por aluviões, areias de praias, mangues, terraços fluviais e ainda por coberturas arenosas que se sobrepõem às camadas inferiores.

De acordo com Cavalcante e Monteiro (1991), o termo Barreiras foi utilizado primeiramente por Branner (1902), para designar camadas variegadas de sedimentos que constituem as falésias ao longo da costa.

Bigarella e Andrade (1964) e Alheiros e Lima Filho (1991), reconheceram duas unidades litoestratigráficas fundamentais separadas por uma desconformidade, as quais denominaram de Formação Guararapes (inferior) e Formação Riacho Morno (superior), propondo, com isso, a denominação de Grupo Barreiras. Alheiros et al. (1998) caracterizam os sedimentos tercióquaternários ocorrentes na faixa

costeira dos estados de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, como uma única unidade litoestratigráfica, denominando-a de Formação Barreiras, pois possuem as mesmas características litológicas, diferenciando, apenas na faciologia, isto devido aos diferentes sistemas deposicionais fluviais de grande extensão geográfica, que deram origem a essa unidade.

2.2 - PARÂMETROS OCEANOGRÁFICOS

Neves et al. (2010) apresentam algumas informações sobre as características oceanográficas da região como ondas, marés e correntes.

As ondas foram verificadas através dos dados disponíveis em MCT/IMPE/CPTEC, cujas estatísticas mostram a relação direta entre o sentido e a velocidade dos ventos dominantes e da altura e do período das ondas que chegam à costa do nordeste-oriental do Brasil. Para a costa do Estado da Paraíba as ondas mais frequentes que atingem a região são oriundas de NE ($N45^\circ$) e E ($N90^\circ$), com alturas de 1,0 m e períodos de 5,0 s, e de SE ($N135^\circ$) e SSE ($N 180^\circ$), com alturas de 1,5 m e períodos de 6,5 s.

Os dados de marés para o litoral do Estado da Paraíba foram obtidos do DHN para o Porto de Cabedelo. Segundo estes dados, a planície costeira da Paraíba está submetida a meso-marés com características semi-diurnas. A preamar máxima de sizígia registrada, ao longo do ano de 2008, foi de 2,7 metros e a baixamar mínima de sizígia de 0,0 metros. A maré máxima de quadratura foi de 1,7 metros e a maré mínima de 0,3 metros.

No litoral da Paraíba não se tem conhecimento de medições de correntes. De acordo com a variação da amplitude da maré de sizígia para o Porto de Cabedelo, cerca de 3,0 metros e os regimes de ondas e ventos, podem-se admitir velocidades de correntes da ordem de 0,4 a 0,7 m/s ao longo da costa. (PORTOBRÁS, 1989)

2.3 - CARACTERIZAÇÃO DA MORFOLOGIA

Em Guedes et al. (2011) é apresentado um estudo sobre a distribuição espacial dos sedimentos de fundo do rio Paraíba do Norte, observada a partir de dados batimétricos, sonográficos e com a coleta e classificação textural de vinte

amostras de material de fundo. Com esses dados foi possível definir a correlação entre os dados do registro do sonar e o resultado da análise das amostras.

A análise dos sonogramas e das amostras de fundo revelaram uma marcante ação da drenagem na distribuição dos sedimentos. Observou-se um predomínio de areias (areia fina a muito fina) ao longo do rio, cuja deposição resultou da ação de correntes bidirecionais controladas pelas marés e vazões fluviais. (GUEDES et al. 2011).

No canal do Velho Forte (à esquerda da Ilha da Restinga), identificou-se um fundo lamoso. Na desembocadura do Rio Paraíba e a sudeste da Ilha do Stuart, as areias são mais grossas (areias médias a grossas); as principais formas de fundo observadas foram as dunas 2D pequenas a médias, predominando aquelas com largura de 5 m e altura de 0.5 m, características de ambiente dominado por regime de fluxo médio conforme a classificação de Ashley (1990). Sendo assim, a ampla variedade de formas de fundo reflete as várias condições hidrodinâmicas bem como os tipos de sedimentos. (GUEDES et al. 2011).

Os dados de profundidade foram obtidos por meio do ecobatímetro em malha apropriada para a elaboração do mapa batimétrico do rio Paraíba do Norte na sua porção estuarina. A partir do mapa batimétrico se observou a existência de um canal preferencial, que se estende desde a desembocadura do Rio Sanhauá até as proximidades do Porto de Cabedelo, seguindo a margem direita do leito do Rio Paraíba. Este canal encontra-se obstruído em alguns locais pela presença de dunas subaquosas; as maiores profundidades são observadas nas desembocaduras dos Rios Mandacaru e Tambiá, com 5 metros em média, e nas proximidades do Porto de Cabedelo, alcançando, em alguns pontos 11 m. Neste último, essa profundidade é alcançada devido as constantes dragagens realizadas na desembocadura do Rio Paraíba para tráfego de embarcações de grande porte (GUEDES et al. 2011).

Os dados batimétricos foram analisados conjuntamente com os dados dos sonogramas e as amostras de fundo, permitindo, com isso, uma analogia entre profundidade e material de fundo. Wewetzer et al.(1999), em um trabalho realizado no estuário do Rio Tay na Escócia, analisou os dados de sonogramas e de profundidade, onde observou que nem sempre uma mudança brusca na morfologia e no tipo de sedimento é registrada na variação batimétrica (GUEDES et al. 2011).

No caso do ERP, observou-se que nos locais de menor energia, inferiores a dois metros, há um predomínio de material arenoso de textura fina a muito fina, enquanto que nos locais de maior energia predomina material arenoso de textura grossa, podendo estar misturado a material mais fino (areno-lamosa) (GUEDES et al. 2011).

A batimetria revelou que, de uma maneira geral, o estuário é relativamente raso, principalmente na sua porção superior, evidenciados pela presença de um grande número dunas subaquosas que ficam expostas durante a maré baixa. Estas dunas são evidências de que o estuário está em processo contínuo de assoreamento, podendo vir a comprometer o seu ecossistema (GUEDES et al. 2011).

3 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS

3.1 - PLANEJAMENTO DE CAMPO

A partir da base cartográfica georeferenciada digital fornecida pela Companhia Docas da Paraíba, foi realizado o primeiro passo mensurar a área onde se realizaria os levantamentos e georeferenciar a base cartográfica para o datum WGS-84 e projeção UTM. Em seguida essa base cartográfica foi inserida no software HYPACK 2011, onde foram definidas as seções batimétricas e perfis sísmicos na área do Canal de Acesso ao Porto de Cabedelo.

Calibração e Posicionamento dos Dados

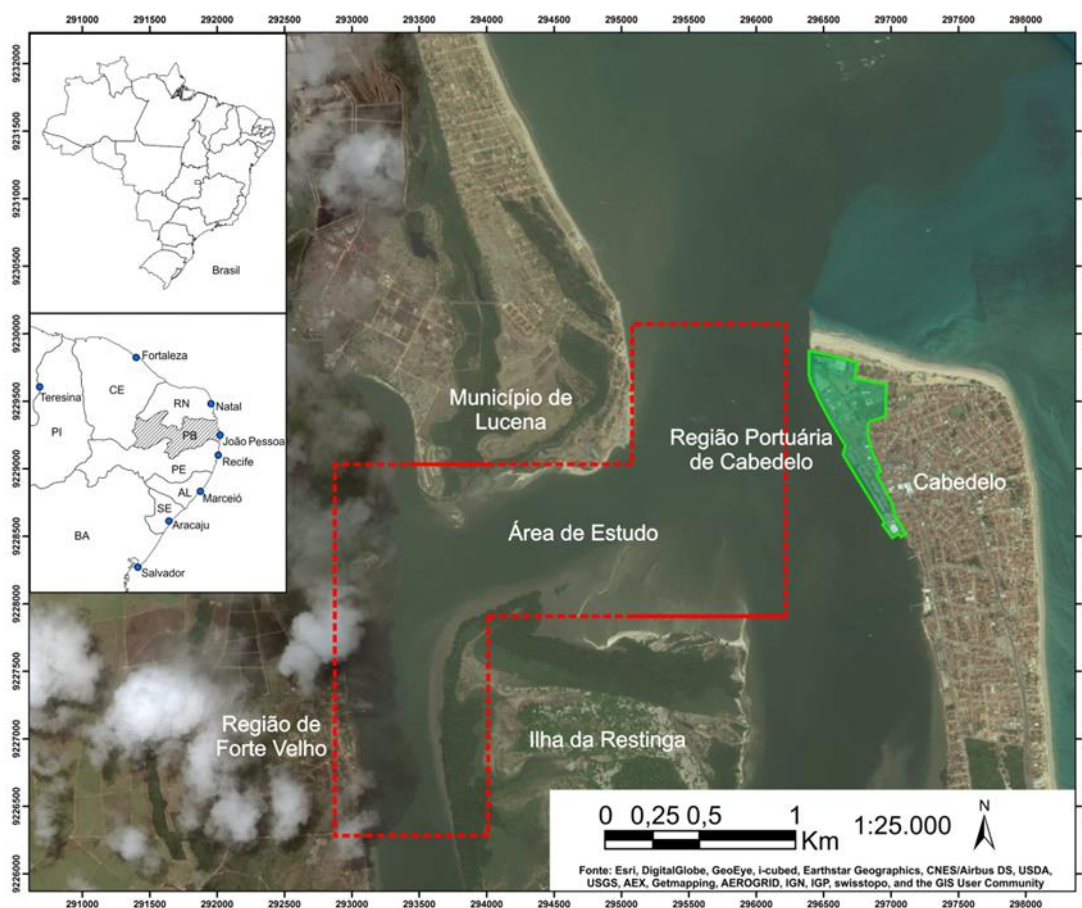
A calibração da ecossonda de feixe vertical foi realizada a cada início de operação, levando em consideração a velocidade do som de 1526,18 m/s para a região com base nos dados de temperatura e salinidade medidos com os CTD's (Conductivity-Temperature-Depth) modelo 3231 da AANDERAA e modelo 108 MkIII da VALE-PORT.

O posicionamento foi realizado a partir de um receptor Trimble, modelo DSM-232 pelo método DGPS (Diferencial Global Positioning System), que possui receptores Beacon - Rádio Farol e OmniSTAR XP/HP. Os dados de coordenadas (GGA) foram coletados com projeção UTM, no datum horizontal WGS84.

3.2 - AQUISIÇÃO DE DADOS DE CAMPO

Os dados para este trabalho foram adquiridos e cedidos pela empresa G2 Meio Ambiente. Os trabalhos de campo, foram executados em duas etapas: (1) a primeira consistiu da instalação do marógrafo digital e sua aferição na estação maregráfica instalada no cais do Porto de Cabedelo e (2) a segunda compreendeu a aquisição de dados hidro-acústicos batimétricos e sísmicos ao longo do canal de acesso a Forte Velho (margem esquerda do rio Paraíba do Norte).

Figura 3 - Mapa de localização da área de estudo localizada na margem esquerda do estuário do Rio Paraíba do Norte, e a localização da região portuária de Cabedelo – PB.



Fonte: Do autor

Instalação e Calibração da Estação Maregráfica

Para maior precisão na aquisição dos dados batimétricos, foram solicitadas ao Centro de Hidrografia da Marinha (CHM) informações sobre o funcionamento a estação maregráfica localizada no Porto de Cabedelo, porém esta estação não estava mais em funcionamento. Foi então instalada uma estação maregráfica no Porto de Cabedelo, com as seguintes coordenadas geográficas $06^{\circ} 58'.1$ S e $34^{\circ} 50'.2$ W, com duas referências de nível (RN-1 e RN-2). Neste nivelamento foi instalada uma régua de PVC com 4 metros de comprimento e múltiplos a cada 2 cm. O nível de redução calculado para esta estação foi de 11,4 cm acima do zero da régua, sendo este nível obtido a partir do nivelamento geométrico da estação maregráfica.

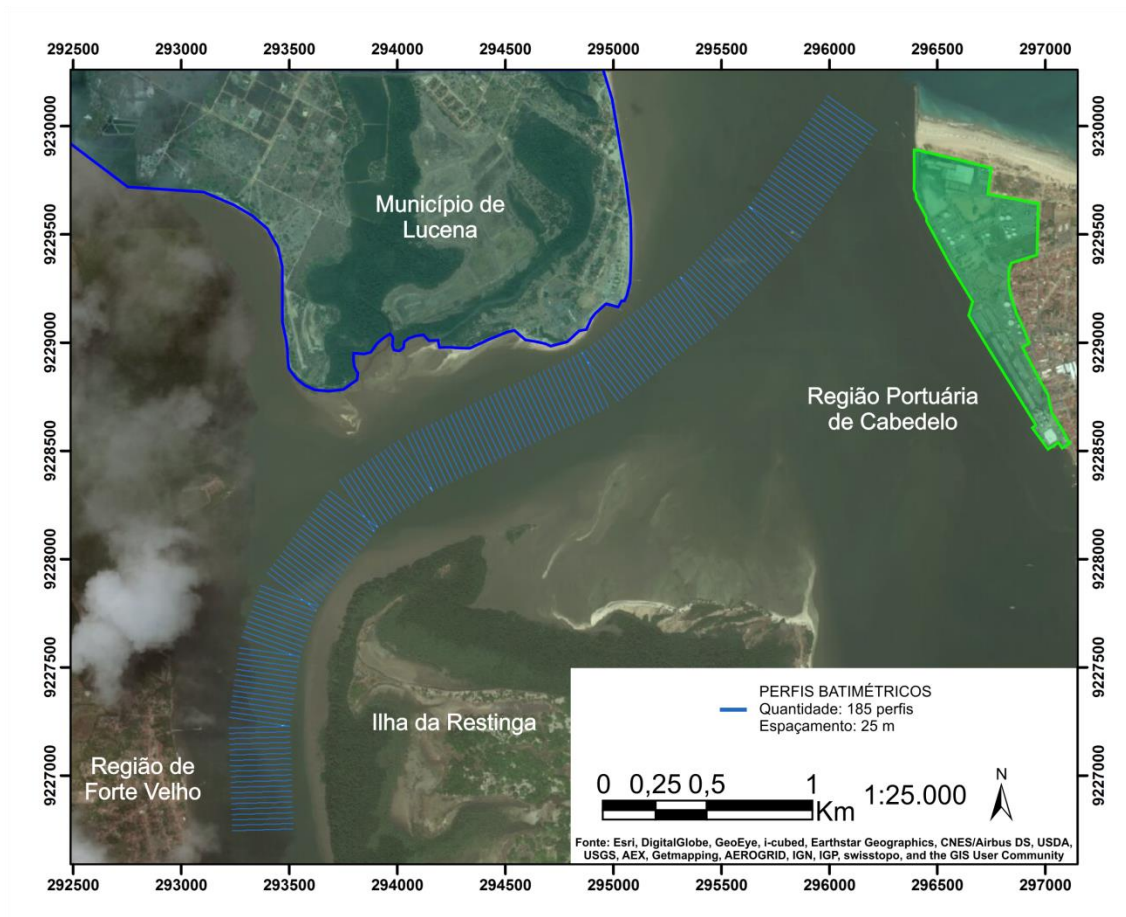
Em seguida, foi realizada a leitura da amplitude de maré a cada 15 minutos para a correção dos dados batimétricos (FRAZÃO, 2011).

3.3 - AQUISIÇÃO DOS DADOS HIDROACÚSTICOS BATIMÉTRICOS E SÍSMICOS

Os levantamentos batimétrico e sísmico foram realizados ao longo do canal de acesso a Forte Velho, margem esquerda do rio Paraíba do Norte, com o intuito de tornar representativas as feições morfológicas do canal de acesso, bem como, de revelar o topo do embasamento rochoso. As coletas foram feitas com uma embarcação de 6 metros de comprimento e 0,20 m de calado, o que permitiu sondagens em áreas bastante rasas e recobrimdo de praticamente toda a área do canal.

No levantamento batimétrico, foram realizados 185 perfis com uma equidistância de 25 m transversais ao canal do rio (linhas em azul na Figura 4), seguindo a orientação prévia de cartas náuticas. Na aquisição foi utilizada uma ecossonda da Syqwest modelo Bathy-500 DF operando na frequência de 200 kHz, com resolução do feixe vertical de 0.01m, capaz de medir profundidades de até 300 m, com intervalo de gravação de 5s.

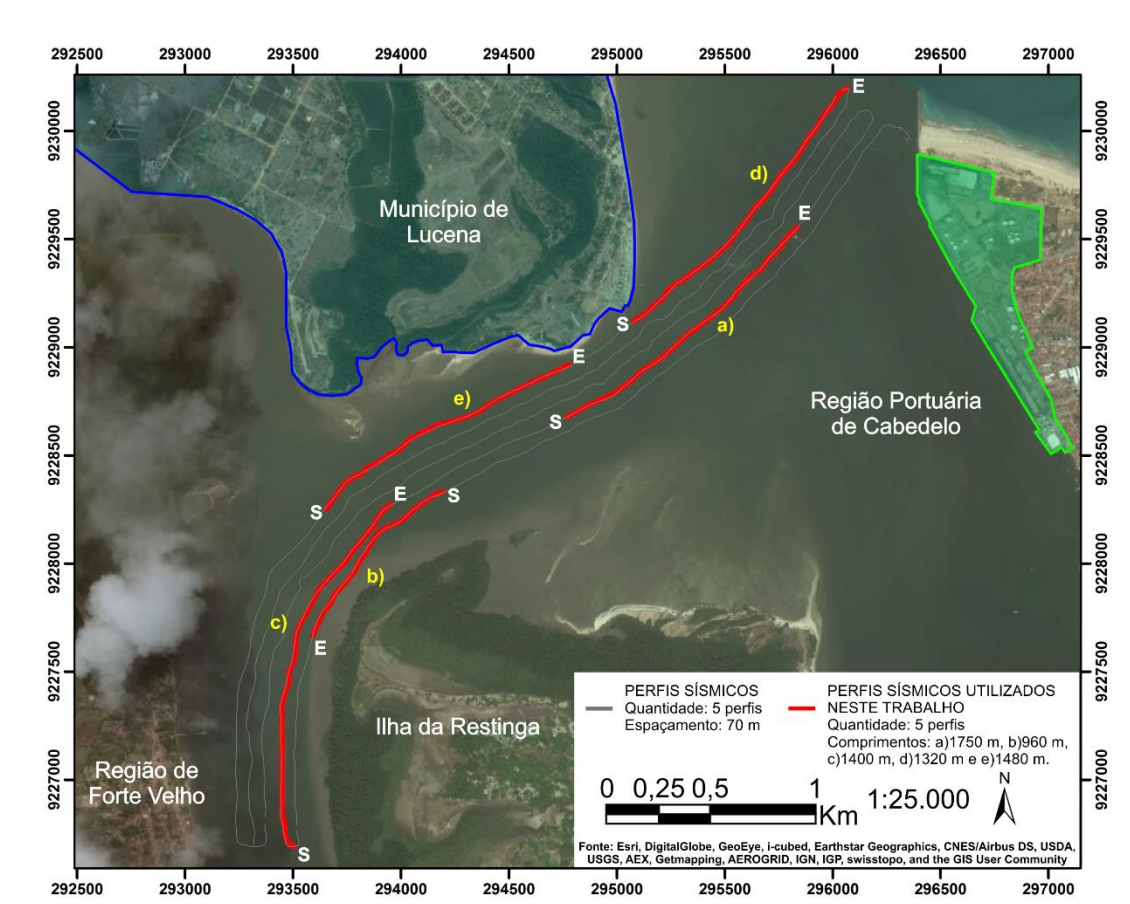
Figura 4 - Mapa de localização e distribuição espacial das linhas batimétricas. Ao todo foram realizadas 185 linhas espaçadas em 25 metros.



Fonte: Do autor

O levantamento sísmico monocanal, foi feito ao longo de 5 seções (linhas sísmicas em cinza e o perfis representativos em vermelho, sinalizados de “a” a “e”) na Figura 5, com extensões respectivas de 960 m, 1750 m, 1400 m, 1320 m e 1480 m com um perfilador sísmico da SyQwest modelo StrataBox 3510 operando na faixa de frequência de 3,5 a 10 KHz, com resolução vertical de 6 cm. Neste, os perfis obtiveram uma equidistância de 70 m longitudinais a partir do centro do canal (Figura 5).

Figura 5 - Mapa de localização e distribuição espacial dos 5 perfis sísmicos de alta-resolução (em cinza) coletados em campo e espaçados em 70m, porém neste trabalho será apresentado apenas 5 perfis representativos (a, b, c, d, e e em vermelho) destas linhas.



Fonte: Do autor

3.4 - PROCESSAMENTO DOS DADOS DE CAMPO

O método sísmico de reflexão é amplamente utilizado em levantamentos de exploração para detectar e mapear estruturas e interfaces em subsuperfície. O método consiste basicamente na caracterização da profundidade das superfícies de reflexão e sua influência sobre a velocidade de propagação das ondas acústicas nas camadas em subsuperfície (LOWRIE, 2006).

A geofísica de alta resolução, acústica de alta resolução ou perfilagem acústica contínua (SIECK; SIEF, 1977) compreende métodos geofísicos (ecossondas mono ou multifeixe, sonografia de varredura lateral e perfilador de subfundo) que investigam meios em pequenas profundidades com espectros de alta frequência, empregando os mesmos princípios de reflexão da sísmica convencional.

Entretanto, são diferentes os seus sistemas de aquisição de dados, as fontes acústicas, os espectros de frequências emitidos, os receptores, os sistemas de processamento e até mesmo as formas de apresentação dos dados. (GOMES et al. 2011)

A sísmica de alta-resolução tem aplicações limitadas a regiões de águas rasas (dez a cem metros, em casos de lagoas, estuários e rios) e tem melhor resolução que a sísmica convencional, uma vez que é capaz de imagear estruturas na escala de centímetros (BRUNETTA, 2005).

Pré-Processamento dos Dados Batimétricos e Sísmicos

Após a aquisição dos dados batimétricos, estes foram analisados e editados (no software Hypack) para que observações de profundidade irreais (spikes), decorrentes de problemas ocorridos durante a aquisição fossem corrigidos. Após estes procedimentos, os dados foram organizados e amostrados em uma malha regular com espaçamento de 04 metros para que depois fossem realizados os cálculos de volumes de dragagem e derrocagem juntamente com a sísmica. O pré-processamento dos dados sísmicos de alta-resolução consistiu basicamente no agrupamento dos dados sísmicos ao longo dos cinco perfis adquiridos e na aplicação de um aumento do contraste da seção (AGC - Automatic gain control).

3.5 - PROCESSAMENTO DOS DADOS BATIMÉTRICOS

O processamento dos dados batimétricos consistiu na organização dos dados onde se tem os pontos amostrados com hora da aquisição, profundidade, latitude, longitude e observações referentes a determinados trechos do perfil. De posse desses dados organizados foi possível gerar um grid que deu origem a um mapa batimétrico que foi plotados sob a base cartográfica concedida pela Marinha do Brasil, para que se pudesse verificar a confiabilidade desta base e utilizá-la na edição final dos dados.

3.6 - PROCESSAMENTO DOS DADOS SÍSMICOS

Até pouco tempo os dados sísmicos de alta-resolução eram interpretados sem nenhum tratamento prévio. Os estudos e referências na área são bastante

raros, muito recentes ou pouco abordados na literatura pertinente (por exemplo, BRUNETTA, 2005; GOMES et al. 2010).

Neste trabalho o fluxo de tratamento dos dados sísmicos de alta-resolução consistiu no agrupamento dos dados sísmicos adquiridos, aumento do contraste da seção (AGC - Automatic gain control) e na aplicação do ganho variável de tempo (TVG – Time Variable Gain) para amplificar o sinal acústico das imagens adquiridas.

3.7 - INTERPRETAÇÃO DOS DADOS SÍSMICOS

Após a aquisição dos dados interpretação sismoestratigráfica foi realizada segundo os conceitos propostos por Mitchum JR. et al. (1977). Os parâmetros utilizados para a definição das sísmofaceis no presente estudo foram as configurações dos refletores sísmicos, amplitude das reflexões e a continuidade dos traços sísmicos.

Uma fácies sísmica é definida pelos padrões de reflexão distintos incluindo a configuração do refletor, continuidade, amplitude, frequência e forma externa (LURTON, 2002). Uma combinação destes parâmetros possibilita uma interpretação geológica a ser desenvolvida, incluindo a localização ambiental, processos deposicionais e uma avaliação da litologia.

Com base na análise sismoestratigráfica, foi possível confeccionar mapas de isopacas do topo do embasamento acústico rochoso utilizado para o cálculo do volume de material sedimentar a ser dragado/derrocado.

3.8 - CÁLCULO DO VOLUME DE SEDIMENTO A SER DRAGADO/DERROCADO

Para o cálculo dos volumes de sedimento e rochas a serem dragados e/ou derrocados ao longo do canal principal de navegação a Forte Velho, foram feitas análises em conjunto dos dados batimétricos e sísmicos sendo utilizado o método para cálculo de volume chamado Philadelphia, nativo do software HYPACK 2011.

3.9 - MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO – MDE

Os MDE da batimetria e da profundidade do topo do embasamento rochoso foram gerados pela interpolação por triangulação com uso da técnica TIN (Triangu-

lated Irregular Network) e os pontos foram conectados de acordo com a triangulação de Delaunay, como sugere Amaro et al. (2013), que usa o critério da maximização dos ângulos mínimos de cada triângulo (SANTOS et al. 2011). As variações dos MDE obtidos ao longo do tempo foram calculadas pela subtração entre os modelos com o método da álgebra de mapas, com o software HYPACK versão 2011, da Odom. O controle de qualidade dos MDE foi realizado a partir de um conjunto de pontos de controle selecionados aleatoriamente na área de estudo e que não foram usados na geração dos modelos, como em Ferreira et al., (2014).

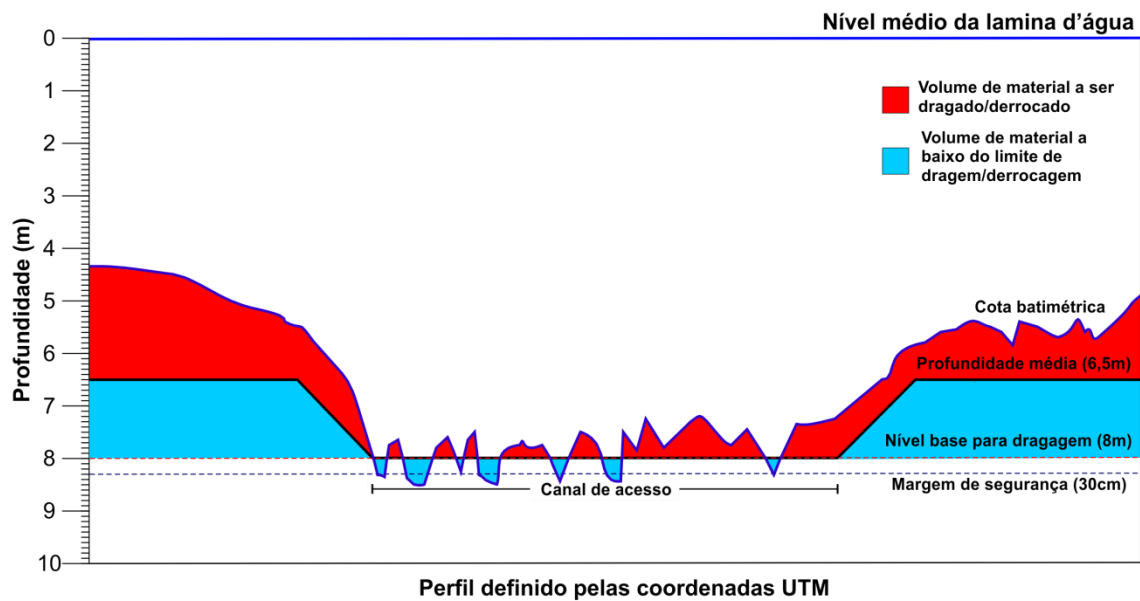
3.10 - MÉTODO DO CÁLCULO DO VOLUME SEDIMENTAR

Enquanto o dado batimétrico mapeia a superfície do leito marinho ou fluvial, através do dado de sísmica de alta resolução é possível ter uma estimativa do topo do embasamento acústico rochoso. Desta forma a estimativa do volume total ou pacote sedimentar a ser dragado/derrocado é obtido pelo cálculo do volume da região compreendida entre os limites delimitados pelos dados de batimetria e sísmico.

O cálculo de volume é realizado através da análise matemática de uma superfície tridimensional, onde as coordenadas X, Y e Z estão na mesma unidade de medida, gerando assim um resultado de volume em unidades cúbicas. São definidas, a partir da cota que representa a linha de base para o cálculo do volume, as superfícies superiores e inferiores (Cut & Fill), ou seja, as porções de volume positivo representam as regiões topograficamente elevadas com relação à linha de base. O oposto ocorre com as regiões de preenchimento onde não há a necessidade de dragagem, já que possui atualmente profundidade igual ou superior a linha de base (Figura 6).

As especificações dos volumes a serem calculados foram fornecidas pela Companhia Docas da Paraíba sendo definida a cota de dragagem (linha base) como sendo de 8 metros e 30 centímetros de margem de segurança para o canal principal de navegação de acesso a Forte Velho.

Figura 6 - Representação esquemática da definição das regiões calculadas a partir da linha de base. Volume da superfície superior (Positivo) e superfície inferior (Negativo).



Fonte: Do autor

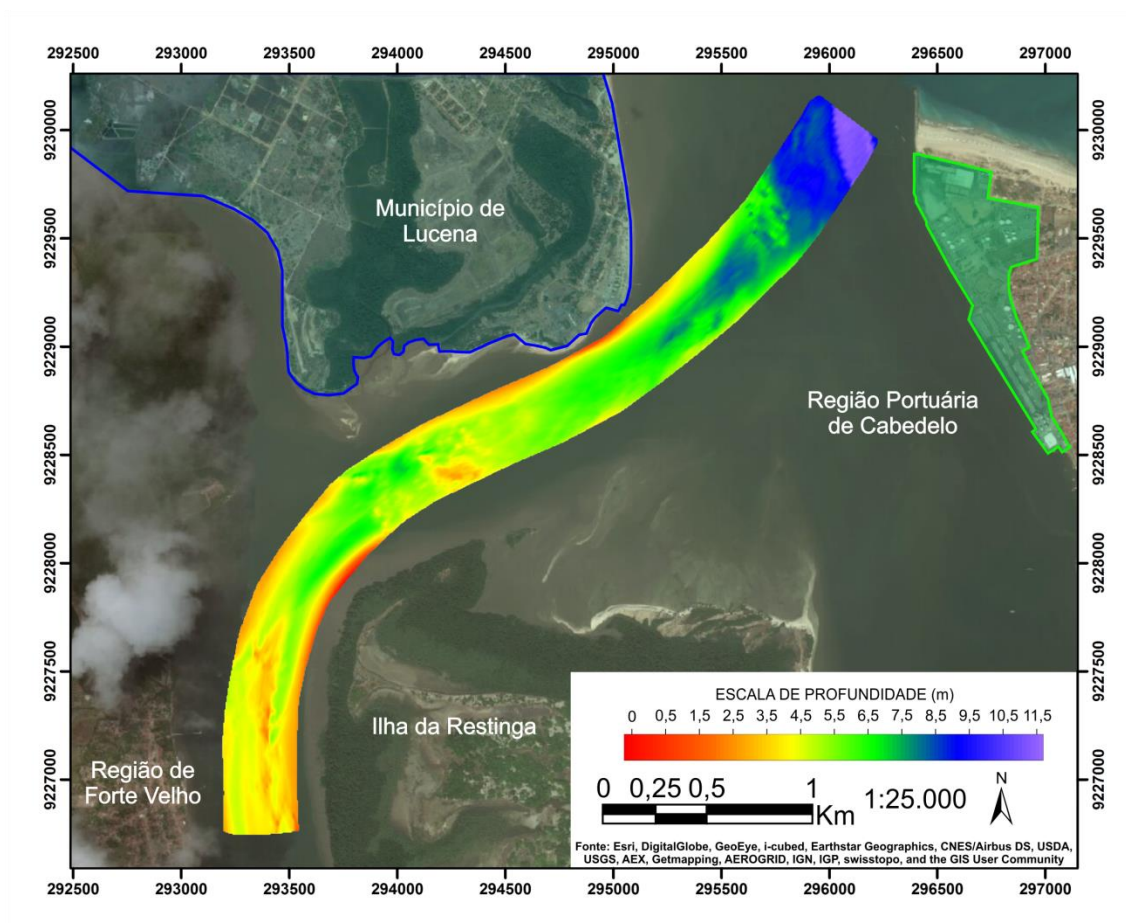
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Bacia de Campos é classificada, segundo a Teoria da tectônica de Placas, como uma bacia de margem continental passiva ou uma bacia de margem divergente, tipo V (KLEMME, 1980), assim como inúmeras bacias sedimentares brasileiras (Figura 4). O surgimento da bacia tem sua origem relacionada ao rompimento do supercontinente Gondwana a partir do final do Jurássico, então separação das placas Sul Americana e Africana, e surgimento do Oceano Atlântico a partir do Cretáceo Inferior.

4.1 - ANÁLISE BATIMÉTRICA

A Figura 7 indica que as cotas batimétricas ao longo de canal principal de navegação de acesso a Forte Velho, variam entre 11,5 m a 2,5 m, com uma média de 6,5 m. É possível visualizar na Figura 7 regiões mais avermelhadas e amareladas ao longo do canal de acesso a Forte Velho, nestas regiões a profundidade varia de 0,5 até 4,5 metros. Uma análise mais detalhada será feita após a obtenção dos dados sísmicos que indicaram a espessura do pacote sedimentar e a morfologia do topo do embasamento acústico rochoso.

Figura 7 - Mapa Batimétrico do canal de acesso à localidade de Forte Velho. Localização da região portuária de cabedelo e o Município de Lucena.



Fonte: Do autor

4.2 - ANÁLISE DO TOPO DO EMBASAMENTO ACÚSTICO ROCHOSO – TEAR

O topo do embasamento acústico rochoso – TEAR é a região do primeiro refletor fortemente marcado que indica um horizonte de superfície basal, sendo uma superfície de erosão ou não deposição (GOMES et. al 2011).

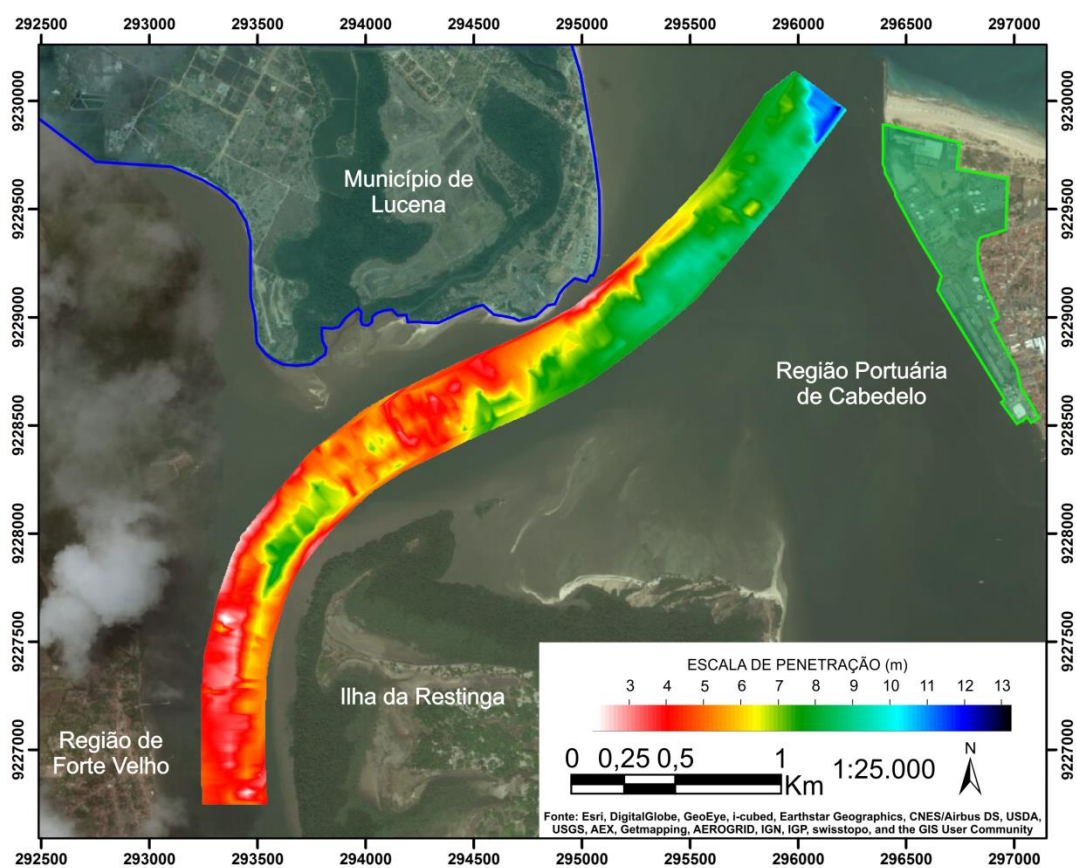
Nas Figuras de 9 a 13 têm-se as seções sísmicas após processamento com a marcação do embasamento rochoso. É verificado que a sua ocorrência se dá tanto na superfície do leito como a ~ 3,8 metros abaixo da subsuperfície, este limite está marcado com uma linha vermelha ao longo de todos os sismogramas.

Através da aquisição sísmica ao longo do canal de acesso a Forte Velho foi possível observar (Figura 8) a espessura variável do pacote sedimentar sendo

pouco espesso próximo a Forte Velho e no canal de acesso ao Porto de Cabedelo, devido a um afloramento do embasamento acústico rochoso neste setor.

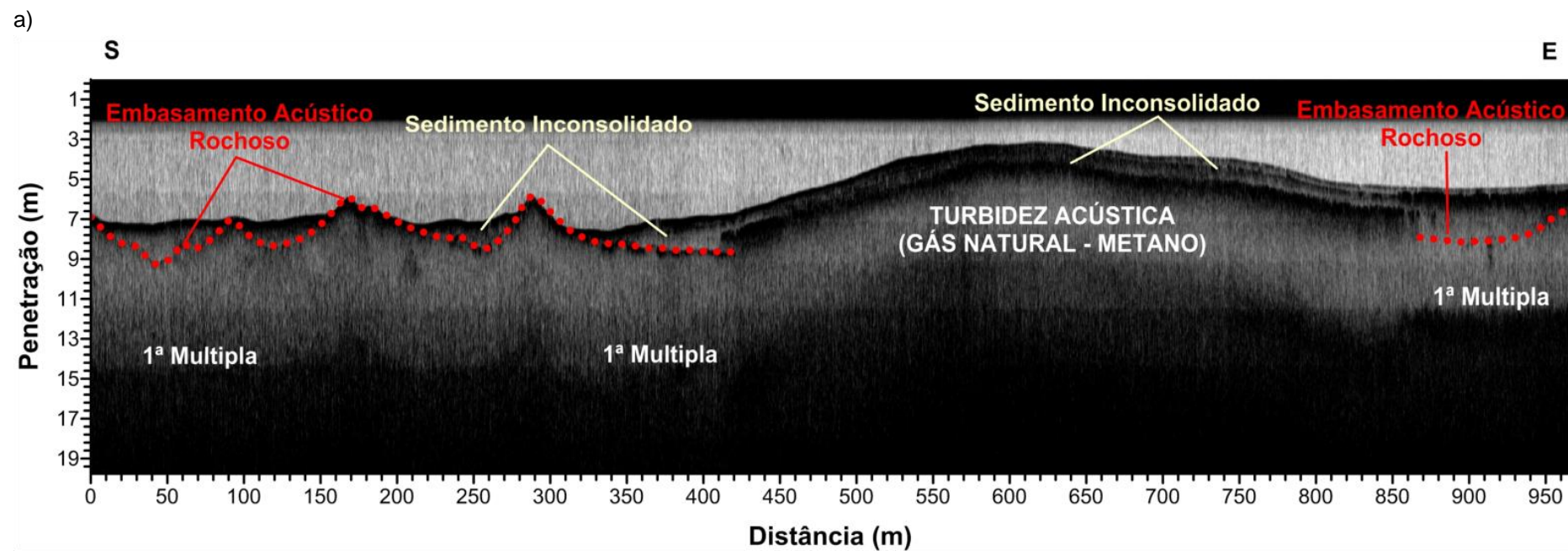
Observa-se em todas as seções sísmicas que o TEAR forma uma superfície bastante irregular proveniente de erosões quando o nível do mar estava abaixo do atual.

Figura 8 - Mapa do topo do embasamento acústico rochoso para a região portuária de Cabedelo, PB. Isópacas em metros.



Fonte: Do autor

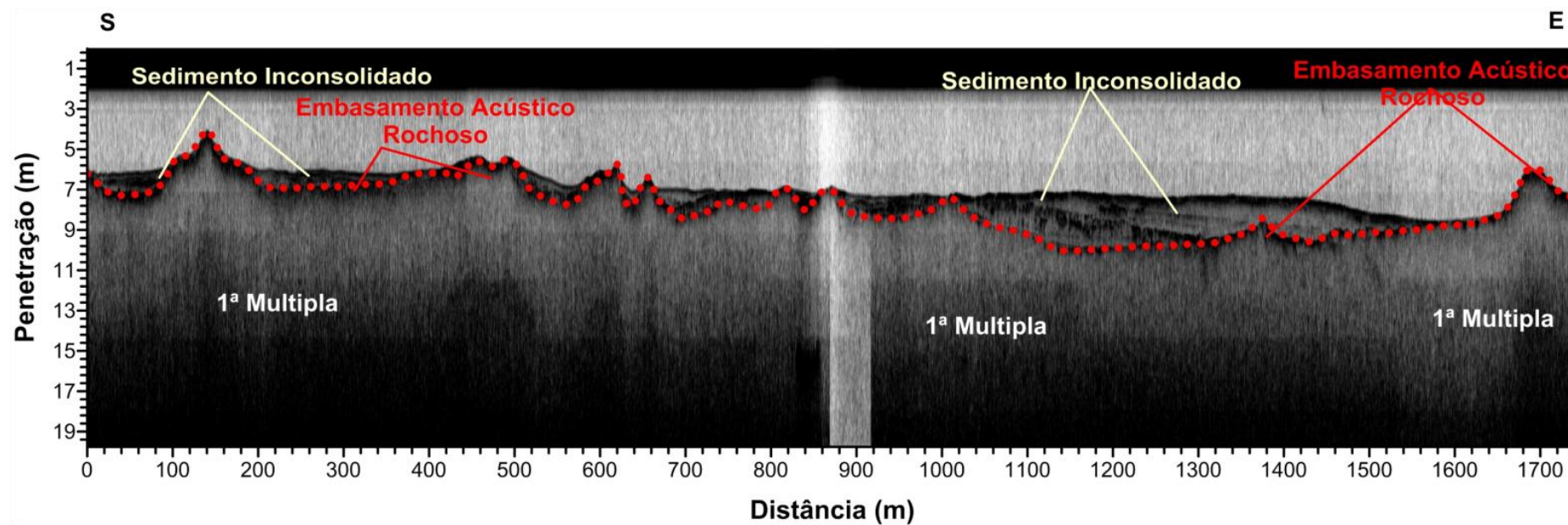
Figura 9 - Perfil a) representativo do registro sísmico de alta resolução na região portuária de Cabedelo (Ver Figura 5). Faixa de frequência de 17 a 32 dB. As linhas vermelhas nos perfis sísmicos representam o topo do embasamento acústico mapeado, ou seja, o limite do pacote sedimentar inconsolidado a ser dragado.



Fonte: Do autor

Figura 10 - Perfil b) representativo do registro sísmico de alta resolução na região portuária de Cabedelo (Ver Figura 5). Faixa de frequência de 17 a 32 dB. As linhas vermelhas nos perfis sísmicos representam o topo do embasamento acústico mapeado, ou seja, o limite do pacote sedimentar inconsolidado a ser dragado.

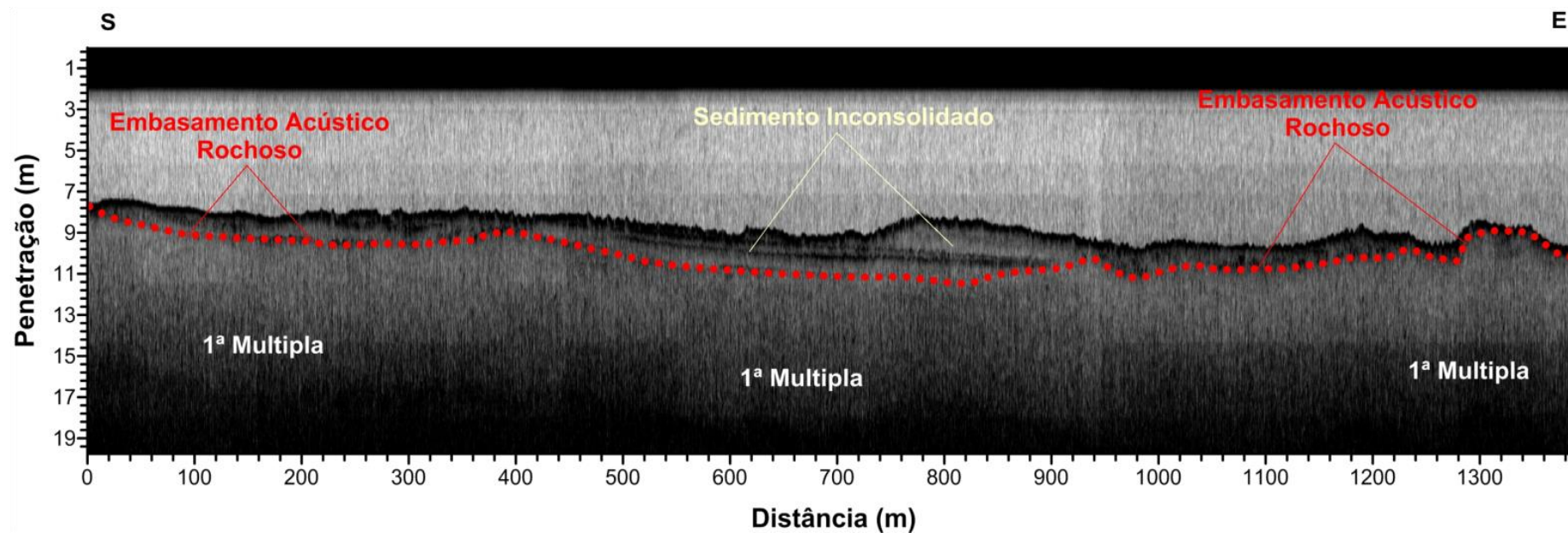
b)



Fonte: Do autor

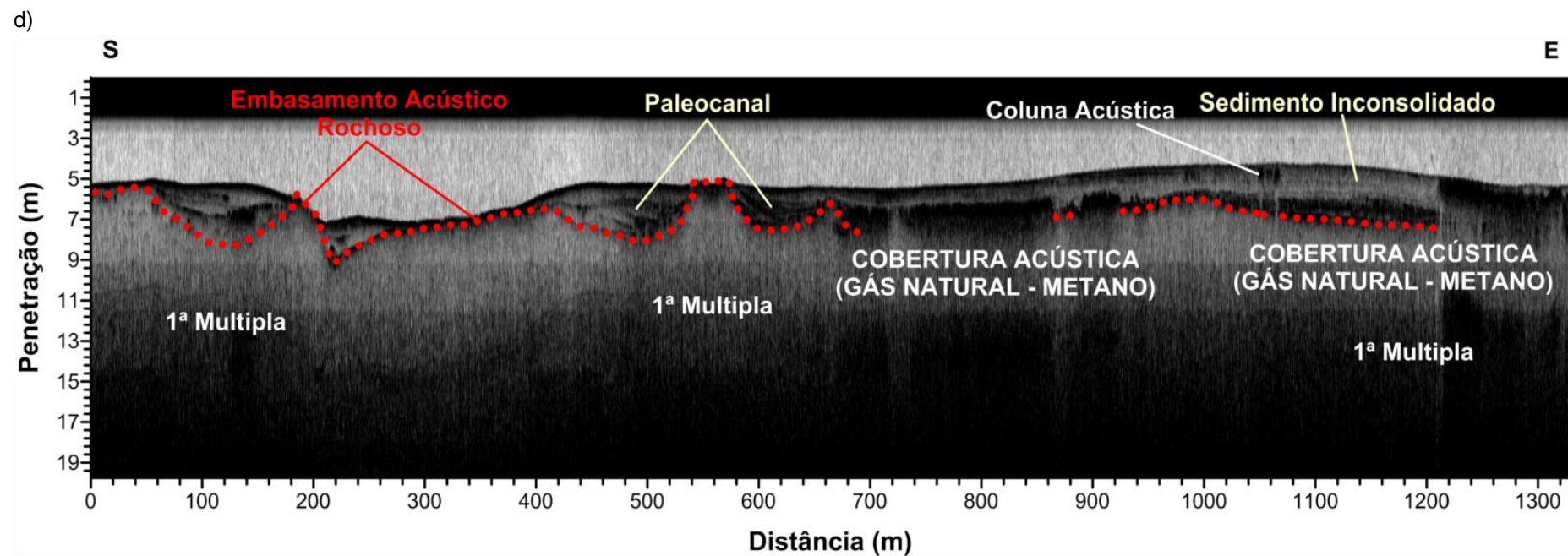
Figura 11 - Perfil c) representativo do registro sísmico de alta resolução na região portuária de Cabedelo (Ver Figura 5). Faixa de frequência de 17 a 32 dB. As linhas vermelhas nos perfis sísmicos representam o topo do embasamento acústico mapeado, ou seja, o limite do pacote sedimentar inconsolidado ser dragado.

c)



Fonte: Do autor

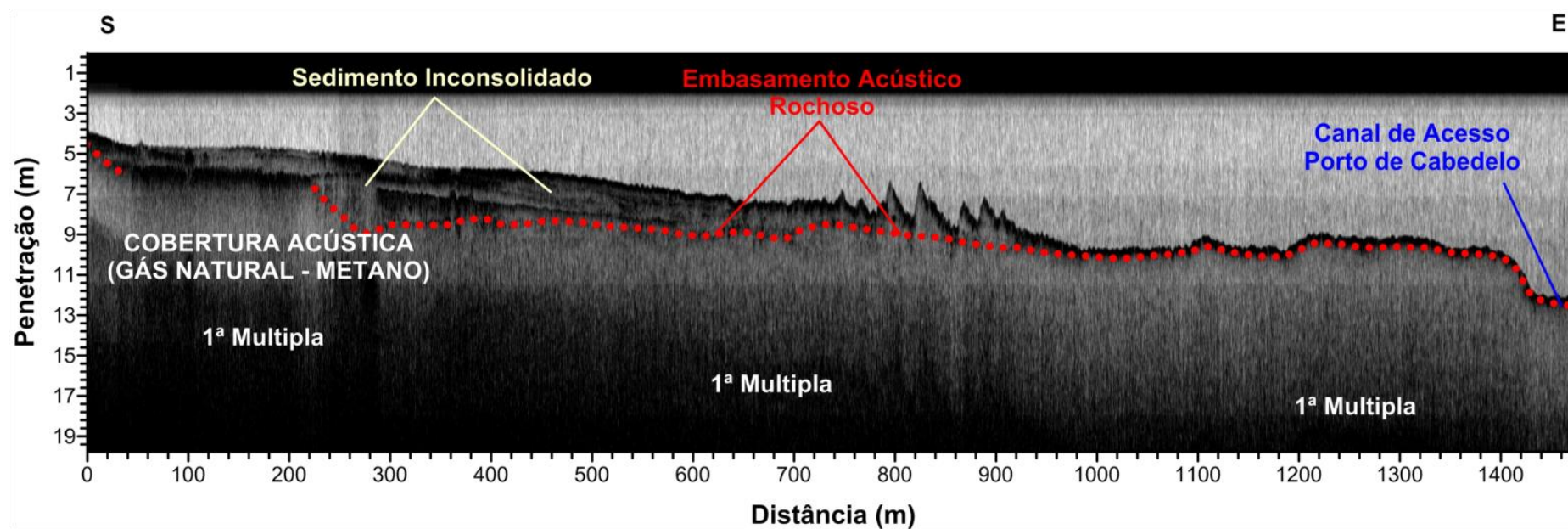
Figura 12 - Perfil d) representativo do registro sísmico de alta resolução na região portuária de Cabedelo (Ver Figura 5). Faixa de frequência de 17 a 32 dB. As linhas vermelhas nos perfis sísmicos representam o topo do embasamento acústico mapeado, ou seja, o limite do pacote sedimentar inconsolidado a ser dragado.



Fonte: Do autor

Figura 13 - Perfil e) representativo do registro sísmico de alta resolução na região portuária de Cabedelo (Ver Figura 5). Faixa de frequência de 17 a 32 dB. As linhas vermelhas nos perfis sísmicos representam o topo do embasamento acústico mapeado, ou seja, o limite do pacote sedimentar inconsolidado a ser dragado.

e)



Fonte: Do autor

4.3 - OCORRÊNCIAS DE GÁS

Neste setor do sistema estuarino do rio Paraíba do Norte foi mapeada ocorrências e acumulações de gás utilizando-se dados sísmicos levando-se em conta suas assinaturas sísmicas, geometria e dimensões de acordo com Frazão e Vital (2007). A turbidez acústica foi à ocorrência de gás mais comum ao longo das seções sísmicas, que consiste de um grau variável de distúrbio no registro sísmico, porém é possível seguir os refletores através do distúrbio. A origem deste tipo de acumulação é explicada pela reflexão e dispersão de energia acústica através de um grande número de bolhas de gás in situ, provocando mascaramento nos registros sísmicos. Este efeito pode ser produzido com apenas 1 % do volume de gás no sedimento (FANNIN, 1980).

A cobertura acústica ou blankets foi à acumulação de gás mais frequente nas seções sísmicas adquiridas (Figuras 9, 12 e 13). Esta ocorrência de gás é identificada por uma forte reflexão superior, coerente ou interrompida (aumento da reflexão), além de mascarar completamente o registro sísmico subjacente sem possibilidades de estabelecer conexão com a fonte de gás.

Outras formas de ocorrência de gás mapeadas nas seções foram às colunas acústicas, em que são identificadas como estruturas verticais manchadas. Hovland e Judd (1988) descrevem essas assinaturas sísmicas como sendo perturbações colunares transparentes originadas pela migração ascendente dos fluídos, provavelmente gás. O limite superior apresenta uma forte reflexão com fase invertida. Neste caso, pode-se reconhecer a conexão com o nível da fonte do gás. Estas estruturas estão frequentemente localizadas perto de acumulações de gás dos tipos blankets e cortinas acústicas.

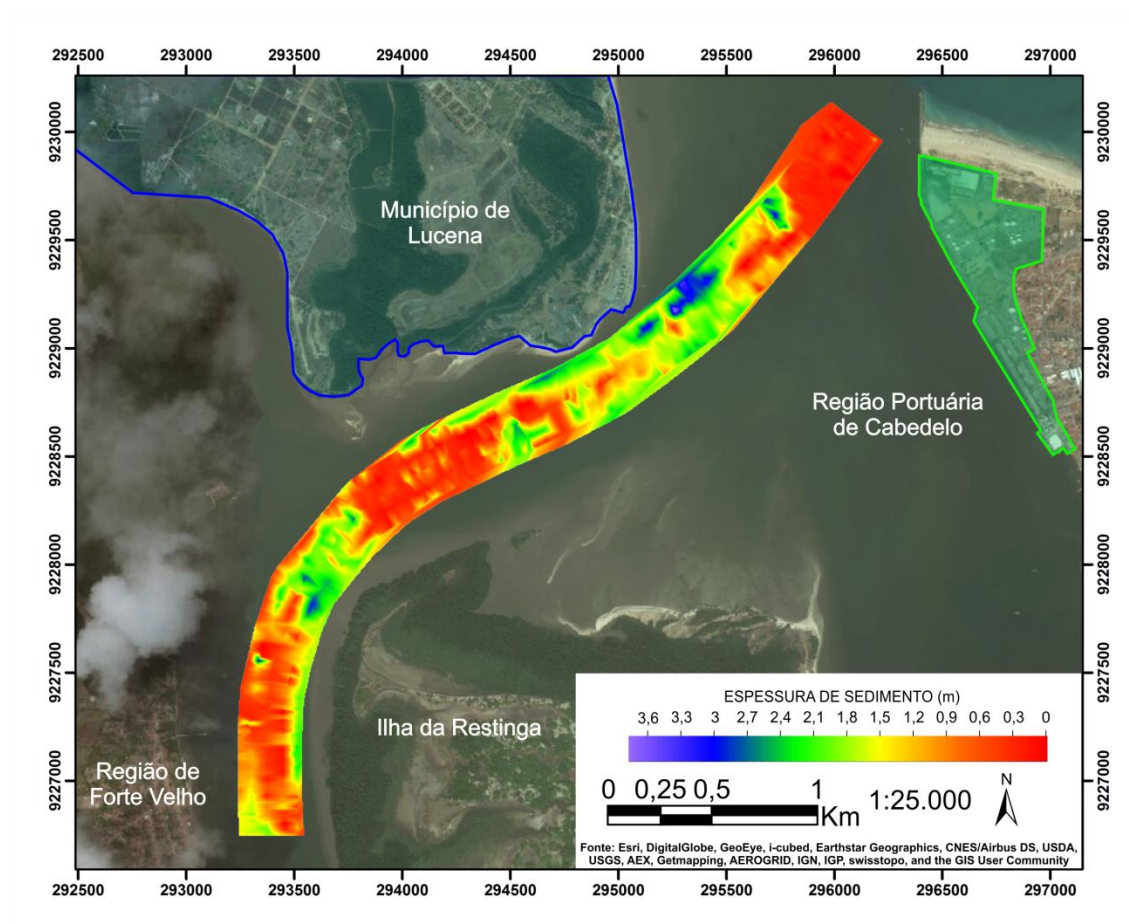
4.4 - ANÁLISE DO PACOTE SEDIMENTAR

No mapa interpolado do topo do embasamento acústico rochoso do canal de acesso a Forte Velho (Figura 8), observa-se que a linha de talvegue do rio é controlada pelo Topo do Embasamento Acústico Rochoso (TEAR), ou seja, existem paleo-canais escavados no TEAR provavelmente gerados quando o nível do mar estava mais baixo. Na área sondada o TEAR é capeado por poucos metros de material sedimentar, na porção mais próxima do canal de navegação de acesso ao Porto de

Cabedelo chegam ao máximo de 3,8 metros de pacote sedimentar. Na maioria das vezes esse pacote sedimentar não passa de 0,5 a 2,0 metros.

Com relação ao pacote sedimentar, ou seja, a espessura do material inconsolidado (Figura 14) depositado no canal de acesso a Forte Velho possui a espessura máxima de 3,8 m e em alguns setores as rochas provavelmente do Grupo Barreiras afloram no leito estuarino.

Figura 14 - Mapa da espessura do pacote sedimentar, da região portuária de Cabedelo, PB.



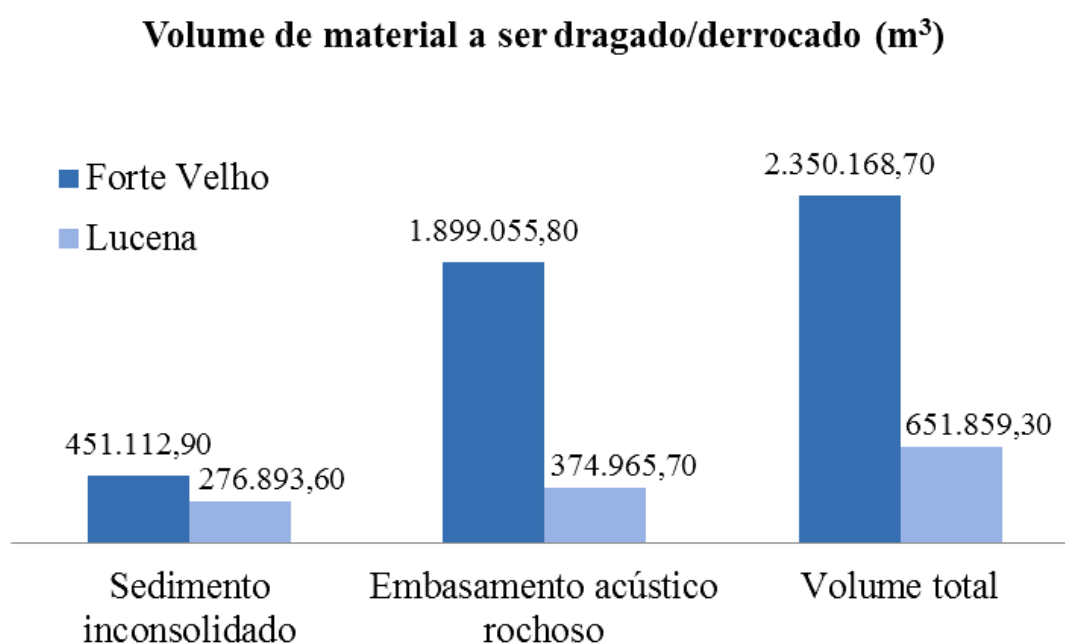
Fonte: Do autor

4.5 - CALCULO DO VOLUME DO MATERIAL A SER DRAGADO E/OU DERRO-CADO

A Figura 15 mostra o resultado do cálculo volume para a cota do projeto estabelecida pelas Docas da Paraíba e o volume em metros cúbicos de material sedimentar e/ou rochoso ao longo do canal principal de navegação de acesso a Forte Velho. Tendo em vista a quantidade de volume inconsolidado e principalmente ro-

choso encontrados no trecho que vai até o Forte Velho, foi sugerido a Companhia Docas da Paraíba que a instalação e ampliação do Porto de Cabedelo fosse na região do Município de Lucena (Ver Figura 16), devido possuir menores volumes sedimentar e rochoso a serem dragados e derrocados, sendo os volumes de sedimentos e rochas no canal de acesso a Forte Velho de 451.112,90 m³ (dragagem) e 1.899.055,80 m³ (derrocagem), e no canal de acesso até as proximidades do município de Lucena 276.893,60 m³ (dragagem) e 374.965,70 m³ (derrocagem) para a cota de dragagem/derrocagem de 8,0 metros.

Figura 15 - Quantidade de material sedimentar e rochoso a ser dragado e/ou derrocado para a cota de 8,0 metros e tolerância de 0,3 metros ao longo do canal de acesso a Forte Velho e Lucena.

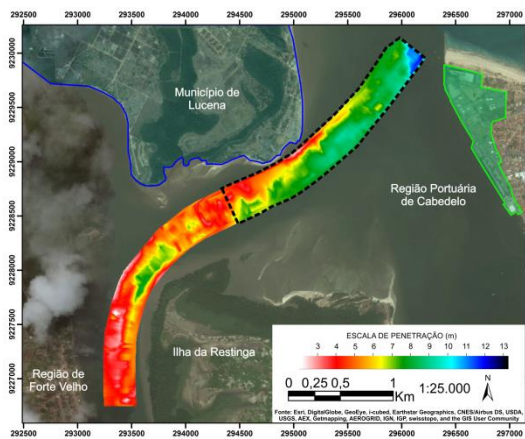


Volumes (m³)	Forte Velho	Lucena
Sedimento inconsolidado	451.112,90	276.893,60
Embasamento acústico rochoso	1.899.055,80	374.965,70
Volume total	2.350.168,70	651.859,30

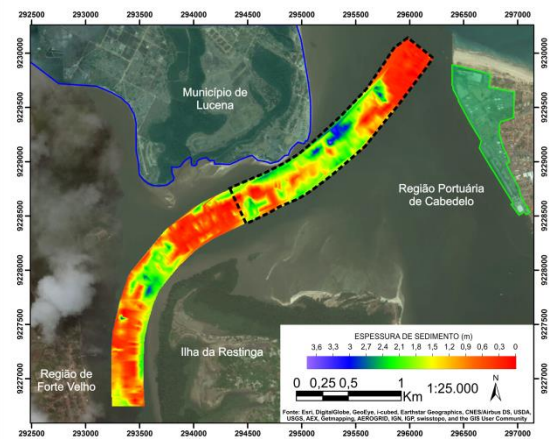
Fonte: Do autor

Figura 16 - Em (a) Mapa do topo do embasamento acústico rochoso até Forte Velho e em (b) Mapa da espessura de sedimento do canal de acesso a Forte Velho.

a)



b)



Fonte: Do autor

5 CONCLUSÕES

A integração dos métodos geofísicos hidroacústicos batimétricos e sísmicos de alta-resolução utilizados neste trabalho aplicados na região estuarina do rio Paraíba do Norte, na zona portuária de Cabedelo mostrou que:

- Para a execução de serviços de dragagem são necessários elevados recursos financeiros, dragas e equipamentos adequados, além de técnicas bastante especializadas para o estudo da região;
- A elaboração do projeto de dragagem é de fundamental importância para o sucesso do projeto o qual irá permitir o gerenciamento de toda a cadeia de atividades de dragagem;
- A utilização de métodos geofísicos hidroacústicos batimétricos e sísmicos de alta-resolução podem auxiliar de maneira efetiva no mapeamento e identificação de estruturas de fundo e subfundo para que se possam viabilizar projetos de engenharia;
- O dado batimétrico pela sua característica de investigação superficial possibilita a identificação de feições e estruturas de fundo. Essas técnicas foram fundamentais para determinar o limite do canal de acesso e a morfologia da região estudada;
- Os dados sísmicos expressam a geologia em subsuperfície e permitem efetuar a interpretação do topo do embasamento acústico rochoso da região do canal de acesso, importante no processo de derrocagem de região;
- A existência de acúmulo e escape de gás nas mediações da área levantada, identificadas através dos perfis de sísmica de alta-resolução;
- Para a Região de Forte Velho o volume total a ser dragado foi de 2.350.168,70 m³ (sedimentar, 451.112,90 m³ e o rochoso, 1.899.055,80 m³) e pra a região de Lucena o volume total ficou em 651.859,30 m³ (sedimentar, 276.893,60 m³ e o rochoso, 374.965,70 m³).
- Através dos levantamentos foi possível apontar que, dentre as regiões de Lucena e Forte Velho. A primeira opção (Lucena) foi apontada com a melhor opção para ampliação do porto, devido esta possuir cerca de 1.698.309,40 m³ de volumes sedimentar e rochoso a menos que a segunda (Forte Velho) levando a uma diminuição nos custos financeiros e tempo de execução da obra.

REFERÊNCIAS

- ALFREDINI, P. **Obras e gestão de portos e costas**. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.
- ALHEIROS, M. M.; FERREIRA, M. G. V. X. Revisão geológica da faixa sedimentar costeira de pernambuco, paraíba e parte do rio grande do norte – a sub-bacia cabo. **Estudos Geológicos, Série B**, Recife, v. 10, p. 45-56, 1991.
- ALHEIROS, M. M. et al. Sistemas deposicionais na Formação Barreiras no Nordeste Oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988, Belém. **Anais...** Belém: SBG, 1988. v. 2, p. 753-760.
- AMARO, V. E.; LIMA, F. G. F.; SANTOS, M. S. T. An Evaluation of Digital Elevation Models to Short-Term Monitoring of a High Energy Barrier Island, Northeast Brazil. **Engineering and Technology**, v. 76, p. 317-324, 2013.
- ASHLEY, G. M. Classification of large-scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem. **Journal Sedimentary Petrology**, v. 60, n. 1, p. 160-172, 1990.
- AYRES NETO, A. Uso da sísmica de reflexão de alta resolução e da sonografia na exploração mineral submarina. **Rev. Bras. Geof.**, v. 18, p. 241-255, 2000.
- BEURLEN, K. Estratigrafia da faixa sedimentar costeira Recife, João pessoa. In: **Bol. Soc. Bras. Geol.** v. 18, n. 1, p. 43-53, 1967.
- BIANCO, R. Apoio à decisão em obras de implantação e ampliação da infraestrutura aquaviária. In: SIMPÓSIO REGIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 1., 2004, São Paulo. **Resumos expandidos...** São Paulo: SBGf, 2004. 1 CD-ROM.
- BIANCO, R; SOUZA, L.; CUNHA, AGN. Sísmica rasa e sonar de varredura lateral aplicados a projetos de dragagem e derrocagem submarina. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 8., 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBGf, 2003. 1 CD-ROM.
- BIGARELLA, J. J.; ANDRADE, G. O. Considerações sobre a estratigrafia dos sedimentos cenozóicos em Pernambuco (Grupo Barreiras). **Arquivos do Instituto Ciências da Terra**, v. 2, p. 1-14, 1964.
- BRANNER, J.C. Geology of the northeast coast of Brazil. **Geol. Soc. Amer. Bull.**, v. 13, p. 41-98, 1902.
- BRIGGS, K. B.; WILLIAMS, K.L.; JACKSON, D. R.; JONES, C. D.; IVAKIN, A. N.; ORSI, T. H. Fine-scale sedimentary structure: implications for acoustic remote sensing. **Marine Geology**, v. 182, p. 141-159, 2002.

BRUNETTA R. **O processamento da sísmica de reflexão rasa – Desafios encontrados no estudo de modelos análogos a reservatórios fraturados**. 2005. 94f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná – Curitiba, 2005.

CAVALCANTI, C. O.; MONTEIRO, A. B. Revisão geológica da faixa sedimentar costeira de Pernambuco, paraíba e parte do rio grande do norte – depósitos fluviais e litorâneos da formação barreiras em duas áreas padrão (Santa Rita e João Pessoa – pb). **Estudos Sedimentológicos, Série B**, Recife, v. 10, p. 99-104, 1991.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS MINERAIS DA PARAÍBA (CDRM). **Mapa geológico do estado da Paraíba**. Campina Grande, 1982. Escala 1:500.000.

COMPANHIA DOCAS DA PARAÍBA. **[Informações obtidas da página Da Companhia Docas da Paraíba na internet]**. Disponível em: < www.portodecabedelo.com.br>. Acesso em: 09 jan. 2014.

CÓRDOBA, V. C.; SA, E. F. J.; SOUSA, D.C.; ANTUNES, A. F. Bacia de Pernambuco-Paraíba. **B. Geoci. Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 391-403, 2007.

DANTAS, J.R.A.; CAÚLA, J.A.L.; BRITO NEVES, B.B. **Mapa geológico do estado da Paraíba**. Campina Grande: DNPM/CDRM, 1982.

DAVIS, A.; HAYNES, R.; BENNELL, J.; HUWS, D. Surficial seabed sediment properties derived from seismic profiler responses. **Marine Geology**, v. 182, p. 209-223, 2002.

DIAS, G.T.M. Marine bioclasts: calcareous algae. **Rev. Bras. Geof.**, v. 18, n. 3, p. 307-318, 2000.

DIAS, G.T.M.; SILVA, C.G. Levantamentos geofísicos na rota submarina planejada para o Metrô Rio Niterói. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 8., 2003. **Anais...** Rio de Janeiro: SBGf, 2003. 1 CD-ROM.

FANNIN, N.G.T. The use of regional geological surveys in the North Sea and adjacent areas in recognition of offshore hazards. In: ARDUS, D.A. (Ed.). **Offshore site investigation**. London: Graham & Trotman, 1980. p. 5-21

FERREIRA, A.T.S.; AMARO, V. E.; SANTOS, M. S. T. Geodésia aplicada à integração de dados topográficos e batimétricos na caracterização de superfícies de praia. RBC. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 66, n. 1, p. 167-184, 2014.

FRAZÃO, E. P.; VITAL, H. Estruturas rasas de gás em sedimentos no estuário Potengi (nordeste do Brasil). **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 25, p. 17-26, 2007. (Supl. 1).

FRAZÃO, L. S. **Caracterização batimétrica e físico-oceanográfica do canal de acesso ao porto de Cabedelo/PB**: Uma análise ambiental ao derrame de óleo. 2011. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo. Meio Ambiente na Indústria do Petróleo e Gás (MAP), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

GOMES M.P.; VITAL H.; MACEDO J.W.P. Fluxo de processamento aplicado a dados de sísmica de alta resolução em ambiente de plataforma continental. Exemplo: Macau-RN. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 29, n. 1, p. 173–186, 2010.

GOULARTI FILHO, A. Melhoramentos, reaparelhamentos e modernização dos portos brasileiros: a longa e constante espera. **Economia e Sociedade**, Campinas, v. 16, n. 3 (31), p. 455-489, 2007.

GUEDES, L. S.; AMARO, E. V.; VITAL, H. Caracterização da morfologia de fundo da porção estuarina do canal do Rio Paraíba do Norte por meio do Sonar de Varredura Lateral e do Ecobatímetro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. p.3538.

HOVLAND, M.; JUDD, A.G. **Seabed Pockmarks and Seepages**: Impact on Geology Biology and the Marine Environment. London: Graham and Trotman, 1988. 294p.

JONES, E.J.W. **Marine geophysics. Baffins Lane**. Chichester: John Willey & Sons, 1999. 466p.

LEAL; SÁ, L. T. **Levantamento Geológico- Geomorfológico da Bacia Pernambuco-Paraíba, no Trecho Compreendido entre Recife-PE e João Pessoa-PB**. 1998. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1998.

LOWRIE, W. **Fundamentals of geophysics**. 17. ed. United Kingdom: Cambridge University Press, 2006. 354 p.

LURTON, X. **An Introduction to Underwater Acoustic**. Chichester, UK: Springer, Praxis, 2002.

MABESSONE, J.M.; ALHEIROS, M.M. Origem da Bacia Sedimentar Pernambuco Paraíba. **Rev. Bras de Geociências**. v. 18, n. 4, p 476 – 482, 1988.

MITCHUM JR, R.M.; VAIL, P.R.; SANGREE, J.P. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 6: stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences. In: PAYTON, CE (Ed.). **Seismic Stratigraphy**: applications to hydrocarbon exploration. Tulsa: Am. Assoc. Petrol. Geol., 1977. p.117–133. (Memoir 26).

MT/PORTOBRÁS/INPH. **Anteprojeto de proteção contra a erosão no litoral da cidade de Cabedelo/PB**. [S.l.], 1989. (Relatório INPH, 224/84).

NEVES, S.M.; MANSO, V.A.V.; NEVES, M.M. Estudo da mineralogia, textura, densidade e componentes bióticos das areias de praia e sua relação com a dinâmica praial do litoral do estado da Paraíba. **Revista de Geografia**, Recife, v. 8, n. 2, set. 2010. v. especial.

OLIVEIRA, A. I.; LEONARDOS, O. H. **Geologia do Brasil**. [S.l.]: Com. Bbbras. Centenário Portugal, 1940. 472p

PIMENTEL, A. DE A. **Cabedelo**. Cabedelo: Prefeitura Municipal de Cabedelo, Secretaria de Educação, Esporte e Cultura, 2002. v. 2.

ROCHA, J. P. **A restinga de Cabedelo - PB**: evolução das paisagens e modificações geo-ambientais de 1969 e 1996. 1996. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Departamento de Ciências Geográficas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1996.

SIECK H.; SIEF G.W. Analysis of high-resolution seismic data. In: PAYTON, C.E. (Ed.). **Seismic stratigraphy**: applications to hydrocarbon exploration. [S.l.]: American Association of Petroleum Geologists, 1977. P. 353-385. (Memoir, 26).

SOUZA, L. A. P. **Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas**. 2006. 248f. Tese (Doutorado) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SOUZA, L.A.P. As técnicas geofísicas de Sísmica de Reflexão de Alta Resolução e Sonografia aplicada ao estudo de aspectos geológicos e geotécnicos em áreas submersas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988, Belém. **Anais...** Belém: SBG, 1988. v. 4, p. 1551- 1564.

SOUZA, L.A.P.; BIANCO, R; TESSLER, MG; GANDOLFO, O.C.B. Investigações geofísicas em áreas submersas rasas: qual o melhor método? In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 10., 2007, Rio de Janeiro. **Resumos Expandidos**. Rio de Janeiro: SBGf, 2007. 1 CDROM.

SOUZA, L.A.P.; GANDOLFO, O.C.B.; CORDEIRO, RP.; TESSLER MG. A investigação geofísica em projetos de dutovias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOFÍSICA, 2., 2006, Natal. **Resumos expandidos**. Natal: SBGf, 2006. 1 CD-ROM.

SOUZA, L.A.P.; MARRANO, A.; IYOMASA, W.S. Geofísica aplicada a estudos de lagos em áreas urbanas. In: SIMPÓSIO REGIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 1., 2004, São Paulo. **Resumos Expandidos**. São Paulo: SBGf, 2004. 1 CD-ROM.

SOUZA, L.A.P.; SILVA, R.F.; IYOMASA, W.S. Métodos de Investigação. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO S.M.A. (Ed.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. Cap. 11. (Publicação IPT 2551).

WEWETZER, S. F. K.; DUCK, R. W.; MCMANUS, J. Side-scan sonar mapping of bedforms in the middle Tay Estuary, Scotland. **Int. J. Remote Sensing**, v. 20, n. 3, p. 511-522, 1999.