



**UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA/ LAGEMAR**

JULIANA GRACIELE SANTOS DA SILVA

**A UTILIZAÇÃO DO SONAR DE VARREDURA LATERAL E DO
ECOBATÍMETRO MULTIFEIXE NA INTERPRETAÇÃO E ANÁLISE
DA MORFOLOGIA DA BAÍA DE VITÓRIA (ES)**

Niterói
2010

JULIANA GRACIELE SANTOS DA SILVA

**A UTILIZAÇÃO DO SONAR DE VARREDURA LATERAL E DO
ECOBATÍMETRO MULTIFEIXE NA INTERPRETAÇÃO E ANÁLISE
DA MORFOLOGIA DA BAÍA DE VITÓRIA (ES)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao corpo docente do curso de Geofísica da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geofísica.

Professor Orientador: Alexandre Motta Borges

Co-orientadora: Ana Angélica Ligiéro Alberoni Tavares

Niterói
2010

JULIANA GRACIELE SANTOS DA SILVA

**A UTILIZAÇÃO DO SONAR DE VARREDURA LATERAL E DO
ECOBATÍMETRO MULTIFEIXE NA INTERPRETAÇÃO E ANÁLISE
DA MORFOLOGIA DA BAÍA DE VITÓRIA (ES)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como pré-requisito para obtenção do título de Bacharel em Geofísica, submetida à aprovação da banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Orientador: Alexandre Motta Borges

Co-orientadora: Ana Angélica Ligiéro Alberoni Tavares

Coordenadora do Curso: Eliane da Costa Alves

Niterói, 06 de dezembro de 2010.

“Dedico este trabalho a Adriano Mello, meu companheiro de todos os momentos, à minha família e a todos que me ajudaram na concretização deste momento tão especial em minha vida”.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais por terem investido em mim e acreditarem na minha capacidade, possibilitando que eu chegasse até aqui.

A meu amor e meu amigo Adriano Mello que com muito carinho me deu todo o apoio e incentivo nesta etapa da minha vida.

Ao corpo docente do Lagemar e meu professor e orientador Alexandre Motta, pela ajuda, orientação fornecidas neste trabalho.

A Capitã de Fragata Ana Angélica Ligiéro Alberoni do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), pela dedicação em me ajudar desde a época na qual estagiei no CHM até a disposição em aceitar o convite para ser minha co-orientadora neste trabalho.

Ao CHM por conceder os dados de multifeixe e o software Oasis Montaj da Geosoft, necessários para a execução deste trabalho.

Ao Dr. Luiz Antônio Pereira de Souza, o Laps, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), por me recomendar sua tese de doutorado, seu blog e algumas outras referências bibliográficas que foram de fundamental importância para a realização deste trabalho.

À empresa C&C Technologies do Brasil Ltda pelo suporte e autorização para utilização do software SonarWizMap.

E ao Dr. Alex Bastos da Universidade Federal do Espírito Santo, pelo fornecimento dos dados de sonar, os quais sem eles o trabalho estaria incompleto.

“Só sei que nada sei”

(Sócrates)

RESUMO

A batimetria e o sonar de varredura lateral são métodos geofísicos que muito contribuem para a obtenção de informações da superfície de fundo. Algumas características observadas nos registros do ecobatímetro, analisados juntamente com os contrastes texturais observados nos registros do sonar de varredura lateral e os dados obtidos da observação direta (amostragens), posicionadas de forma representativa na área de estudo, fornecem informações que permitem a caracterização da natureza da superfície do fundo marinho. Para isso, este trabalho tem por finalidade a abordagem desses métodos geofísicos como ferramentas importantes no auxílio da interpretação de morfologias da superfície marinha. Dados de batimetria e de sonar da Baía de Vitória foram utilizados para exemplificar os mecanismos de funcionamento desses métodos geofísicos. A Baía de Vitória está localizada no Estado do Espírito Santo e é resultado de uma sucessão de eventos transgressivos que ocorreram na região durante o Quaternário e possui dois canais que possibilitam o acesso ao oceano, os quais são: o Canal da Passagem e o Canal do Porto de Vitória.

Palavras-chave: Baía de Vitória, sonar de varredura lateral, ecobatímetro.

ABSTRACT

Bathymetry and side scan sonar are geophysical methods which greatly contribute to obtaining information from the background surface. Some features observed in the echo sounder records, analyzed together with the textural contrasts observed in the side-scan sonar records and the data obtained from direct observation (sampling), positioned in a representative way in the study area, provide information that allows the characterization of the nature of surface of the seabed. To this end, this paper aims the approach these geophysical methods as important tools in contribution the interpretation of sea surface morphologies. Bathymetry and sonar data from Vitoria's Bay were used to illustrate the mechanisms of these geophysical methods. The Vitoria's Bay is located in Espírito Santo and is the result of a transgressive succession of events that occurred in the region during the Quaternary and has two channels that allow access to the ocean, which are: Passagem and Porto de Vitoria's Channels.

Keywords: Vitoria's Bay, side scan sonar and echo sounder.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Marinheiros manuseando o guincho a vapor a bordo do H.M.S. <i>Challenge</i> ... | 17 |
| Figura 2 - (a) Navio-farol <i>Vineyard</i> . (b) Imagem de sonar do navio-farol, afundado em 1944 no Massachussetes..... | 20 |
| Figura 3 - (a) Imagem do Sonar GLORIA; (b) Mosaico feito com o sonar de varredura lateral GLORIA sobre o leque do Amazonas, mostrando os canais meandantes | 20 |
| Figura 4 - (a) Imagem do sonar SEA MARC II em operação na costa oriental do Japão; (b) Mosaico feito com o sonar SEA MARC II mostrando os cânions submarinos de South Wilmington e North Heyes a leste de New Jersey..... | 21 |
| Figura 5 - Ilustração da determinação da profundidade do fundo marinho | 23 |
| Figura 6 - Ilustração do mecanismo de medição da profundidade do ecobatímetro | 23 |
| Figura 7 - Gráfico mostrando as variações de temperatura, salinidade e velocidade do som no Pacífico Central. A velocidade do som na área alcança um valor mínimo numa profundidade de 650 metros | 24 |
| Figura 8 - Ilustração exemplificando o mecanismo de construção da imagem do sonar de varredura lateral..... | 25 |
| Figura 9 - Imagem mostrando o sistema de multifeixes..... | 29 |
| Figura 10 - Ilustração do <i>swath</i> do ecobatímetro multifeixe | 30 |
| Figura 11 - Imagem mostrando o mapa gerado em tempo real com ecobatímetros multifeixe | 31 |
| Figura 12 - Ilustração da geometria do sistema de aquisição dos dados do sonar | 32 |
| Figura 13 – Características principais do sinal acústico emitido pelo sonar: (a) largura do feixe de sinais paralelamente à rota da navegação – comumente inferior a 2°. (b) inclinação do lóbulo principal em relação à horizontal – comumente entre 10 e 20°. (c) largura do feixe de sinais perpendicular à rota de navegação – comumente entre 20 e 50° | 33 |
| Figura 14 - Reflexão e <i>Backscattering</i> do sinal acústico | 34 |
| Figura 15 - Resolução das imagens do sonar de varredura lateral ao longo da linha de navegação | 37 |
| Figura 16 - Localização dos rios principais que deságuam na Baía de Vitória | 42 |
| Figura 17 - Estágios evolutivos de sedimentação litorânea, por mecanismos eustáticos e paleoclimáticos, desde o fim do terciário até hoje | 44 |
| Figura 18 - Localização da área de estudo, Baía de Vitória, e seus principais canais: Canal do Porto de Vitória e Canal da Passagem | 45 |
| Figura 19 - Esquema de um estuário típico mostrando os limites de suas zonas de transição que dependem exclusivamente das estações do ano, do clima e das marés | 46 |
| Figura 20 - Tipos básicos de estuários conforme a geomorfologia..... | 47 |

| | |
|--|-----------|
| Figura 21 - Representação esquemática das definições de estuário de acordo com PRITCHARD (1967) | 48 |
| Figura 22 - Ecobatímetro EM 1000 da <i>Kongsberg Simrad</i>..... | 50 |
| Figura 23 - Sonar de varredura lateral da <i>Edgtech</i> modelo 4100 com <i>towfish</i> 272-TD ... | 52 |
| Figura 24 – Mapa de Posicionamento dos dados de batimetria do Canal do Porto de Vitória | 54 |
| Figura 25 – Variação entre os espaçamentos durante o levantamento no Canal do Porto de Vitória | 54 |
| Figura 26 – Mapa de batimetria do Canal do Porto de Vitória | 55 |
| Figura 27 – Visualização de uma linha de sonar com o seu <i>bottom tracking</i> delimitando o fundo marinho | 56 |
| Figura 28 – Imagem da mesma linha de sonar da Figura 27, no entanto com o seu <i>bottom tracking</i> corrigido..... | 57 |
| Figura 29 – Diferença no ganho da parte de bombordo e na parte boreste..... | 58 |
| Figura 10 – Ganho UGC | 58 |
| Figura 31 – Imagem do mosaico sonográfico com a carta náutica da região da Baía de Vitória ao fundo | 59 |
| Figura32 - Imagem mostrando as principais feições encontradas pós-processamento na região do Canal do Porto de Vitória | 60 |
| Figura 33 – Imagem (1) referente às marcas de arrasto encontradas no Canal do Porto de Vitória devido às constantes dragagens na região | 61 |
| Figura 34 – Imagem (2 e 3) referente às rochas encontradas no Canal do Porto de Vitória | 61 |
| Figura 35 – Imagem mostrando as rugosidades no grid batimétrico devido a algum problema nos dados batimétricos da região | 61 |
| Figura 36 – Fortes padrões de reflexão referentes à presença de rochas no fundo marinho | 62 |
| Figura 37 – Fortes padrões de reflexão referentes à presença de rochas no fundo marinho | 63 |
| Figura 38 – Padrões de reflexão referentes às feições de arrasto devido aos constantes processos de dragagem na região | 63 |
| Figura 39 – Padrões de reflexão referentes a uma possível embarcação na superfície de fundo e as marcas de arrasto devido à dragagem do canal | 64 |
| Figura 40 – Diferentes padrões de intensidade do retorno do sinal | 65 |
| Figura 41 – Imagem mostrando as dunas subaquosas da região provenientes do ambiente sedimentar estuarino | 66 |
| Figura 42 – Imagem mostrando a seqüência do levantamento de sonar e suas 30 amostras geológicas | 67 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----------|
| Tabela 1 – Exemplo da atenuação do sinal, em dB/km conforme o valor da frequência e o meio de propagação da onda | 24 |
| Tabela 2 – Tabela mostrando alguns exemplos de frequência da onda e seus conseqüentes comprimentos de onda e distância de varredura do sonar | 26 |
| Tabela 3 – Correlação das amostras geológicas e seus respectivos padrões de intensidade de retorno do sinal acústico do sonar..... | 68 |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----|
| INTRODUÇÃO | 14 |
| 1. OBJETIVO | 16 |
| 2. HISTÓRICO | 17 |
| 2.1. BATIMETRIA | 17 |
| 2.2. SONAR DE VARREDURA LATERAL..... | 19 |
| 3. MÉTODOS GEOFÍSICOS | 22 |
| 3.1. BATIMETRIA | 22 |
| 3.2. SONAR DE VARREDURA LATERAL..... | 255 |
| 4. MECANISMOS DE FUNCIONAMENTO | 28 |
| 4.1. ECOBATÍMETRO MULTIFEIXE | 28 |
| 4.2. SONAR DE VARREDURA LATERAL..... | 31 |
| 4.2.1. REFLEXÃO E BACKSCATTER..... | 33 |
| 4.2.2. ESCALA | 35 |
| 4.2.3. ALCANCE LATERAL X RESOLUÇÃO | 35 |
| 4.2.3. 1. FATORES QUE INFLUENCIAM NA RESOLUÇÃO | 36 |
| 4.2.4. INTERPRETAÇÃO DOS DADOS..... | 37 |
| 5. APLICAÇÕES DO SONAR DE VARREDURA LATERAL | 39 |
| 6. ÁREA DE ESTUDO | 41 |
| 6.1. GEOLOGIA REGIONAL..... | 42 |
| 7. METODOLOGIA | 49 |
| 7.1. ECOBATÍMETRO MULTIFEIXE EM 1000 | 49 |
| 7.2. SONAR DE VARREDURA LATERAL MODELO 4100..... | 51 |
| 8. PROCESSAMENTO DOS DADOS | 54 |
| 8.1. PROCESSAMENTO DA BATIMETRIA | 54 |
| 8.2. PROCESSAMENTO DO SONAR..... | 55 |
| 9. RESULTADOS | 60 |

| | |
|---|-----------|
| 9.1. BATIMETRIA | 60 |
| 9.2. SONAR..... | 62 |
| 9.3. AMOSTRAS | 66 |
| 10. CONCLUSÃO..... | 70 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 72 |
| BIBLIOGRAFIA CONSULTADA | 76 |

INTRODUÇÃO

Para a investigação de áreas submersas, sejam elas rasas ou profundas, o método acústico denominado de batimetria é de fundamental importância para a medição da coluna d'água. Desta maneira, a batimetria define a morfologia da superfície de fundo através dos dados de profundidade da área em questão, correlacionando-os com as características geológicas e geomorfológicas da área cuja topografia é gerada a partir da evolução geológica, a qual condiciona os processos sedimentares que ocorrem na coluna d'água.

A batimetria faz uso de equipamentos conhecidos como ecobatímetros monofeixe ou multifeixe cuja função é medir a espessura da coluna d'água e coletar simultaneamente os dados referentes aos níveis de energia dos sinais de retorno denominados de *backscatter* (retroespalhamento). Seus sinais acústicos são de alta frequência (superiores a 30 kHz) e são emitidos verticalmente em direção a superfície de fundo por uma fonte rebocada na superfície da água ou por uma que esteja instalada no casco da embarcação. A velocidade de percurso destes sinais acústicos varia conforma a temperatura, salinidade e pressão da água.

Outro sistema acústico foi criado para aprimorar a qualidade e as informações dos mapas gerados a partir dos dados coletados pelos ecobatímetros, o sonar de varredura lateral.

Este método define a morfologia da superfície do fundo marinho e seus dados mostram imagens acústicas do fundo com diferentes padrões sonográficos, os quais são utilizados para visualizar e determinar a geologia e morfologia superficial da área de estudo. Além disso, tais dados podem ser utilizados para viabilizar o posicionamento e a instalação de objetos antrópicos, dentre outras aplicações.

A imagem sonográfica é formada pelo eco do sinal emitido com um certo ângulo a superfície de fundo, o qual retorna ao equipamento com intensidades distintas de acordo com uma série de fatores. Os principais são o tipo de sedimento do fundo, o ângulo de incidência, a micromorfologia do fundo marinho e a atenuação das ondas acústicas (BLONDEL & MURTON, 1997).

Como os sinais acústicos do sonar de varredura lateral não são emitidos verticalmente em direção ao fundo marinho, mas com um certo ângulo em relação à superfície, dados precisos da lâmina d'água, ou seja, a batimetria, não podem ser obtidos diretamente pelos registros do sonar. Assim, levantamentos com o sonar de varredura lateral são frequentemente

acompanhados por levantamentos simultâneos com ecobatímetros multifeixes, os quais são de alta precisão.

Portanto, utilizando-se das técnicas do ecobatímetro multifeixe juntamente com o sonar de varredura lateral, este trabalho possui como objetivo a averiguação das técnicas de funcionamento desses equipamentos geofísicos com base nos dados referentes à Baía de Vitória, no Espírito Santo, com a finalidade de aprimorar a qualidade e o conteúdo desses dados e enfatizar a importância dessas ferramentas como auxílio na interpretação de morfologias.

1. OBJETIVO

O presente trabalho possui como finalidade abordar os métodos geofísicos acústicos: a batimetria multifeixe e o sonar de varredura lateral como ferramentas importantes para auxílio na caracterização e na interpretação de morfologias da superfície de fundo de uma região. Para isso, dados de batimetria multifeixe e de sonar da região da Baía de Vitória foram utilizados para exemplificar os mecanismos de funcionamento desses métodos e suas devidas interpretações da morfologia do fundo marinho desta região.

2. HISTÓRICO

2.1. BATIMETRIA

A batimetria é um método acústico que estuda a profundidade de áreas submersas através da medição da espessura da coluna d'água. Os primeiros estudos batimétricos foram realizados por um grego chamado Posidonius em 85 A.C, onde ele e sua tripulação soltaram cerca de 2 quilômetros de linha com uma pedra em sua ponta, até ela tocar o fundo marinho.

Em 1888, o explorador e oficial da marinha inglesa Sir James Clark Ross obteve medidas batimétricas de 4.893 metros no Atlântico Sul, onde até então não havia ocorrido nenhum aperfeiçoamento na forma de aquisição dos dados de batimetria.

Na década de 1870, os pesquisadores a bordo do H.M.S. *Challenger* com o intuito de melhorar a coleta dos dados batimétricos, utilizaram um guincho a vapor a fim de aumentar a linha e o peso da pedra, no entanto, o método ainda continuava sendo o mesmo (**Figura 1**).

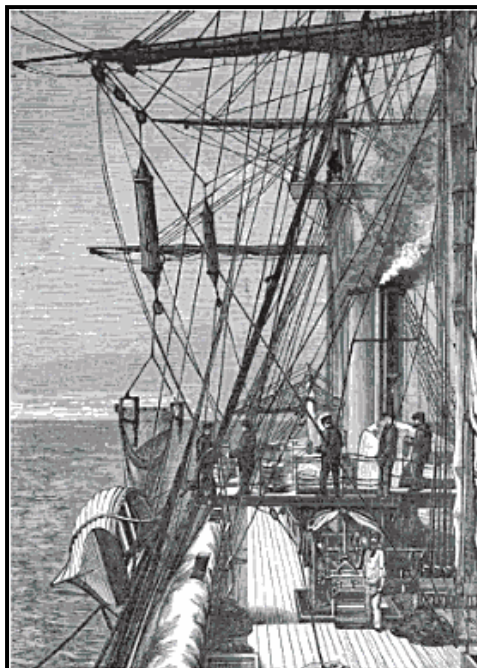


Figura 1 – Marinheiros manuseando o guincho a vapor a bordo do H.M.S. *Challenger*. Fonte: MURRAY, 1891.

As localizações destas medições eram feitas por métodos de navegação astronômica, usando um sextante ou instrumentos antigos, como astrolábios e quadrantes, os quais convertiam suas observações para uma posição em um gráfico (FAIRBRIDGE, 1966).

Normalmente, o chumbo era utilizado como o peso amarrado na ponta da linha e ele se encontrava na forma cônica. Algumas vezes, a base do chumbo continha um toque de cera ou banha de porco para coletar uma pequena amostra de sedimentos superficiais.

Em Abril de 1914, após o navio RMS *Titanic* ter afundado em 1912, um antigo empregado de Thomas Edison chamado de Reginald A. Fessenden desenvolveu o ‘detector de icebergs e ecobatímetro’¹. O detector direcionava um poderoso pulso acústico à frente do navio e em seguida, ouvia-se o eco da parte submersa do iceberg (GARRISON, 2006).

Na época, esta invenção foi um avanço enorme na tecnologia batimétrica, pois o método anterior levava mais de um dia para descer e subir a linha com o peso de chumbo. E, no entanto, o método mais recente poderia realizar muitos registros do fundo em um minuto.

Com o advento da Primeira Guerra Mundial, Fessenden passou a projetar esses novos ecobatímetros com a finalidade de detectar submarinos inimigos. Passada a guerra, em Junho de 1922, o ecobatímetro projetado por Fessenden fez seu primeiro perfil transversal contínuo na bacia oceânica a bordo do navio da Marinha, USS *Stewart*.

Pesquisadores alemães fizeram 14 perfis transversais no Atlântico durante 1925 a 1927, utilizando um ecobatímetro baseado no projeto de Fessenden. Desse modo, a Cadeia Meso-Atlântica foi descoberta e isto gerou discussões devido às linhas de costas serem muito parecidas em ambos os lados do Atlântico.

Como os ecobatímetros não possuíam certa acurácia em relação ao posicionamento devido à variação da velocidade do som na água do mar com a temperatura, pressão e salinidade, e como os ecobatímetros monofeixe não eram capazes de mostrar um grau de detalhes maior das feições no fundo oceânico, os ecobatímetros multifeixes foram gerados.

¹ Equipamento utilizado para fazer sondagens que se baseiam na medição do tempo decorrido entre a emissão de um pulso acústico e o retorno do mesmo sinal ao equipamento após ser refletido pelo fundo marinho. O tempo que o som leva entre o momento de sua emissão e o de seu retorno, determina a profundidade entre a superfície da água e o fundo.

Isto só foi possível devido ao avanço da tecnologia da engenharia acústica e da informática, possibilitando o aperfeiçoamento dos sensores de batimetria e da utilização de computadores mais modernos, rápidos e com grande capacidade de armazenamento, pois a densidade dos dados dos ecobatímetros multifeixes é muito maior se comparada aos dados de monofeixe, além de obter uma medição com alta precisão da espessura coluna d'água.

2.2. SONAR DE VARREDURA LATERAL

O sonar de varredura lateral teve como um de seus inventores o cientista alemão Dr. Julius Hagemann, que após a Segunda Guerra Mundial foi levado para os Estados Unidos e trabalhou no Laboratório de Defesa da Marinha Americana, na cidade do Panamá, de 1947 até 1964, o ano de sua morte. Sua obra foi divulgada em Agosto de 1958, sendo emitida apenas em 1980, a qual encontra-se documentada no U.S Patent.

Durante a década de 50, foram criados os sistemas experimentais de sonar de varredura lateral no Laboratório Scripps Institution of Oceanography e no Laboratório do Professor Harold Edgerton no MIT. Nesse mesmo período, os sonares militares de varredura foram produzidos por Westinghouse, sendo desenvolvidos posteriormente outros sistemas mais avançados de sonares construídos para fins militares, com a finalidade de encontrar bombas e submarinos perdidos no mar.

Por volta de 1960, foi introduzido o primeiro side scan sonar comercial: o Kelvin-Hughes "Transit Sonar", o qual possuía um único canal emitindo apenas um único pulso numa direção específica. Em 1963 ocorreu o primeiro levantamento geofísico com side scan sonar feito pelo Dr. Harold Edgerton, Edward Curley e John Yules, para encontrar o navio-farol Vineyard afundado na Baía de Buzzards, em 1944, no Massachusetts (**Figura 2**).

No período de 1963 a 1966, foi desenvolvido por uma equipe liderada por Martin Klein, Edgerton e Germechausen & Grier, o primeiro side scan sonar comercial com dois canais. Em 1968, Klein fundou a Klein Associates, Inc. e fez melhorias técnicas no sonar incluindo o primeiro sistema de sonares comerciais de alta frequência (500 Hz) e os primeiros equipamentos de dupla frequência. No entanto, apenas em 1985, Charles Mazel da Klein Associates, Inc. produziu os primeiros vídeos de treinamento e Manual de Treinamento do Sonar de Varredura lateral.



Figura 2 – (a) Navio-farol *Vineyard*. (b) Imagem de sonar do navio-farol, afundado em 1944 no Massachussetes.

Fonte: (a) <http://lighthouse.cc/cuttyhunk/history.html>; (b) <http://www.wreckhunter.net/images/vineyardlight2.jpg>

Em 1977, o sonar GLORIA (*Geologic Long Range Inclined ASDIC*) foi desenvolvido por Marconi Underwater Systems para fazer levantamentos em áreas extensas cujo equipamento geofísico utiliza-se de frequências relativamente baixas (6-7 kHz), sendo rebocado próximo a superfície a fim de obter um longo alcance de varredura lateral, chegando a algumas dezenas de quilômetros (14-60 km). Este sonar foi utilizado pelo US Geological Survey e pelo Institute of Oceanographics no Reino Unido para obter imagens das plataformas continentais em todo o mundo (**Figura 3**).

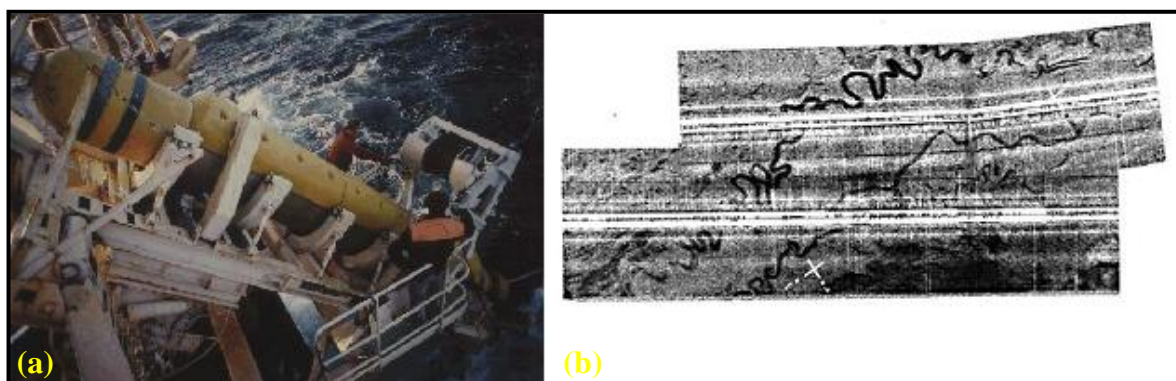


Figura 3 – (a) Imagem do Sonar GLORIA. Fonte: <http://www.mos.org/oceans/scientist/underwater.html>; **(b) Mosaico feito com o sonar de varredura lateral GLORIA sobre o leque do Amazonas, mostrando os canais meandantes.** Fonte: http://geoinfo.amu.edu.pl/wpk/geos/GEO_12/GEO_CHAPTER_12.HTML

Após o GLORIA, outros sistemas de longo alcance se destacaram, dentre os quais, o SEA-MARC II. Ele foi desenvolvido em 1982, porém em relação ao sistema GLORIA, este sonar possui menor porte, utiliza-se de frequências um pouco mais altas (11-12 kHz) e oferece

uma resolução superior ao GLORIA, mesmo obtendo um menor desempenho quanto ao seu alcance lateral que varre entre 1 a 10 quilômetros no máximo (**Figura 4**).

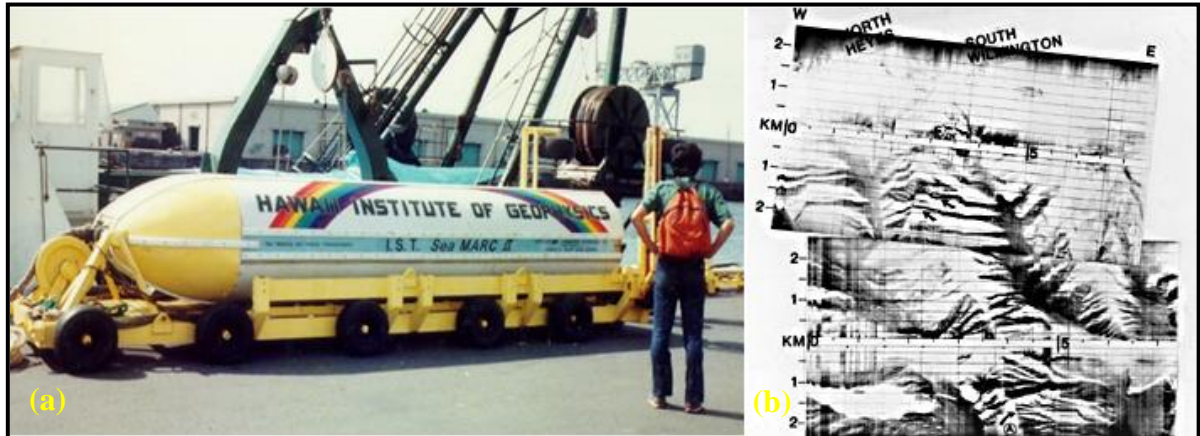


Figura 4 – (a) Imagem do sonar SEA MARC II em operação na costa oriental do Japão. Fonte: SOUZA, 2006; (b) Mosaico feito com o sonar SEA MARC II mostrando os cânions submarinos de South Wilmington e North Heyes a leste de New Jersey. Fonte: http://geoinfo.amu.edu.pl/wpk/geos/GEO_12/GEO_CHAPTER_12.HTML

Atualmente com a evolução da indústria de automatização, alguns sistemas transportam diversos sensores acoplados, tais como: CTD's (*Conductivity Temperature and Depth*), câmeras, sonares, *subbottom profilers*, sensores químicos, amostradores, entre outros. Permitindo, portanto além do imageamento da superfície do fundo, a perfilagem sísmica rasa, por exemplo. Estes sistemas são denominados de AUV (*Autonomous Underwater Vehicle*), os quais são operados de maneira autônoma.

3. MÉTODOS GEOFÍSICOS

3.1. BATIMETRIA

A batimetria é um método geofísico que determina a espessura da coluna d'água através das propriedades relativas à propagação das ondas acústicas na água. Esta técnica acústica apesar de ter evoluído muito ao decorrer dos anos, ela ainda continua tendo como objetivo inicial a medição da espessura da água.

Devido à evolução tecnológica, ecobatímetros com sistemas modernos de registro e com grande capacidade de armazenamento e processamento dos dados são utilizados para adquirir dados de alta precisão, coletando informações simultaneamente as quais contribuem para a definição da natureza da superfície de fundo.

Os ecobatímetros determinam a espessura da lâmina d'água com base no tempo de reflexão das ondas acústicas no fundo do mar. Suas ondas acústicas são constituídas por sinais de alta frequência (normalmente superiores a 30 kHz) e são emitidas a partir de uma fonte rebocada na superfície da água ou instalada no casco da embarcação.

Se o tempo de ida e volta do sinal acústico ao receptor e a velocidade de propagação da onda são conhecidos, a distância até o fundo pode ser calculada. Assim, a profundidade determinada é igual à velocidade do som na água (V) multiplicada a metade do tempo (T) requerido para as ondas viajarem da fonte acústica até o fundo e voltar para o receptor acústico (**Figura 5**).

As velocidades das ondas que se propagam na coluna d'água podem variar conforme a temperatura, salinidade e pressão. Os pulsos acústicos ou 'pings' emitidos pela fonte espalham-se na forma de um cone estreito e retornam da mesma maneira para o receptor. Assim, os sinais acústicos que retornarem mais rapidamente aos receptores, referem-se a áreas mais rasas, e conseqüentemente, áreas mais profundas acarretarão num maior tempo do retorno do sinal ao receptor (**Figura 6**).

A temperatura, salinidade e pressão influenciam na velocidade de propagação das ondas sonoras na água. Segundo TELFORD *et al.* (1976), a velocidade de propagação do som na água varia entre 1440 m/s e 1520 m/s em águas salgadas rasas e atingem valores mais baixos, ao redor de 1430 m/s, em águas doces rasas.

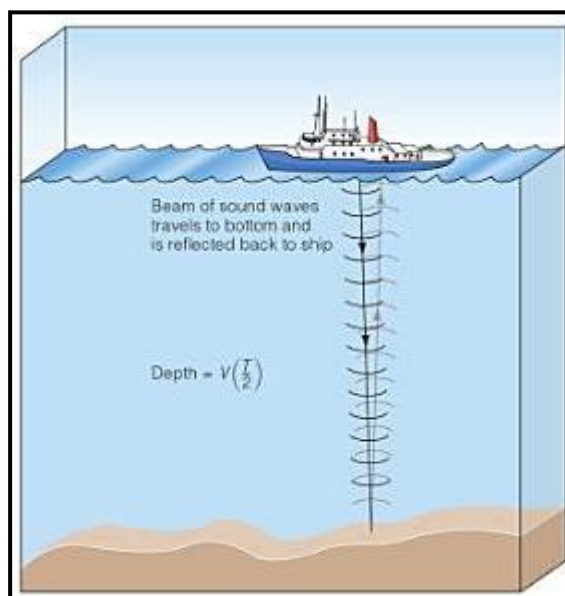


Figura 5 – Ilustração da determinação da profundidade do fundo marinho.

Fonte: GARRISON, 2006.

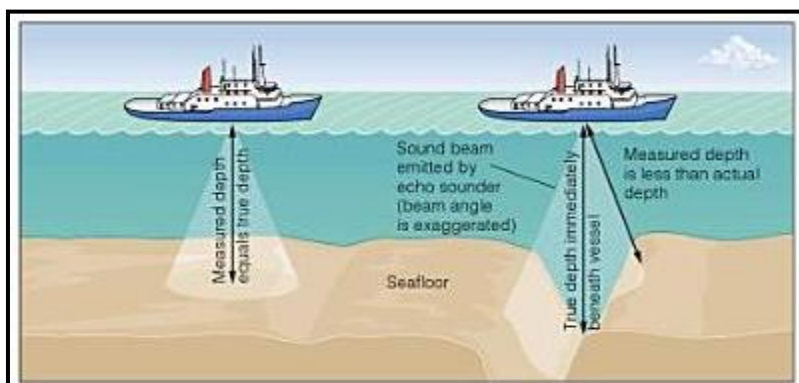


Figura 6 – Ilustração do mecanismo de medição da profundidade do ecobatímetro. Fonte: GARRISON, 2006.

JONES (1999) confirmou tal fato através de um gráfico que ilustrou a velocidade de propagação do som sendo afetada pelas variações de temperatura e salinidade da água (**Figura 7**) na região do Pacífico Central.

Os sinais acústicos emitidos pelos ecobatímetros por serem de alta frequência sofrem atenuação ao percorrer a superfície da água até serem refletidos na superfície de fundo. Entretanto, a perda de energia emitida na água do mar é muito maior que na água doce, pois a água salgada é um meio de forte atenuação do sinal. Concomitantemente quanto maior for a frequência emitida pela fonte acústica, maior será a atenuação do sinal (**Tabela 1**).

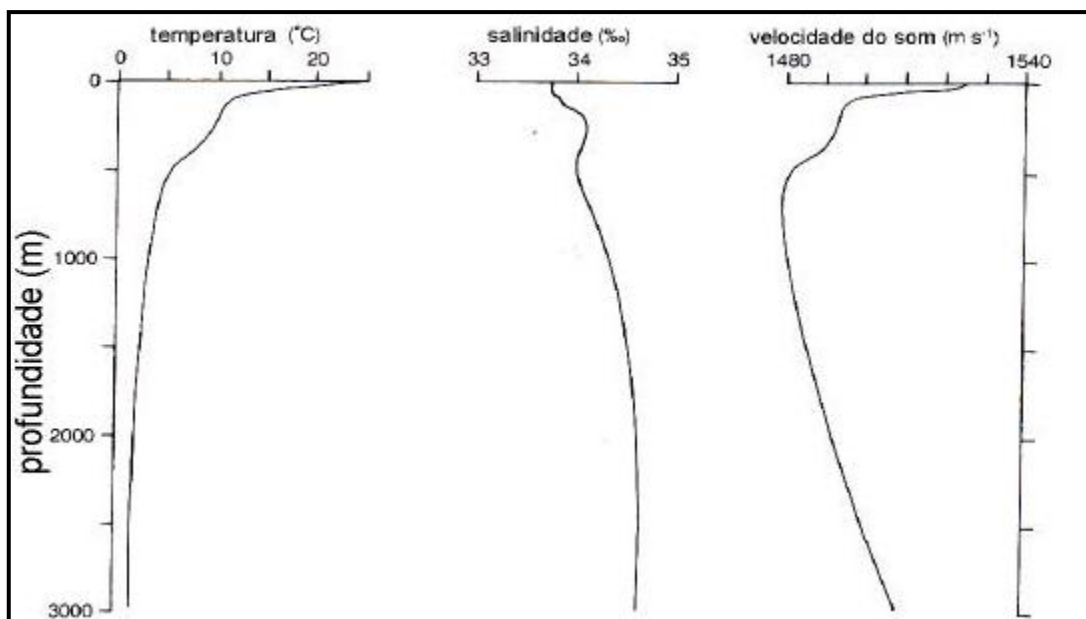


Figura 7 – Gráfico mostrando as variações de temperatura, salinidade e velocidade do som no Pacífico Central. A velocidade do som na área alcança um valor mínimo numa profundidade de 650 metros. Fonte: JONES, 1999.

| <i>Frequência</i> | <i>Água Doce</i> | <i>Água Salgada</i> |
|-------------------|------------------|---------------------|
| <i>200 kHz</i> | <i>10 dB/km</i> | <i>50 dB/km</i> |
| <i>38 kHz</i> | <i>0.5 dB/km</i> | <i>10 dB/km</i> |

Tabela 1 – Exemplo da atenuação do sinal, em dB/km conforme o valor da frequência e o meio de propagação da onda.

Fonte: KONGSBERG-SIMRAD, 2004

A intensidade do sinal acústico é dada em dB (decibéis), que é uma unidade que representa o logaritmo entre a razão da energia emitida/ a energia recebida.

Atualmente devido ao avanço da tecnologia e da eletrônica, os ecobatímetros podem emitir sinais de dupla frequência. Frequências de 38 e 200 kHz, por exemplo, possibilitam trabalhar tanto em águas profundas (da ordem de centenas de metros), quando as frequências menores oferecem melhor resposta, quanto em águas rasas (até mesmo menores que 5 metros), onde as frequências maiores fornecem resultados mais preciso (SOUZA, 2006).

3.2. SONAR DE VARREDURA LATERAL

O sonar de varredura lateral é utilizado eficientemente para criar imagens do fundo marinho. Esta ferramenta geofísica tem por finalidade sua utilização em várias áreas, como por exemplo, o mapeamento da superfície do fundo marinho em auxílio à construção de cartas náuticas, a identificação de objetos submersos, possibilitando o estudo geológico, geotécnico e oceanográfico da área desejada, ou até mesmo em operações de busca e salvamento (**Figura 8**).

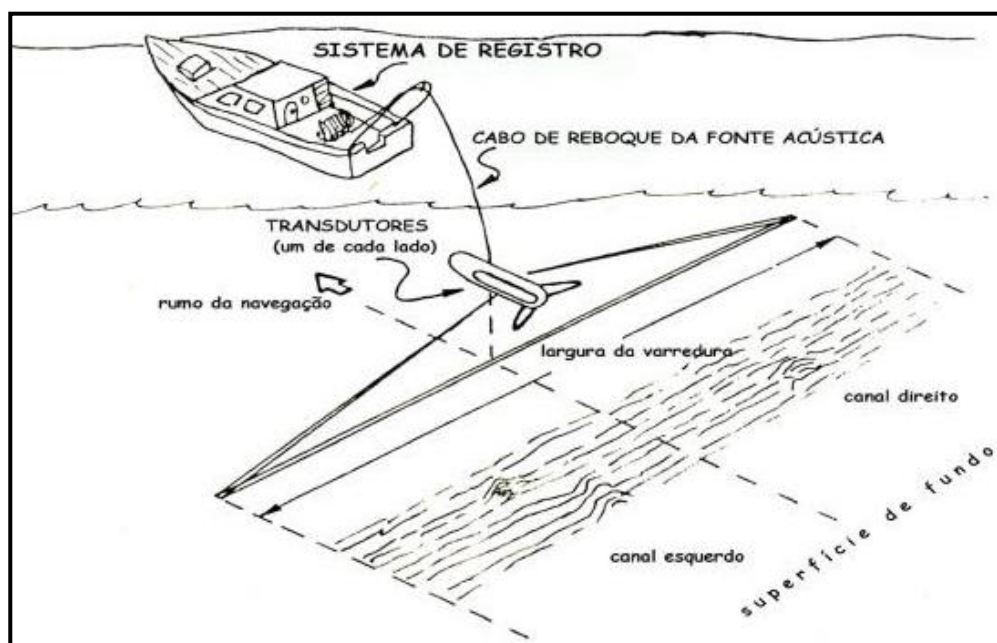


Figura 8 – Ilustração exemplificando o mecanismo de construção da imagem do sonar de varredura lateral. Fonte: MAZEL, 1985.

Assim como na batimetria, o sonar emite pulsos acústicos que se propagam na água até atingirem o fundo marinho e retornam imediatamente após a emissão. Ele é constituído por dois transdutores, um de cada lado do sonar, sendo rebocados pela embarcação e emitem pulsos acústicos em intervalos constantes.

O sinal acústico emitido possui frequências altas (de 100 kHz a 500 kHz), o que permite o imageamento da superfície do fundo marinho possibilitando uma análise praticamente geológica da superfície, já que viabilizam a identificação não só da topografia da superfície, mas também das principais feições geológicas estruturais e dos tipos de fundos, permitindo ainda a análise da sua distribuição em área (SOUZA, 2006).

O comprimento da onda e a frequência são duas grandezas físicas de bastante importância no sonar de varredura lateral. O comprimento de onda é a distância entre as ondas, medida num mesmo ponto em cada onda; e a frequência da onda é o número de ondas que passam em um segundo num ponto específico qualquer. Ela é medida em ciclos por segundo, denominado de Hertz.

Então, para o imageamento do fundo marinho através do sonar, é preciso apenas especificar uma dessas grandezas para que a outra seja determinada. Desse modo, sinais acústicos de alta frequência são altamente atenuados pela água do mar e sinais de baixa frequência são reduzidos a uma taxa muito menor. Por isso, um pulso acústico de 50 Hz, por exemplo, pode ser transmitido há milhares de quilômetros, enquanto um pulso de 100 kHz de um sonar de varredura pode apenas ser transmitido até no máximo por 1 ou 2 quilômetros de varredura lateral (**Tabela 2**).

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

Tabela 2 – Tabela mostrando alguns exemplos de frequência da onda e seus consequentes comprimentos de onda e distância de varredura do sonar. Fonte: FISH & CARR, 1990.

Nota-se que há uma relação entre a frequência e a distância de varredura do sinal acústico que o sonar consegue alcançar devido a tal frequência. Essa distância é conhecida como varredura ou alcance lateral. Assim, se o objetivo do levantamento é cobrir áreas amplas em um curto espaço de tempo, o sinal acústico de baixa frequência é o que melhor se

aplica. Porém, a baixa frequência do som gera grandes comprimentos de onda e conseqüentemente, uma maior largura do pulso, o qual fornece uma baixa resolução nos dados.

No entanto, se o objetivo é obter com precisão e detalhe a imagem requerida, então o sinal de alta frequência é o mais apropriado, porém seus pequenos comprimentos de ondas não podem ser transmitidos a longas distâncias, ocasionando a limitação na faixa de varredura do sonar. Portanto, devido a sua alta frequência, o sinal acústico não penetra nos estratos sedimentares e a retorna ao transdutor com informações detalhadas e precisas da superfície estudada.

Desta maneira, o sinal acústico é registrado à medida que chega ao receptor, e os primeiros sinais que retornam ao receptor correspondem aos pontos mais próximos do sonar, e assim sucessivamente.

A intensidade do som transmitido e recebido pelos transdutores do sonar é expressa em decibéis (dB), a qual é definida pelo uso de uma escala logarítmica.

4. MECANISMOS DE FUNCIONAMENTO

4.1. ECOBATÍMETRO MULTIFEIXE

Os ecobatímetros, em geral, são constituídos por transdutores construídos por um material de cerâmica piezolétrico que muda de tamanho minuciosamente quando uma voltagem é aplicada nele. Esses transdutores ao receberem tal voltagem produzem pulsos acústicos os quais convertem sinais elétricos em ondas sonoras, transmitindo uma onda de pressão com características específicas de frequência na água. Quando esse pulso retorna, ele é recebido e convertido de volta em sinais elétricos pelo transdutor.

O pulso acústico gerado na água expande de forma esférica a partir da fonte, de modo que sua energia se propaga igualmente em todas as direções. Assim, à medida que a frente de pulso se expande, sua energia é espalhada cada vez mais por uma área maior, ocasionando numa diminuição da energia por unidade de área. O pulso acústico também sofre atenuação do sinal, ou seja, ocorre uma absorção do sinal no meio por onde a onda se propaga.

Essa perda de energia acústica da onda está diretamente relacionada com a distância a qual se propaga, isto é, quanto maior à distância percorrida pela onda, mais energia ela perderá. Portanto, quanto maior a quantidade de energia absorvida ou atenuada pelo meio, menor será a quantidade de energia transmitida de volta ao transdutor.

A quantidade de energia que é transmitida também depende do material que constitui o fundo marinho. Areias e argilas absorvem energia facilmente, enquanto rochas e objetos metálicos absorvem pouquíssima energia. Isto quer dizer que a maior parte da energia que não pode ser absorvida pelos alvos ensonificados é refletida ou espalhada pelo meio.

Os ecobatímetros podem ser encontrados em dois tipos: monofeixe e multifeixe. Os ecobatímetros monofeixe (*singlebeam*) medem a lâmina d'água logo abaixo da embarcação, de modo que a fonte acústica emite um sinal vertical ao longo da linha de investigação. Assim, para se obter um mapa batimétrico é necessário que seja feito uma quantidade grande de perfis paralelos entre si e com um menor espaçamento possível. O espaçamento entre os perfis irá depender do nível do grau de detalhes do levantamento.

No entanto, por mais que a distância entre os perfis do levantamento sejam muito próximas, algumas informações importantes sobre a superfície do fundo podem não ser coletadas. Além de que, para cobrir uma área grande um ecobatímetro monofeixe requererá

um tempo maior devido à quantidade de perfis que são aquisitados. Para isso, os ecobatímetros multifeixe (*multibeam*) foram criados e são bastante utilizados nos levantamentos atuais de águas profundas e também em águas rasas.

Os ecobatímetros multifeixe são constituídos por um conjunto de transdutores que podem ser rebocados ou fixados no casco da embarcação. Esses transdutores emitem sinais para ambos os lados da rota de navegação com ângulos próximos, amostrando 100% da área investigada quando o levantamento é feito em linhas paralelas (**Figura 9**).

Eles fornecem dados com um grande grau de detalhamento da topografia da superfície de fundo e com ampla cobertura da área investigada, no entanto, não fornecem informações quanto à natureza da superfície de fundo.

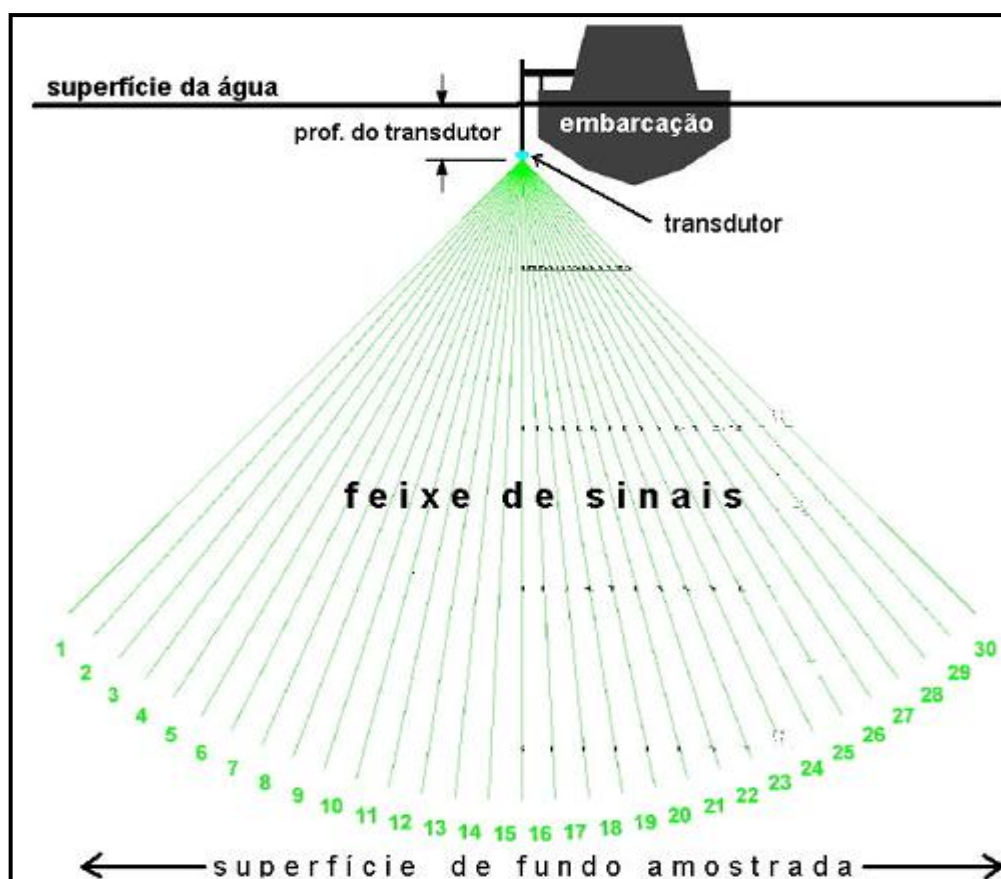


Figura 9 – Imagem mostrando o sistema de multifeixes. Fonte: USACE, 2004.

Os ecobatímetros multifeixe são capazes de mapear com alta resolução mais de um local no fundo marinho com um único ‘ping’. Esses locais são organizados de tal forma, que o feixe consegue ensonificar uma área contígua do fundo. Geralmente, essa área é uma linha de pontos numa direção perpendicular ao trajeto da embarcação, a qual é denominada de *swath*

(varredura), onde *swath width* é a dimensão desta área e que pode ser medida como um ângulo fixo ou como um tamanho físico que muda com a profundidade (**Figura 10**).

Para uma melhor acurácia nos dados de batimetria, utiliza-se um GPS (*Global Positioning System*), o qual determina a localização exata da embarcação e conseqüentemente, a localização correta da área levantada.

Os ecobatímetros multifeixe possuem como grande vantagem a possibilidade de oferecer em tempo real a geração do mapa topográfico da região levantada, o que, no entanto não era possível no ecobatímetros monofeixe. Para estes, a geração do mapa só era realizada após o processamento dos dados dos perfis executados (**Figura 11**).

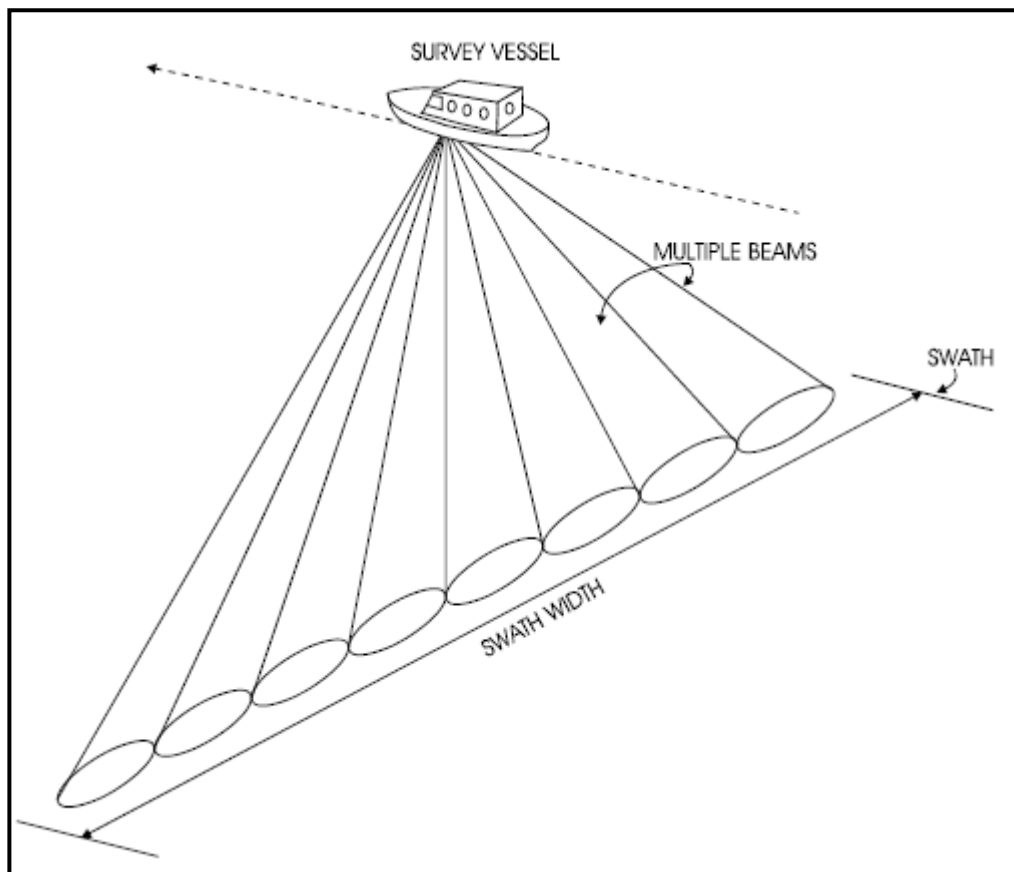


Figura 10– Ilustração do *swath* do ecobatímetro multifeixe. Fonte: SEABEAM, 1999.

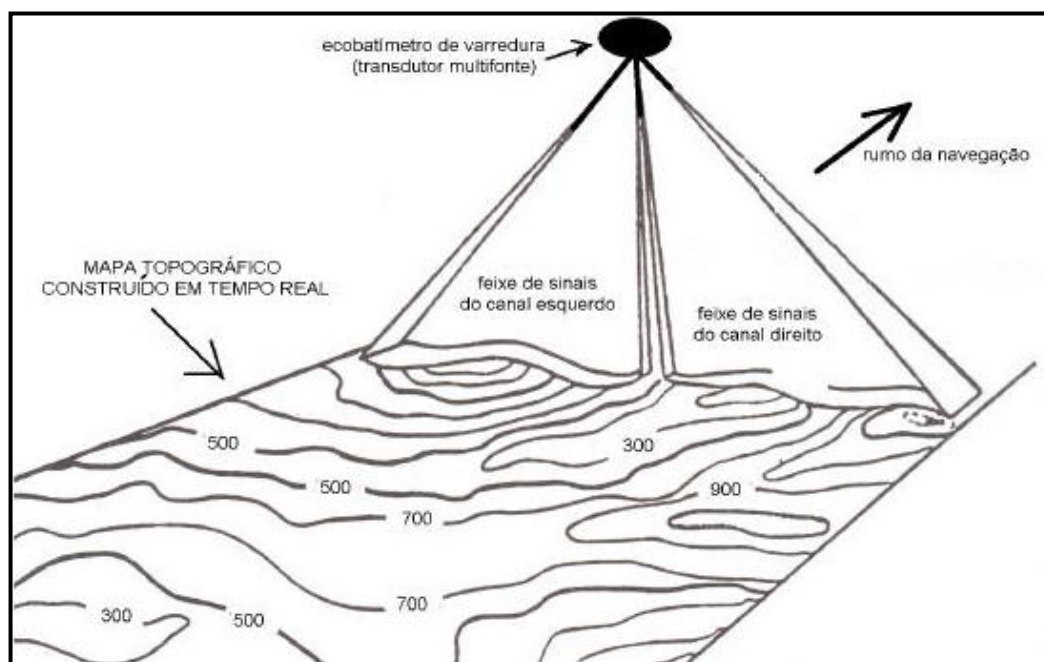


Figura 11 – Imagem mostrando o mapa gerado em tempo real com ecobatímetros multifeixe. Fonte: HUSSONG & FRYER, 1983.

A grande desvantagem do sistema de batimetria multifeixe é o fato que os vários canais utilizados simultaneamente na aquisição dos dados geram uma enorme quantidade de dados, o que necessita de armazenadores de dados de grande porte e computadores mais rápidos, para que os dados possam ser processados.

A utilização dos sistemas batimétricos de multifeixe é de fundamental importância nos estudos geológicos de uma área, pois a análise dos mapas gerados a partir dessas informações batimétricas permite a observação das características morfológicas, tais como, afloramentos rochosos, estruturas na superfície de fundo, canais etc. Isso, portanto, auxilia em levantamentos de mais alta resolução, como por exemplo, investigações feitas com o sonar de varredura lateral, onde estas informações juntamente com os dados de batimetria aprimoram a qualidade e o conteúdo dos dados resultantes.

4.2. SONAR DE VARREDURA LATERAL

O sonar de varredura lateral é composto por dois transdutores que funcionam como emissores e receptores do sinal acústico localizados nas laterais do equipamento. Há sonares mais recentes que possuem mais que dois transdutores, obtendo assim uma melhor qualidade nos dados.

Os transdutores são constituídos por conjuntos de pastilhas piezelétricas de modo que convertem a energia elétrica original em energia mecânica (vibrações), quando há a emissão do sinal através da coluna d'água. E a conversão de energia mecânica em elétrica também ocorre quando há o retorno do sinal ao transdutor devido à reflexão do mesmo na superfície do fundo.

Esses transdutores são rebocados emitindo pulsos acústicos em intervalos constantes e precisos. O sistema recebe o eco de retorno da coluna d'água e do fundo marinho, imediatamente após a emissão do pulso. Isto continua por um curto período de tempo até que o próximo pulso seja transmitido e ocorra novamente esse processo.

Os transdutores emitem um feixe de sinal acústico bastante estreito na direção paralela a rota de navegação e largo na direção perpendicular a navegação. O feixe estreito possui no máximo 2° de abertura, sendo o feixe largo na ordem de 40° a 50° (Figura 12) e (Figura 13).

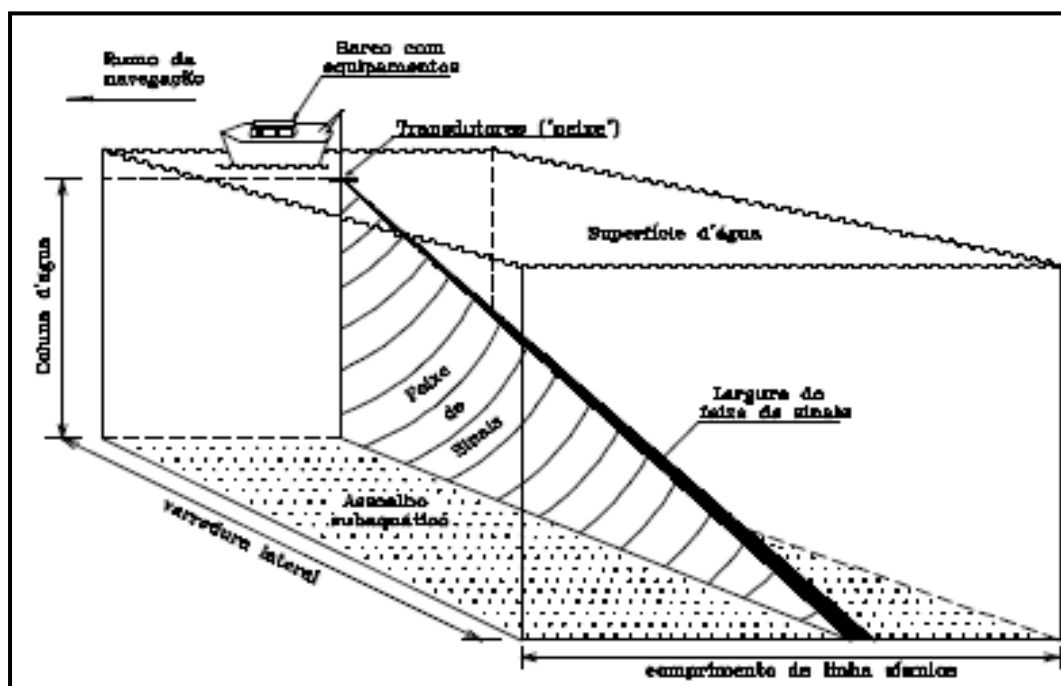


Figura 12 – Ilustração da geometria do sistema de aquisição dos dados do sonar.

Fonte: SOUZA, 1988.

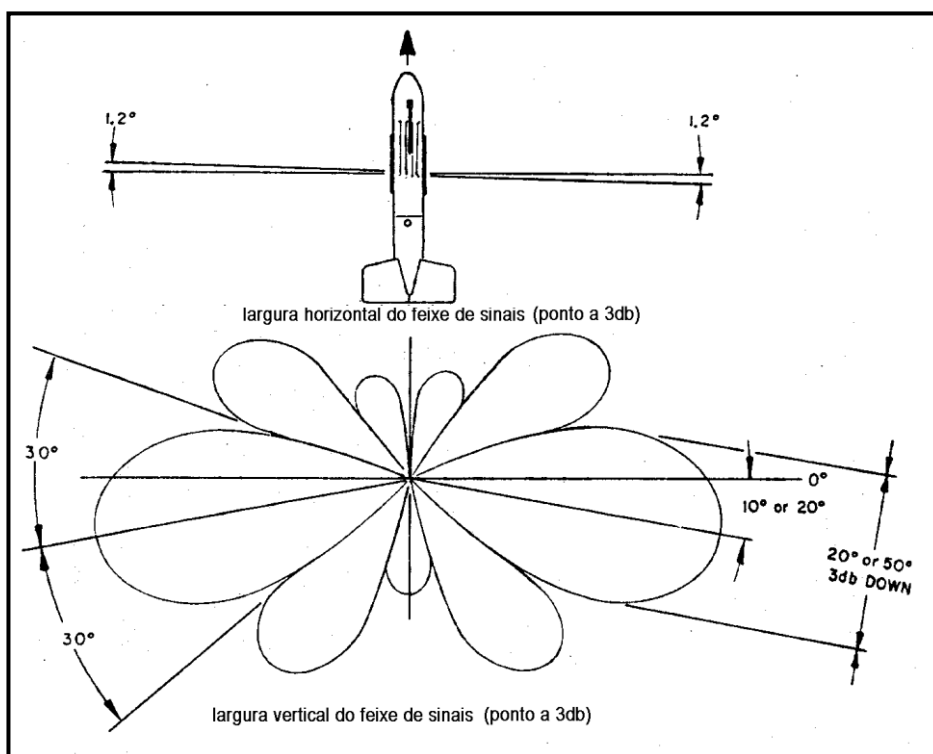


Figura 13 – Características principais do sinal acústico emitido pelo sonar:
(a) largura do feixe de sinais paralelamente à rota da navegação - comumente inferiores a 2°.
(b) inclinação do lóbulo principal em relação a horizontal – comumente entre 10 e 20°.
(c) largura do feixe de sinais perpendicular à rota de navegação – comumente entre 20 e 50°. Fonte: SOUZA, 2006

4.2.1. REFLEXÃO E BACKSCATTER

Há dois fenômenos acústicos básicos que permitem que o sinal acústico emitido pelo sonar ao chegar à superfície de fundo, retorne ao transdutor. São eles: a reflexão e o *backscatter*.

A reflexão ocorre quando o sinal acústico emitido pelo sonar de varredura lateral ao atingir a superfície de fundo, retorne diretamente ao transdutor, numa reflexão total. No entanto, o *backscatter* tem como conceito a interação entre a energia do som e a textura do material da superfície de fundo (SOUZA, 2006). Isto é, o *backscattering* é gerado pelas irregularidades encontradas no fundo marinho, fazendo com que o sinal acústico incidente pelo sonar sofre um espalhamento (*scattering*) e que parte deste sinal retorne aos transdutores.

O tipo de pulso acústico emitido, o tipo de fundo marinho e suas propriedades acústicas influenciam diretamente na quantidade de energia que deve retornar ao transdutor, pois em superfícies homogêneas e planas, os sinais sísmicos retornariam aos transdutores com baixa energia devido à existência de pouquíssimas rugosidades na superfície de fundo. Porém, em superfícies mais heterogêneas e rugosas, o retorno dos sinais acústicos aos transdutores obteria maior energia porque maior seria a probabilidade da existência de micro áreas ou rugosidades na superfície de fundo com faces voltadas para o transdutor, o que de modo contribuiria diretamente para o aumento das reflexões totais em direção aos transdutores.

O espalhamento (*scattering*) do sinal acústico incidente é proporcionado pelas rugosidades encontradas na superfície de fundo, devido à granulometria ou à micro e macrotopografia do fundo marinho. E a intensidade do sinal de retorno ao transdutor é devida também ao ângulo de incidência do sinal emitido. Portanto, quanto mais rugosidade a superfície do fundo obtiver, menor será o ângulo de incidência e maior será a intensidade de retorno do sinal ao transdutor (**Figura 14**).

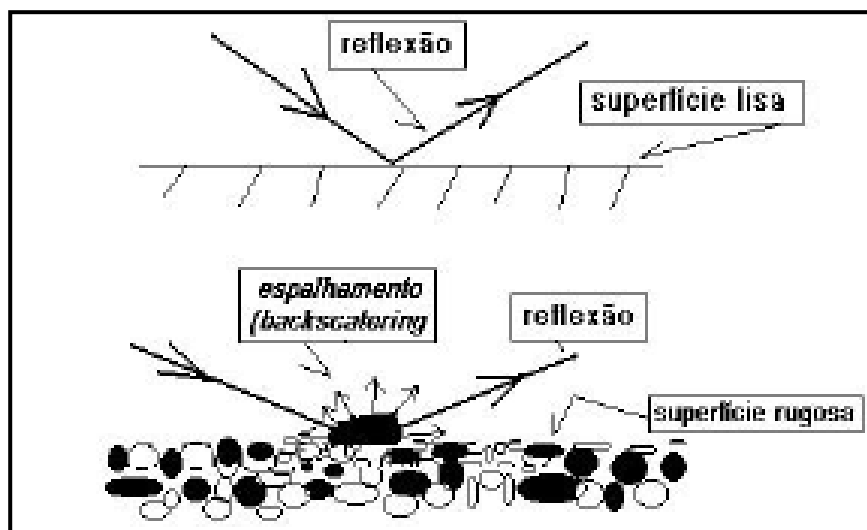


Figura 14 – Reflexão e Backscattering do sinal acústico.

Fonte: SOUZA, 2006.

4.2.2. ESCALA

O sonar de varredura lateral ao emitir um pulso acústico na superfície da água faz com que o sinal emitido percorra um meio com velocidade de propagação conhecida, no caso, a velocidade do som na água cujo valor é aproximadamente 1500 m/s.

Deste modo, o registro obtido pelo sonar terá como produto final uma escala métrica, pois utilizando-se da equação clássica da velocidade: $v = \Delta S / \Delta t$, onde v é a velocidade de propagação, em m/s, do som na água; ΔS é o espaço percorrido, em metros, pela onda acústica até o fundo marinho e Δt é o tempo decorrido, em segundos, para que esta onda percorresse tal espaço, é possível converter o tempo de percurso em distância.

Portanto, as dimensões das feições identificadas nos registros do sonar podem ser diretamente medidas no próprio registro, utilizando-se apenas de uma escala (SOUZA, 2006).

4.2.3. ALCANCE LATERAL X RESOLUÇÃO

O sonar é configurado basicamente em função de duas propriedades: o alcance lateral e a resolução. O alcance lateral representa o ponto máximo de amostragem da superfície ao longo de uma linha perpendicular à rota de navegação, para ambos os lados da embarcação. No entanto, a resolução descreve o nível de detalhe que uma imagem comporta. Deste modo, resoluções mais altas correspondem a um nível maior de detalhes.

Para a escolha do alcance lateral é preciso levar em conta a escala do levantamento, ou seja, o nível de detalhamento exigido pra tal área de estudo. Desta forma, nota-se que o alcance lateral e a resolução são funções diretas, as quais dependem exclusivamente uma da outra.

Ao mapear uma área cujo objetivo é obter detalhes da superfície de fundo, tal como o mapeamento de dutos, de embarcações naufragadas, de estruturas sedimentares, de minas enterradas e operações de busca e salvamento, por exemplo, os sonares de alta frequência (superiores a 300 kHz) deverão ser utilizados, pois frequências maiores implicam em varreduras laterais menores. Ou seja, o alcance lateral do sonar será menor obtendo-se o nível

de detalhe exigido. No entanto, mais linhas de levantamento sonográfico deverão ser executadas para cobrir tal área de estudo.

Sonares que usam frequências baixas na ordem de 100 kHz possuem um alcance lateral de algumas dezenas até algumas centenas de metros, comumente inferiores a 1000 metros. Ou seja, a área recoberta terá em torno de 2 km de largura. Estas baixas frequências são recomendadas para áreas extensas cujo objetivo é o levantamento geológico.

Há modelos de sonares mais evoluídos que permitem a operação simultânea com dupla frequência. Assim, é possível obter ao mesmo tempo uma grande resolução e um grande alcance lateral. Porém, os sistemas mais comuns de sonares oferecem apenas a possibilidade de uso de uma ou de outra frequência, cuja decisão depende do objetivo do trabalho. As frequências mais baixas estão na ordem de 100 kHz e as mais altas, entre 300 e 500 kHz.

4.2.3.1. FATORES QUE INFLUENCIAM NA RESOLUÇÃO

A resolução descreve o nível de detalhe que uma imagem comporta. Desta maneira, a resolução do sonar tem por capacidade distinguir dois pontos distintos na superfície do fundo, o que depende fortemente das características do equipamento utilizado, principalmente da largura do feixe de sinais, e da duração do pulso e frequência do sinal emitido (SOUZA, 2006).

Além destes fatores, a velocidade da embarcação, o tipo de fundo marinho e a distância do ponto observado até os transdutores também influenciam na resolução de um registro de sonar ao longo da linha de navegação, ou seja, objetos distintos podem ser registrados como um único objeto, se localizados a distâncias da fonte acústica que permitam ser englobados pelo feixe de sinais (**Figura 15**).

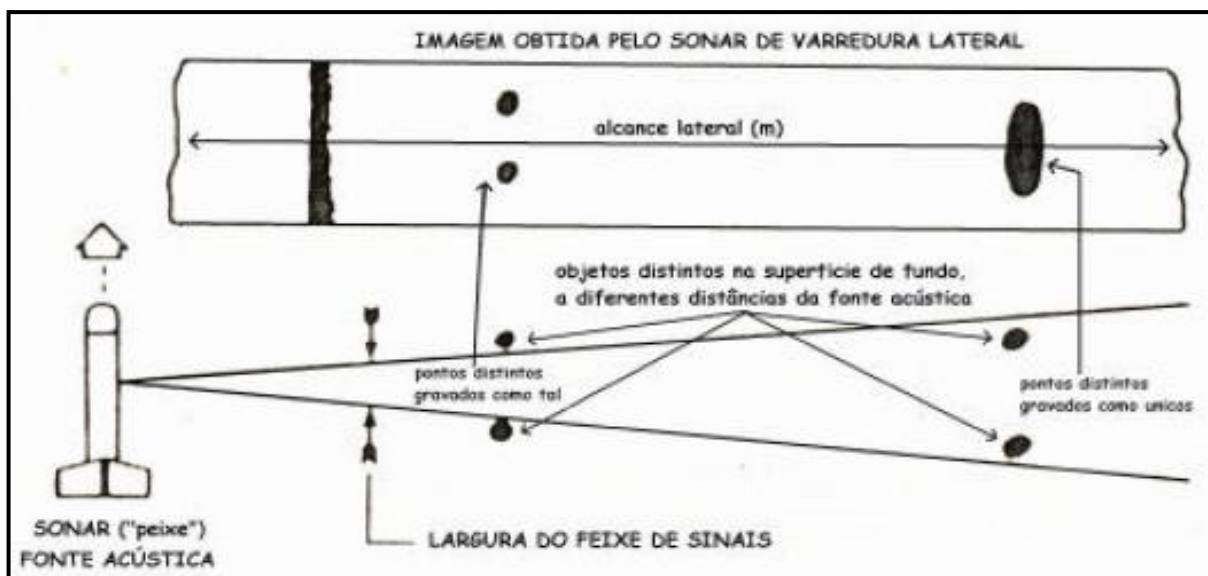


Figura 15 - Resolução das imagens do sonar de varredura lateral ao longo da linha de navegação.
 Fonte: Modificado de Mazel (1985)

A altitude do transdutor em relação à superfície do fundo marinho, além dos ruídos em geral, tais como turbulências, ondas, correntezas ou outros equipamentos geofísicos operando ao mesmo tempo, pode afetar na qualidade dos registros. Portanto, em relação à altitude do sonar, para se obter uma melhor qualidade dos dados, o transdutor deve estar com sua altitude de 10 a 20 % do alcance lateral.

4.2.4. INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

A interpretação dos dados de sonar de varredura lateral está baseada na análise do padrão de intensidade dos sinais que retornam aos transdutores gerando imagens com distintos níveis de cinza, uma das matrizes mais conhecidas e utilizadas, os quais correspondem aos contrastes texturais da superfície do fundo marinho.

A forte correlação existente entre os contrastes texturais observados nas imagens e as características dos materiais que compõem a superfície de fundo constituí-se em importante premissa para a interpretação das imagens obtidas com o sonar de varredura lateral (URICK, 1983; WEVER *et al.* 1997; GOLF *et al.* 2000).

Os padrões de intensidade do sinal sonográfico de retorno estão diretamente relacionados com a distribuição das características sedimentares do ambiente, levando em

conta a sua granulometria, compactação, impedância acústica entre as camadas, topografia e mudanças de inclinação da superfície, entre outros. Desse modo, é possível classificar diferentes tipos de sedimentos correlacionando a intensidade do sinal de retorno com a dureza do fundo sem, portanto diferenciar a grandeza granulométrica. Para tal, é necessário fazer a coleta de amostras.

Em decorrência da incidência do sinal acústico de forma inclinada, as sombras acústicas são geradas de forma que através delas é possível determinar a alturas das feições identificadas no mosaico do sonar referente à superfície de fundo.

Normalmente, os sedimentos grossos, afloramentos rochosos, recifes de corais, arenitos de praias ou qualquer feição de natureza dura e compacta, como dutos, cabos ou objetos antrópicos são interpretados no sonar com uma textura rugosa e com um padrão forte de intensidade de retorno do sinal, indicando uma superfície altamente refletiva. No entanto, superfícies homogêneas são interpretadas como sedimentos finos com um padrão de intensidade fraco a moderado de retorno do sinal.

Há muitas variáveis que podem afetar a qualidade e a interpretação dos dados de sonar, as quais são: vento, ondas, correntes, variações de densidade da temperatura ou mudanças na salinidade da água. Além do curso da embarcação, velocidade e altitude do sonar, e o alcance da área levantada.

Deve se levar em conta que todos os dados do sonar são interpretados com base na visualização da imagem. Portanto, para uma acurácia na interpretação dos dados do fundo marinho, faz-se necessário obter uma amostragem da região estudada a fim de comparar os resultados referentes à visualização da imagem com os dados granulométricos da região.

5. APLICAÇÕES DO SONAR DE VARREDURA LATERAL

O sonar de varredura lateral é uma ferramenta geofísica com bastante aplicação nas áreas submersas. Isto contribui de fato para viabilização de projetos tanto nas áreas geológica, quanto geotécnica e oceanográfica, tais como a localização de alvos, a determinação da morfologia do fundo marinho, aplicações ambientais e da indústria de petróleo, dragagens, na caça de minas e na pesca.

Ele é comumente utilizado para localizar com bastante acurácia, alvos específicos na superfície do fundo marinho, como embarcações ou aeronaves afundadas, possibilitando também a visualização do alvo com a finalidade de verificar se ele está sendo afetado pelo ambiente e qual a condição que ele se encontra no fundo marinho.

O sonar possui bastante utilidade na área da arqueologia submarina com a finalidade de localizar embarcações históricas naufragadas e sítios arqueológicos. Para localização destes alvos são requeridos sinais de alta frequência, pois os alvos possuem pequenas dimensões.

Como o fundo marinho contém uma grande variedade de estruturas, o sonar de varredura lateral tem aplicação no mapeamento dessas estruturas, identificando as mudanças encontradas no assoalho marinho, desde leves inclinações até afloramentos rochosos. Os levantamentos são realizados tanto em águas rasas como profundas com a finalidade de analisar e caracterizar essas áreas, seja para fins geotécnicos, geológicos etc.

Na indústria do petróleo, este método de investigação constitui-se um poderoso instrumento devido ao fato da locação de plataformas exploratórias de petróleo, gasodutos e oleodutos no fundo marinho. Portanto, é necessário conhecer bem a área de interesse, verificando se esta é uma área de risco englobando afloramentos rochosos, *beachrocks*, recifes de corais, taludes instáveis, cânions submarinos ou depósitos de gás subsuperficiais, a fim de evitar possíveis riscos à integridade dessas estruturas instaladas.

O sonar também é frequentemente usado para imagear áreas de rota de navegação que necessitam serem dragadas porque os sedimentos acumulados ou rochas aflorantes podem trazer riscos às embarcações. A área onde é depositado esse material dragado também é monitorada pelo sonar por questões ambientais, com a finalidade de monitorar o detalhe das transformações que ocorrem na superfície do fundo marinho da área de descarte.

Ele é fundamental nas operações de caça de minas, as quais são consideradas de grande perigo a navegação. Por isso, o sonar é muito utilizado para detectar precisamente a localização destas minas para fins militares.

Na área ambiental, o sonar é utilizado para examinar a causa e o efeito da poluição marinha, inspecionando emissários submarinos, lugares legais ou ilegais de despejo e plumas de efluentes. Então, como as ondas sonoras emitidas pelo sonar são afetadas pelas variações de densidade na coluna d'água, ele consegue registrar essas variações e assim determinar a fonte, a deposição e a distribuição de efluentes. Além de ser utilizado também na pesca a fim de aumentar a captura de peixes e determinar a densidade populacional dos cardumes, em áreas específicas.

6. ÁREA DE ESTUDO

A Baía de Vitória localiza-se geograficamente no Estado do Espírito Santo entre as coordenadas 20°15' S - 40°22' W e 20°20' S - 40°16' W e abrange uma área costeira que se encontra desde a Praia de Camburi, na Baía do Espírito Santo, até a desembocadura do Rio Santa Maria da Vitória. Por ser uma baía fechada e extremamente abrigada pelo continente nas suas porções norte, sul e oeste, ela é considerada um sistema estuarino, no qual dois canais conectam tal região com a Baía do Espírito Santo: o Canal da Passagem e o Canal do Porto de Vitória.

Na Baía de Vitória deságuam os rios Bubu, Aribiri e Marinho, de pequeno porte, e o Rio Santa Maria da Vitória, de médio porte, sendo, portanto considerado como o principal aporte fluvial e sedimentar na região, desenvolvendo sua foz em delta. Possui cerca de 1.660 km² e uma vazão média anual de 15,7 m³/s (**Figura 16**).

O sistema estuarino da Baía de Vitória vem sofrendo ao longo dos anos um intenso impacto ambiental devido à grande ocupação populacional em seu entorno e as atividades referentes a isto, como o despejo de esgoto e de resíduos, aterros, implantação de indústrias e as atividades portuárias de grande porte nesta região.

Apesar da parte noroeste da Baía de Vitória apresentar uma área mais densa e preservada de manguezais, segundo Nunes (2005) as alterações antrópicas em torno deste sistema estuarino provocaram a perda de 40% da área de manguezal e 10% da área de espelho d'água devido aos processos de aterramento ao decorrer dos anos. Portanto, estes fatores associados às constantes dragagens e ao domínio morfológico da baía contribuem para que a distribuição sedimentar da Baía de Vitória apresente várias particularidades (D'Agostini, 2005; Bastos et AL., 2007; Veronez Jr., 2009).

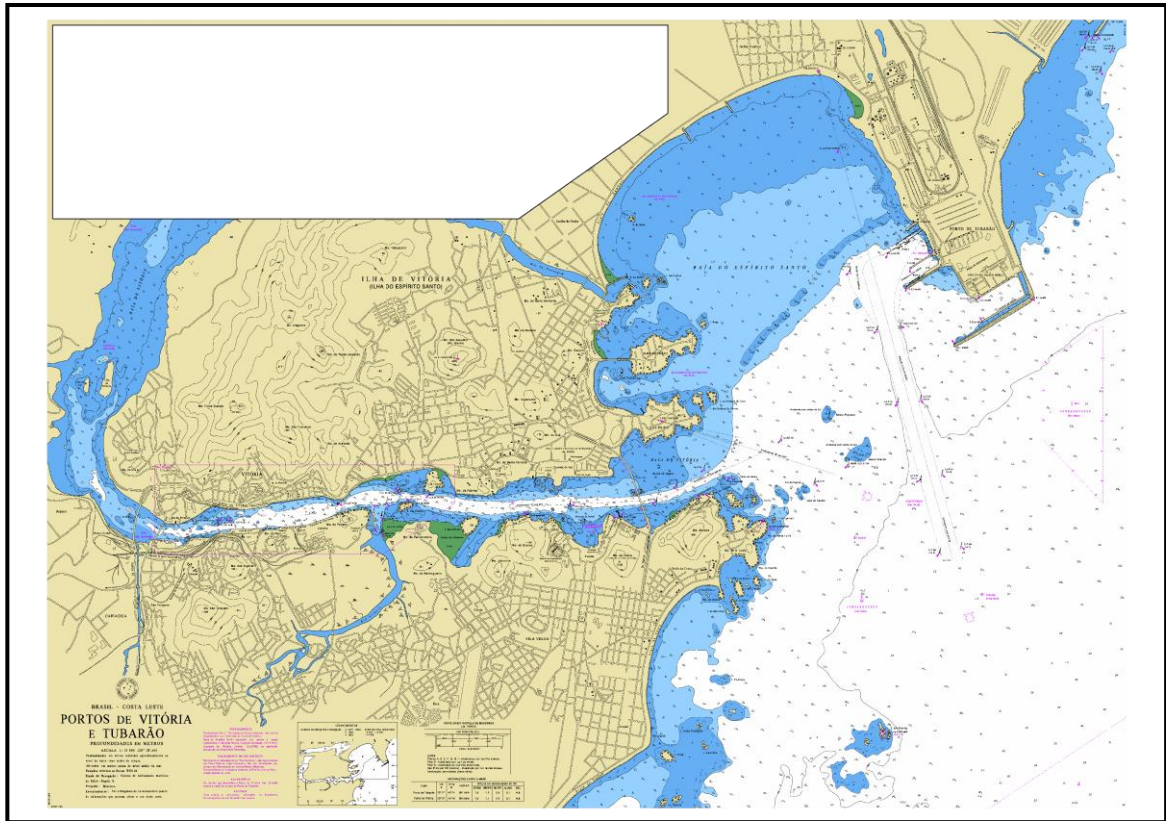


Figura 16 – Carta Hidrográfica da Baía de Vitória.

6.1. GEOLOGIA REGIONAL

A formação da Baía de Vitória está relacionada a uma sucessão de eventos geológicos que afetaram a região. Segundo MARTIN, SUGUIO & FLEXOR (1988) três episódios transgressivos podem ser reconhecidos para a costa leste do Brasil durante o Quaternário, denominados do mais antigo para o mais recente como Transgressão Mais Antiga, Penúltima Transgressão e Última Transgressão.

A Baía de Vitória iniciou sua formação na penúltima transgressão, há aproximadamente 123.000 anos antes do presente (A.P.) (**Figura 17D**) quando o nível relativo do mar se posicionou cerca de 130 metros acima do nível do mar atual (MARTIN, BITTENCOURT & VILAS BOAS, 1982), o que provocou o afogamento dos vales e conseqüentemente a deposição de sedimentos marinhos, resultando na formação de um terraço marinho Pleistocênico, característico da região norte da Baía de Vitória.

Após este evento interglacial houve um novo período glacial com início há 74.000 anos A.P., o qual apresentou seu ponto máximo no Pleistoceno, entre 18.000 e 13.000 anos.

Nesta fase regressiva, o mar recuou até aproximadamente 110 metros abaixo do nível do mar atual, provocando o avanço da linha de costa e o desenvolvimento de ambientes continentais e transicionais sobre a atual plataforma continental.

Durante a última fase transgressiva que se seguiu, há aproximadamente 5.100 anos A.P. (**Figura 17F**), o nível relativo do mar atingiu cerca de 3 a 5 metros acima do nível do mar atual, cuja consequência foi o afogamento dos antigos leitos, ou desembocaduras, dando origem a Baía de Vitória, no Estado do Espírito Santo, assim como as baías de Guanabara, no Estado do Rio de Janeiro, e a de Todos os Santos, no Estado da Bahia.

O Estado do Espírito Santo é constituído por planícies e terras baixas costeiras representadas pelos tabuleiros de Formação Barreiras, pelas Planícies de Manguezais e pelos Terraços Marinhos, que se encontram bem distribuídos nos municípios de Vitória, Serra, Viana e Vila Velha, e próximo ao litoral encontram-se distribuídos de forma heterogênea.

Quanto a sua geomorfologia, o canal da Baía de Vitória ao sul, depois de percorrer cerca de nove quilômetros no sentido E-W, inflete para nordeste formando um cotovelo. Daí por diante ele torna-se mais largo e, ao mesmo tempo, menos profundo, até se confundir com os terrenos sedimentares recentes, como o delta do Rio Santa Maria e áreas vizinhas (FERREIRA, 1989 *apud* PAIVA, 1999) (**Figura 18**).

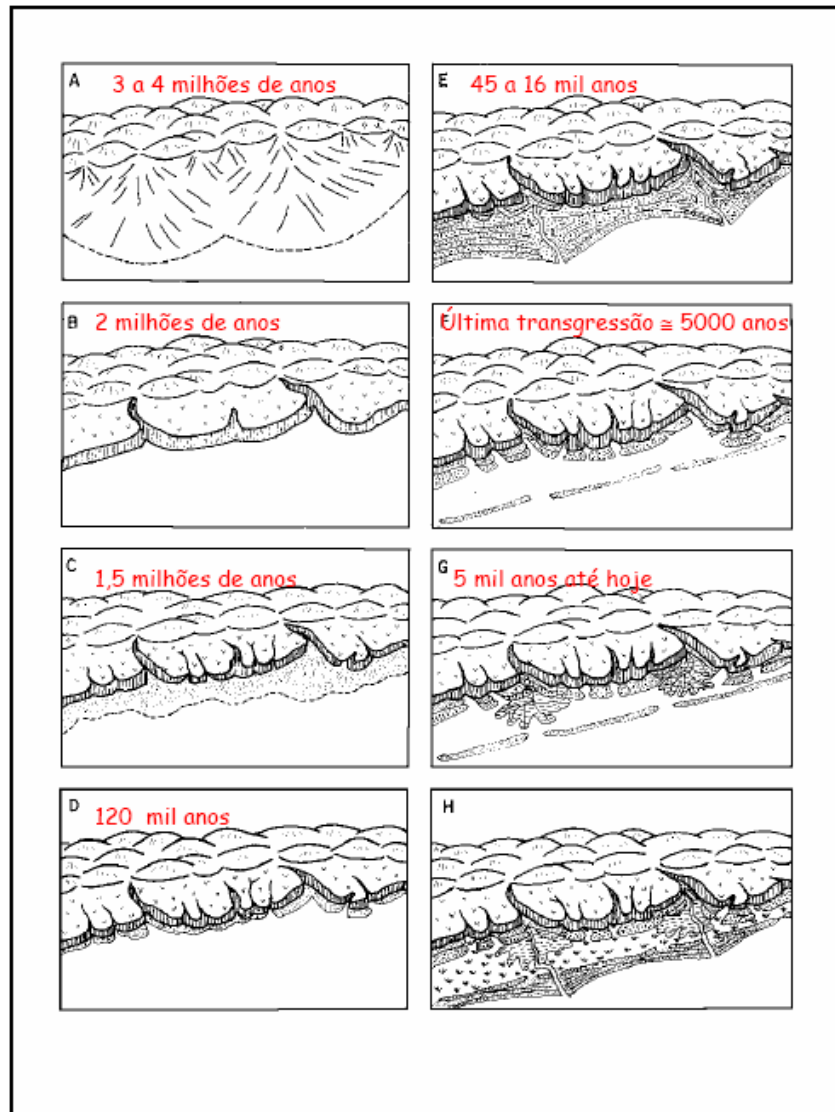


Figura 17 - Estágios evolutivos de sedimentação litorânea, por mecanismos eustáticos e paleoclimáticos, desde o fim do terciário até hoje. Fonte: Dominguez et al (1981 apud Albino, 1999).

A Baía de Vitória, por ser uma baía restrita, é considerada um sistema estuarino o qual é definido como um corpo aquoso litorâneo raso e geralmente salobro com circulação mais ou menos restrita, que mantém comunicação constante com o oceano aberto (SUGUIO, 2003). Desta forma, o estuário recebe uma sedimentação tanto de fontes marinhas quanto fluviais e, por conseguinte, contém fácies influenciadas pela maré, pelas ondas e por processos fluviais.



Figura 18 - Localização da área de estudo, Baía de Vitória, e seus principais canais: Canal do Porto de Vitória e Canal da Passagem. Fonte: Google Earth

Os estuários por serem considerados ambientes complexos devido aos seus processos de circulação de água, de mistura e estratificação da salinidade, os quais dependem da geometria, da descarga de água doce, da maré, da circulação na região costeira adjacente e do vento, DALRYMPLE *et al* (1992) propôs que os sistemas estuarinos fossem divididos em três zonas: zona interna, zona central e zona externa (**Figura 19**). Cada zona possui suas próprias características referentes ao regime de energia, ao tipo de sedimento e morfologia.

As zonas interna e externa são as áreas mais energéticas nas quais predominam a transferência de sedimentos, e a zona central é a área de transição entre a mistura da água fluvial e da água do mar. Elas dependem exclusivamente das estações do ano, do clima e da influencia da maré.

Os processos fluviais prevalecem na zona interna do estuário e sofrem uma progressiva redução em direção à foz do estuário, onde os processos marinhos prevalecem. Os efeitos das ondas se restringem às margens costeiras da zona externa.



Figura 19– Esquema de um estuário típico mostrando os limites de suas zonas de transição que dependem exclusivamente das estações do ano, do clima e das marés.
 Fonte: BROWN *et al.*, 1989

Segundo a classificação de FAIRBRIDGE (1980) quanto à geomorfologia dos estuários, a Baía de Vitória pode ser classificada como Estuário de Planície Costeira, ou seja, é um tipo de estuário formado pela inundação dos vales dos rios como consequência da elevação do nível do mar ao longo do tempo geológico. São pouco profundos com profundidades raramente superiores que 30 metros e apresentam pouca sedimentação (**Figura 20**).

O leito do estuário é preenchido com lama e sedimentos finos na parte superior, que vão aumentando a sua granulometria à medida que segue em direção à entrada do estuário. Geralmente, esse tipo de estuário é encontrado em regiões tropicais e subtropicais, como por exemplo, os estuários do Rio São Francisco, das Contas, Potengi e o da Baía de Vitória, localizados no Brasil.

Quanto aos processos hidrodinâmicos, a Baía de Vitória pode ser classificada como Estuário dominado por maré, ou seja, a energia da corrente de maré excede a energia da onda na zona externa do estuário e barreiras de areia são tipicamente desenvolvidas (**Figura 21**).

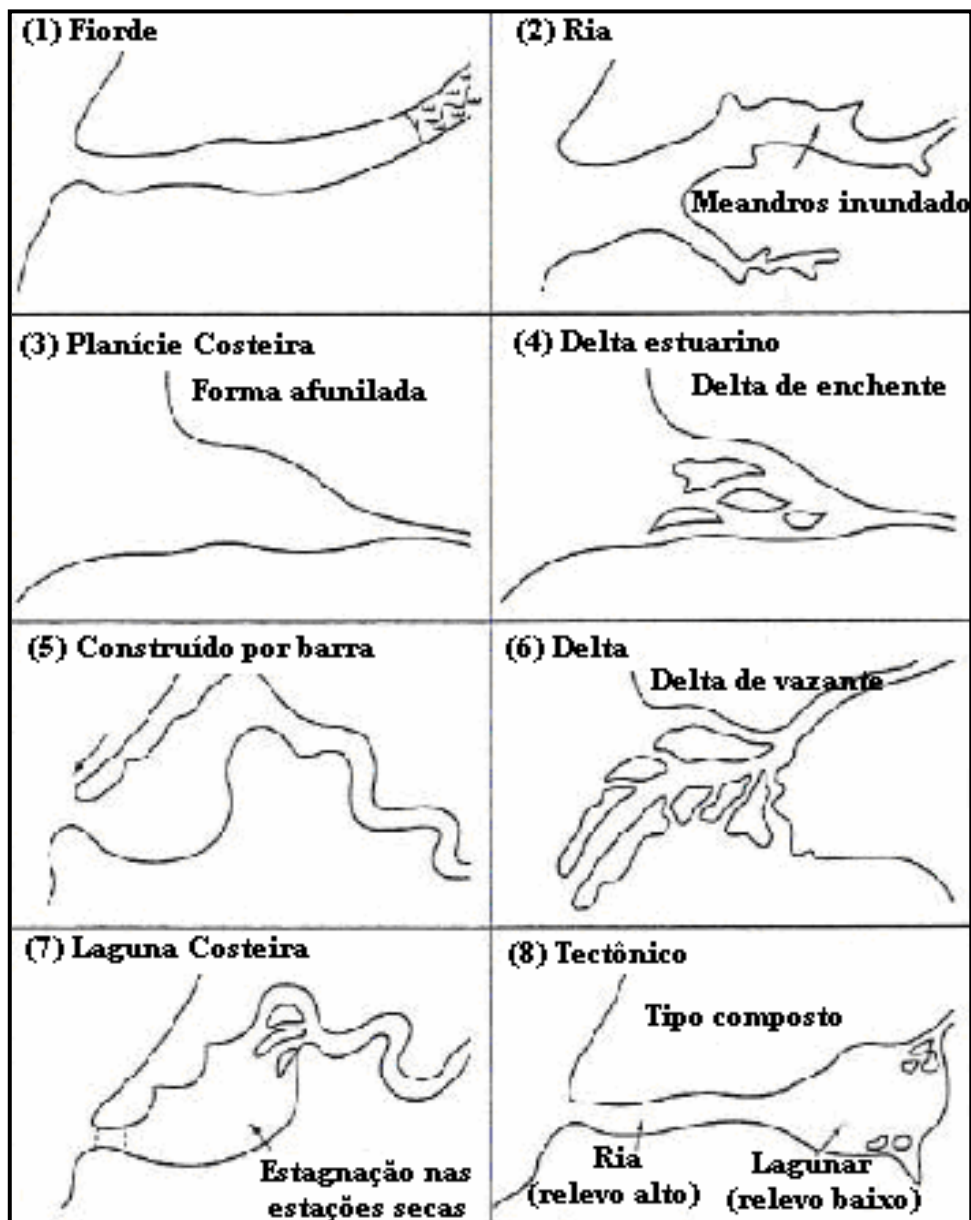


Figura 20 – Tipos básicos de estuários conforme a geomorfologia.
 Fonte: FAIRBRIDGE, 1980.

Estas barreiras que são desenvolvidas dissipam a energia da onda que existe, ocasionando uma diminuição na sua energia à medida que se distancia do estuário. No entanto, o fluxo das correntes da maré enchente é progressivamente comprimido dentro de uma pequena área de seção transversal devido à geometria afunilada do estuário. Isto faz com que a velocidade do fluxo das correntes de maré aumente para dentro do estuário.

Após certa distância, a dissipação friccional excede os efeitos de amplificação causados pelo afunilamento do estuário e a energia de maré diminui, alcançando o zero no

limite da maré. A energia fluvial diminui em direção ao mar como nos sistemas dominados por ondas (DALRYMPLE *et al.*, 1992).

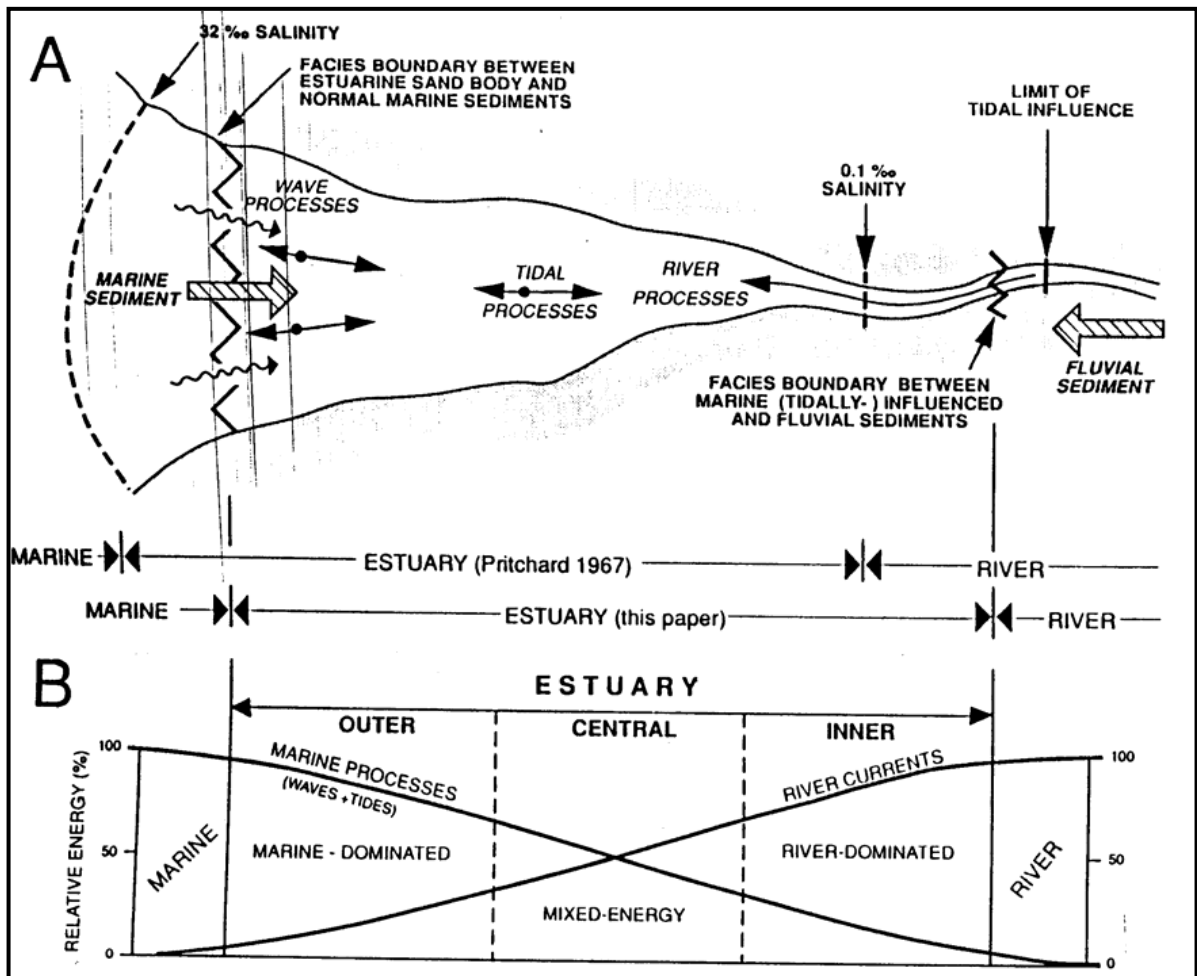


Figura 21 - Representação esquemática das definições de estuário de acordo com PRITCHARD (1967).
 Fonte: DALRYMPLE *et al.*, 1992.

7. METODOLOGIA

Os dados de batimetria multifeixe que foram utilizados no presente trabalho são provenientes do ecobatímetro multifeixe EM1000 modelo *Kongsberg Simrad*. Este equipamento possui um sistema de alta resolução de 95 kHz e opera em águas com profundidades variando entre 3 e 1000 metros.

Esses dados foram cedidos pelo Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM) cujo levantamento ocorreu em Outubro de 2003 e foi realizado pelo Navio Hidrográfico Taurus. Referem-se apenas ao Canal do Porto de Vitória, pois foram aquisitados dados de batimetria multifeixe apenas nesta porção da área do levantamento. Além desses dados, 99 informações geológicas também foram cedidas pelo BNDO.

Os dados do sonar foram aquisitados pelo sonar de varredura lateral com alta frequência de 500 kHz modelo 4100 com *towfish 272-TD* da *Edgetech*. O alcance lateral variou de 50 a 100 m.

Esses dados foram cedidos pelo Departamento de Oceanografia e Ecologia da Universidade Federal do Espírito Santo cujo levantamento foi realizado no mês de março de 2006, na Baía de Vitória, localizada no Estado do Espírito Santo. Os dados estendem-se desde a entrada do Canal do Porto de Vitória até o limite interior da baía.

Este levantamento apresentou um total de 25 km lineares de dados geofísicos longitudinais ao canal principal da baía, com a profundidade variando de 2 a 20 metros. E ambos os dados de batimetria multifeixe e de sonar foram adquiridos utilizando o *datum* WGS84 e em coordenadas geográficas.

7.1. ECOBATÍMETRO MULTIFEIXE EM 1000

O ecobatímetro multifeixe EM 1000 da *Kongsberg Simrad* possui um sistema de alta resolução com 95 kHz, sendo projetado para operar em águas com profundidades entre 3 e 1000 metros. A largura do seu feixe varia entre 2.3° e 3.3° e sua faixa de varredura (*swath width*) é 7.4 vezes a profundidade da água com até 120 feixes (**Figura 22**).



Figura 22 – Ecobatímetro EM 1000 da Kongsberg Simrad.

Fonte: <http://geopubs.wr.usgs.gov/open-file/of02-410/figures/fig4.jpg>

Seu sistema está *roll*-estabilizado, ou seja, há a correção do movimento de rotação da embarcação em torno do seu eixo longitudinal, e seu avançado processamento de sinais permite calcular a profundidade com uma precisão da informação batimétrica na ordem de 15 centímetros ou 0.25% da profundidade.

O EM 1000 é composto por um arranjo de transdutores que emitem e recebem os sinais acústicos. Seus transdutores são moldados na forma de um cilindro de 160° com um raio de 45 centímetros e são construídos a partir de 128 aduelas de cerâmica, radialmente espaçadas de 1.25° ao longo do cilindro na direção transversal à trajetória da embarcação.

Os transdutores podem ser permanentemente montados sob a embarcação ou em uma unidade retrátil. Esse sistema usado de forma fixa na embarcação ocorre principalmente quando os levantamentos são realizados em águas rasas e médias ou quando o movimento de rotação da embarcação em torno do seu eixo transversal (*pitch*) é pequeno e lento em águas profundas. Para este tipo de montagem do sistema não há limitações na velocidade da embarcação.

Entretanto, se os transdutores forem montados numa unidade retrátil, o nível da fonte é maximizado independentemente do estado do mar, e isto, portanto é recomendado se o levantamento for feito em água profundas onde o *pitch* da embarcação pode ser maior e mais

rápido. A velocidade máxima que a embarcação pode alcançar no levantamento da área é de 10 nós.

Este equipamento inclui também ou um sensor de temperatura ou um sensor de velocidade do som para obter a velocidade do som requerida. O sensor de temperatura é mais freqüentemente usado em áreas onde a velocidade do som depende primariamente da temperatura da água. Já em áreas onde a salinidade varia, o sensor de velocidade pode ser usado.

Quando o sinal acústico é emitido pelo transdutor e retorna ao mesmo, o receptor eletrônico capta esse sinal e o processa utilizando o *Time Varied Gain* (TVG), que é um método de amplificação do sinal com a finalidade de melhorar a qualidade dos dados, pois à medida que os pulsos acústicos se propagam pra mais longe da sua fonte, eles se tornam cada vez mais fracos devido à atenuação do sinal pelo meio. Esse método é feito de forma automática pelo sistema do ecobatímetro multifeixe.

7.2. SONAR DE VARREDURA LATERAL MODELO 4100

O modelo 4100 de sonar de varredura lateral da *Edgetech* é um sistema de dupla frequência 100/500 kHz acompanhado do *towfish 272-TD*. No entanto, utilizou-se para o imageamento do fundo da Baía de Vitória a frequência de 500 kHz. Esse sistema de alta resolução é ideal para o uso em lâminas d'águas de até algumas centenas de metros (**Figura 23**).

Devido a sua alta resolução, esse instrumento de *survey* possui uma enorme aplicação na investigação das áreas submarinas, possibilitando assim, a localização de cabos e dutos submarinos, levantamentos geológicos, geofísicos e hidrográficos, o monitoramento de áreas ambientais, tais como os recifes de corais, a localização de minas, as operações de busca e salvamento de equipamentos naufragados, entre outras aplicações. Objetos de 1.0 metro aproximadamente podem ser detectados por este equipamento.



Figura 23 - Sonar de varredura lateral da Edgetech modelo 4100 com towfish 272-TD. Fonte: http://www.edgetech.com/docs/4100_brochure.pdf

Os transdutores encontram-se dispostos nos lados bombordo e boreste do *towfish* 272-TD e cada um contem dois tipos de feixes, os quais operam nas frequências 100 ou 500 kHz. Estes transdutores de *side scan* convertem energia elétrica em sinais acústicos de alta frequência, os quais percorrem na água à aproximadamente 1500 m/s, até atingirem o fundo marinho, do qual parte desta energia retorna aos transdutores.

O retorno desta energia acústica é convertido pelo mesmo transdutor para um sinal elétrico de baixa voltagem, para que o receptor eletrônico possa captar e processar os dados utilizando o *Time Varied Gain* (TVG). Após isto, o sinal é separado em várias frequências e transmitido de volta para a unidade em superfície.

O TVG é um método tipicamente baseado no tempo, utilizado para amplificar a energia dos sinais acústicos e obter uma melhor qualidade dos dados. Como os pulsos acústicos emitidos se propagam para mais longe do *towfish*, ele torna-se cada vez mais atenuado, espalhado e absorvido pelo meio. Desse modo, os sinais de retorno aos transdutores possuem extremamente um nível baixo de energia e requerem uma amplificação muito alta para se normalizarem. Então, o próprio sistema eletrônico do sonar aplica o TVG nos dados, aprimorando-os conforme sua qualidade em termos de visualização.

8. PROCESSAMENTO DOS DADOS

8.1. PROCESSAMENTO DA BATIMETRIA

Inicialmente, os dados de batimetria foram cedidos pelo Banco Nacional de Dados Oceanográficos, os quais foram processados pela Divisão de Levantamentos do Centro de Hidrografia da Marinha. O *software* de processamento utilizado foi o Caris Hips (*Hydrographic Information Processing System*).

O Caris Hips é um programa de processamento para manipulação de grande volume de dados hidrográficos, geofísicos e de gerenciamento e controle de pesca. Deste modo, para um melhor aproveitamento dos dados e obter-se uma boa qualidade dos mesmos, fez-se necessário algumas etapas durante o processamento: edição dos sensores, navegação, sensores de atitude, correção da velocidade do som, merge, correção da maré e a criação de uma *BASE surface*.

A etapa de edição de sensores promove a depuração dos dados de navegação e dos sensores de atitude. Já na parte de navegação é possível detectar valores espúrios (*spikes*), definindo-se um valor de filtragem ou eliminando-os manualmente.

Na etapa de sensores de atitude, os pontos espúrios além de serem eliminados manualmente, podem ser eliminados por meio de ferramentas estatísticas, onde visam estabelecer limites máximos e mínimos para os dados. Portanto, o que estiver fora desses limites será rejeitado.

Após a etapa dos sensores de atitude, a correção da velocidade do som é feita e inicia-se o processo de merge, que é a combinação de informações referente às posições relativas da embarcação (proa-popa/boreste-bombordo) com os dados da agulha giroscópica e com os dados do sensor de movimento, a fim de produzir posições geográficas para cada sondagem.

Por último são feitas a correção de maré e a criação de uma *BASE surface* que é uma ferramenta útil para a identificação das regiões com profundidades duvidosas ou problemáticas.

Depois de feitas todas as correções necessárias no processamento, utilizou-se o programa *Oasis Montaj* da Geosoft para a construção de uma superfície batimétrica da região do Canal do Porto de Vitória, onde os dados processados foram importados para o programa

Oasis Montaj e plotados para facilitar a visualização e avaliar a consistência dos mesmos (Figura 24).

A distância entre os pontos de amostragem variou bastante, desde 10 a 25 metros. Esta variação no espaçamento entre pontos é devido à grande variação de profundidade na região (Figura 25). Portanto, através de diversas análises concluiu-se que o tamanho da célula de gridagem que melhor representa o processo de interpolação dos dados foi o de 15 metros.

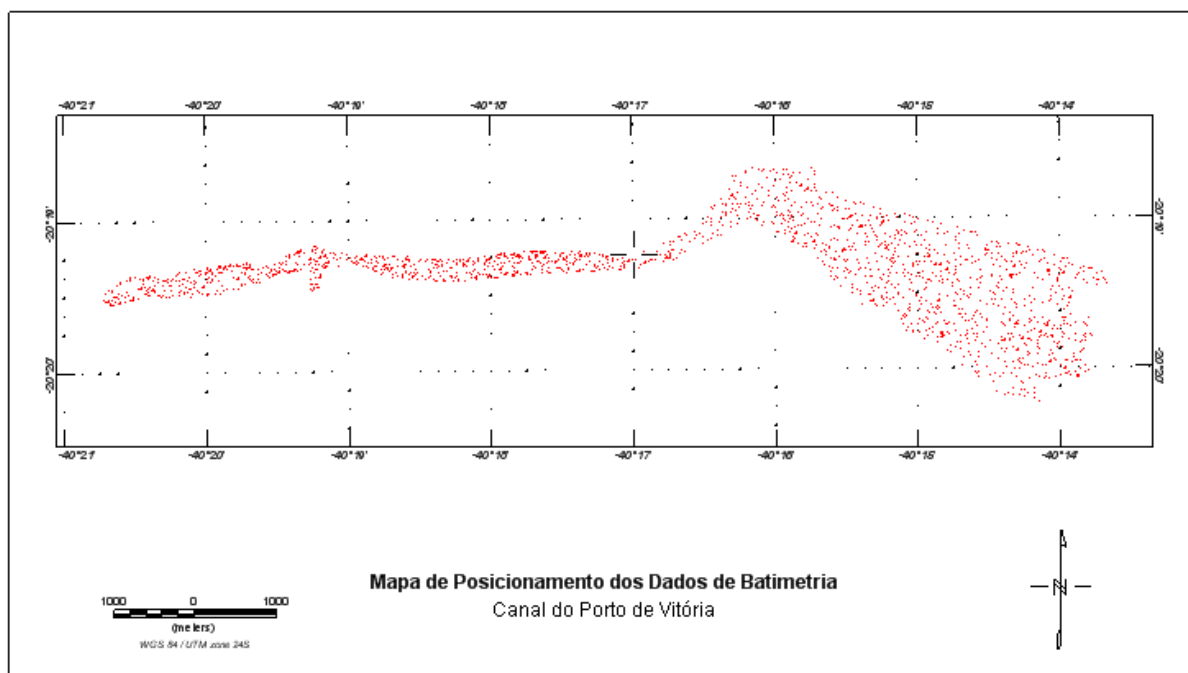


Figura 24 – Mapa de Posicionamento dos dados de batimetria do Canal do Porto de Vitória.

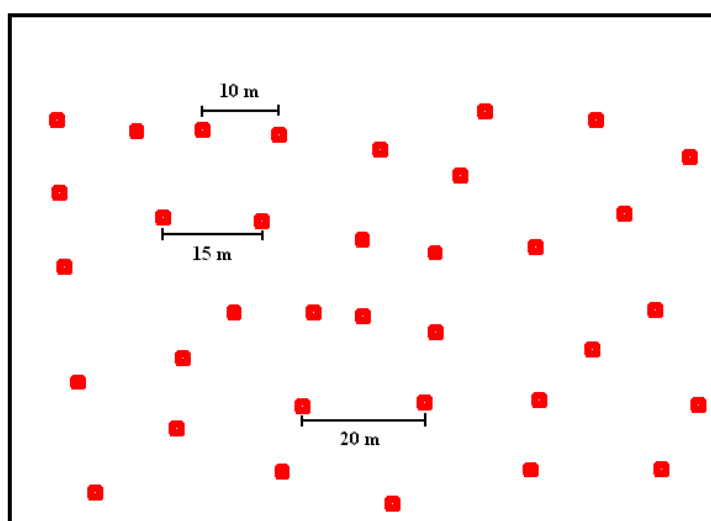


Figura 25 – Variação entre os espaçamentos durante o levantamento no Canal do Porto de Vitória.

O método de gridagem utilizado foi o de mínima curvatura, o qual é um método de interpolação de dados onde admite-se que dois pontos adjacentes de um levantamento estejam contidos num mesmo arco, e este arco está localizado em um plano, no qual se conhece a inclinação e o ângulo de orientação (SAWARN, 2005). Deste modo, a superfície interpolada é semelhante a um fino plano linear elástico, o qual passa através de cada um dos valores com um pequeno aumento ou estiramento, gerando assim uma superfície suavizada que atravessa por todos os dados.

Portanto, este grid batimétrico possui uma grande importância na observação das feições encontradas na superfície submarina, mostrando evidências para o estudo da dinâmica do local, tal como feições de arrasto devido aos constantes processos de dragagem na região (Figura 26).

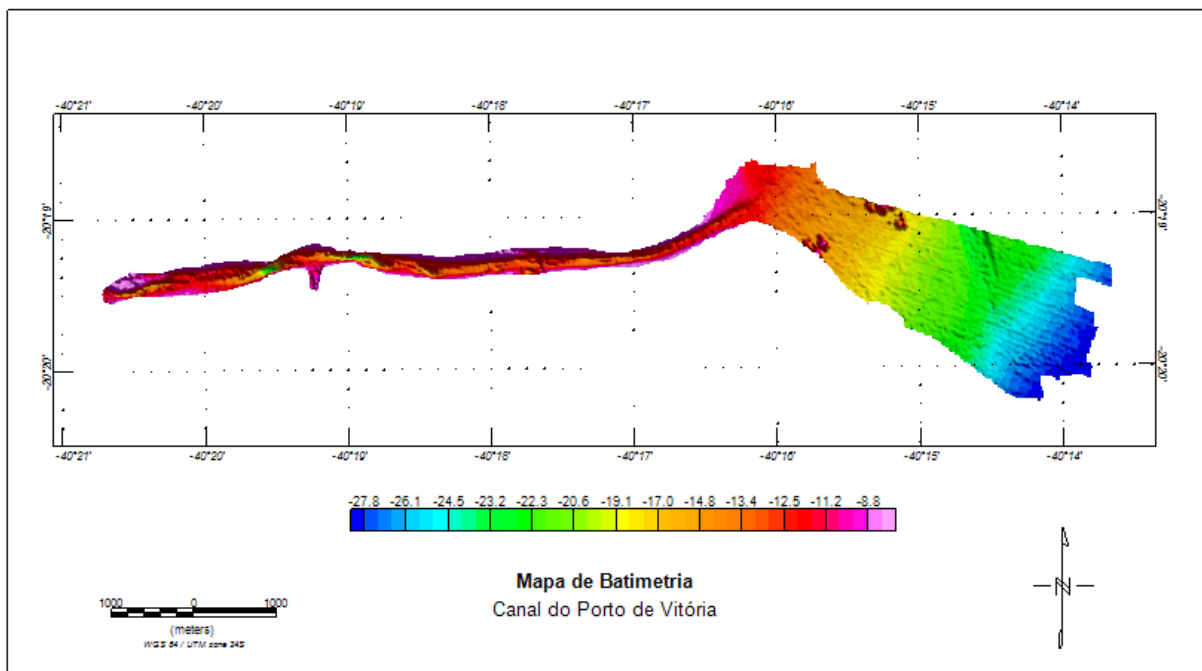


Figura 26 – Mapa de batimetria do Canal do Porto de Vitória.

8.2. PROCESSAMENTO DO SONAR

Para o processamento e interpretação dos dados de sonar foi utilizado o software *SonarWizMap 5.0* da empresa *Chesapeake Technology*, onde tal programa foi cedido pela

C&C Technologies do Brasil e pelo Centro de Hidrografia da Marinha para realização deste trabalho.

Inicialmente, os dados de sonar em extensão XTF foram importados por meio do programa *SonarWizMap* 5.0 com um ganho quatro vezes superior às condições inicialmente encontradas nas linhas. Foram importadas nove linhas sísmicas cujo datum utilizado foi o WGS84 – UTM Zona 24S.

Após esta etapa, fez-se necessário a correção do fundo marinho através da ferramenta *bottom tracking* (**Figura 27**). Isto permite unir os lados bombordo e boreste das linhas de sonar e obter uma posição real do fundo marinho e das feições encontradas (**Figura 28**).

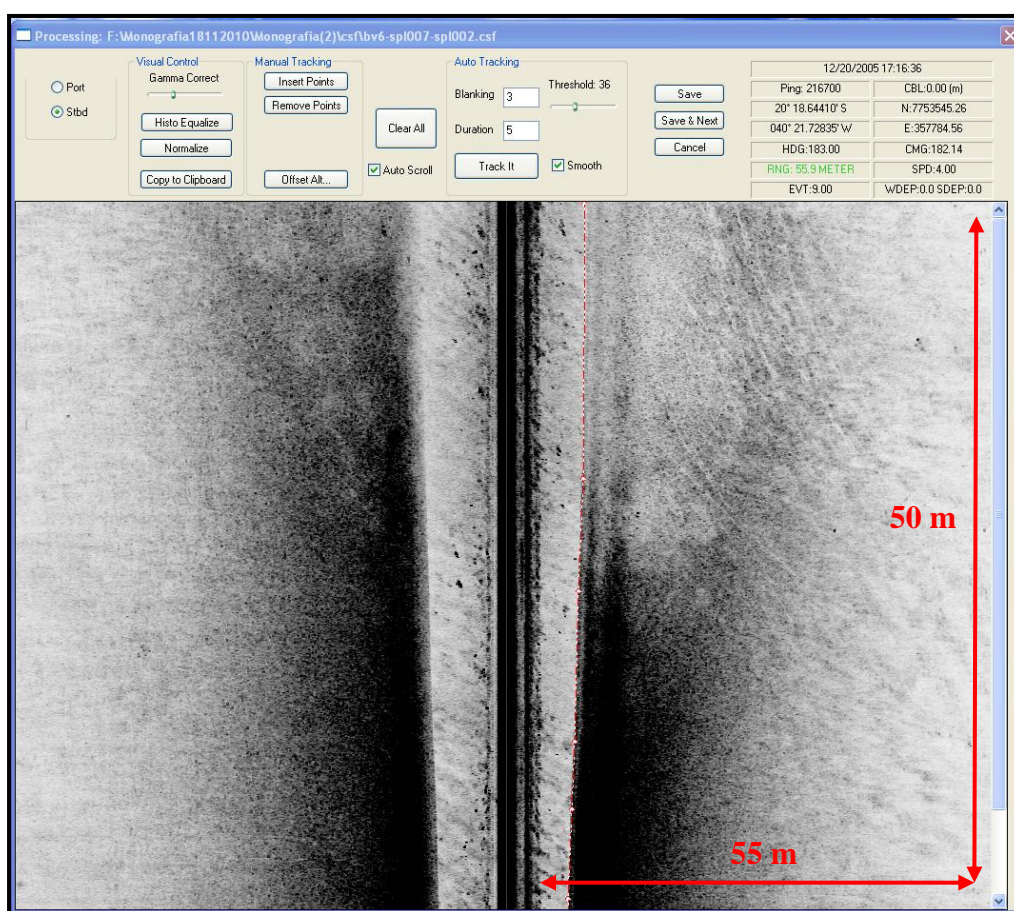


Figura 27 – Visualização de uma linha de sonar com o seu *bottom tracking* delimitando o fundo marinho.

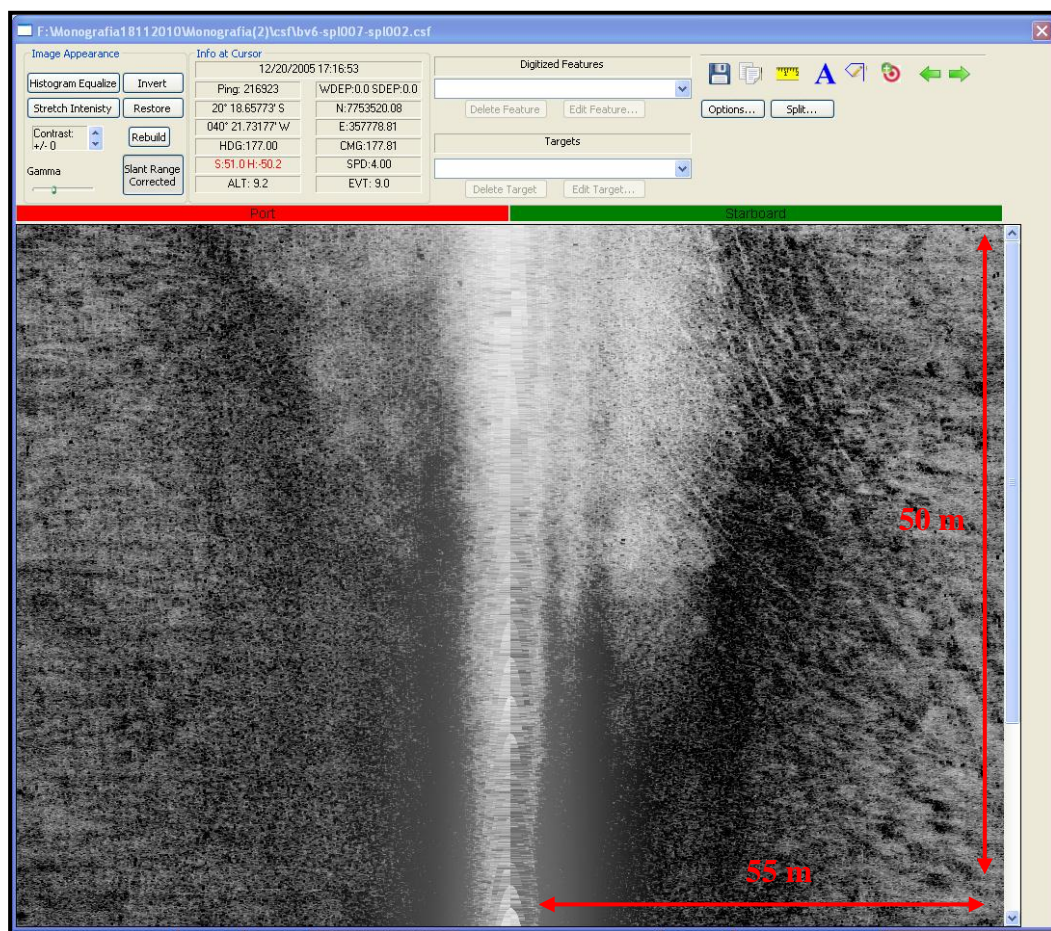


Figura 28 – Imagem da mesma linha de sonar da Figura 27, no entanto com o seu *bottom tracking* corrigido.

O *bottom tracking* pode ser feito de forma manual ou automática, no entanto como o fundo se encontrava bastante irregular, optou-se por ser feito o traqueamento manualmente, evitando, portanto, a delimitação incorreta do fundo.

Como as linhas do sonar encontravam-se com ganhos distintos, onde a parte boreste da linha apresentava um ganho menor em relação à parte de bombordo, utilizou-se o ganho UGC (*User Defined Gain/Attenuation*) que é um ganho definido pelo usuário a fim de equalizar um valor do ganho para ambos os lados da linha, melhorando, portanto a visualização desses dados e suas feições (**Figura 29 e 30**).

Esta diferença de ganho encontrada em ambos os lados da linha, pode ser devido a um possível problema nos transdutores do sonar de varredura lateral.

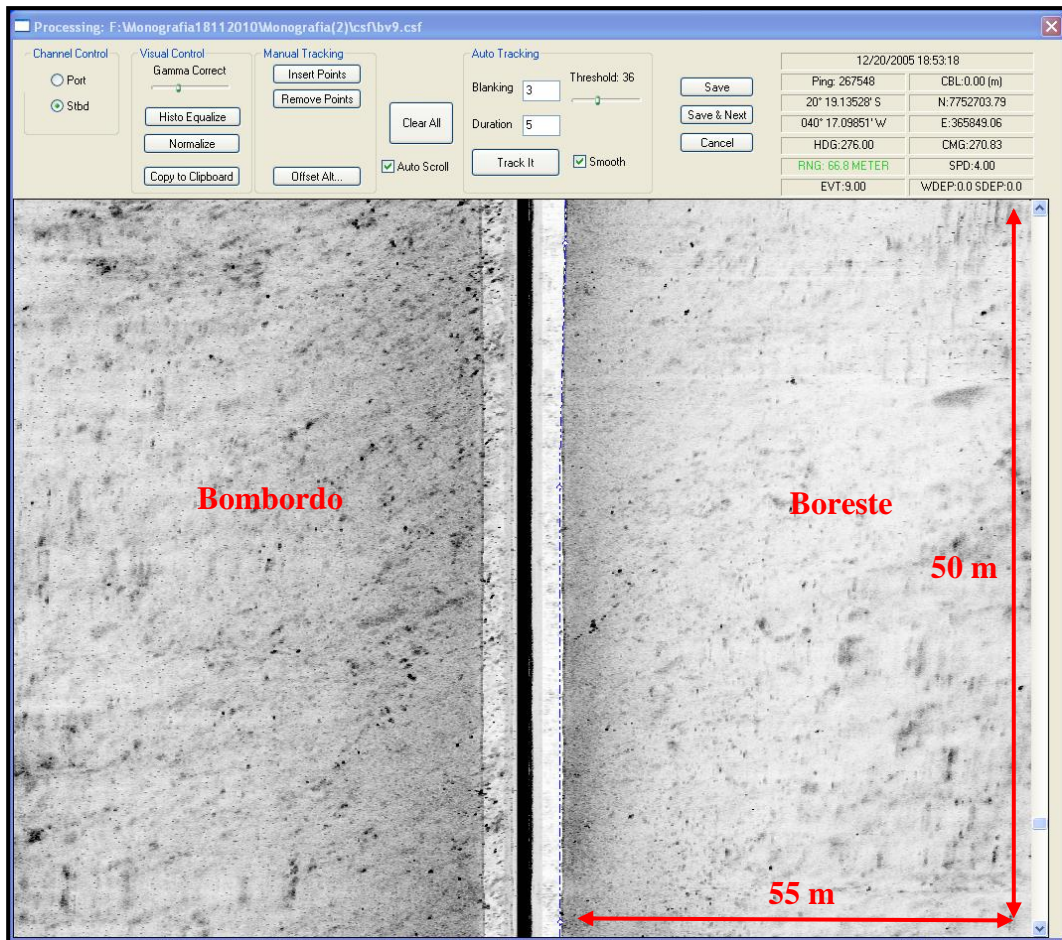


Figura 29 – Diferença no ganho da parte de bombordo e na parte boreste.

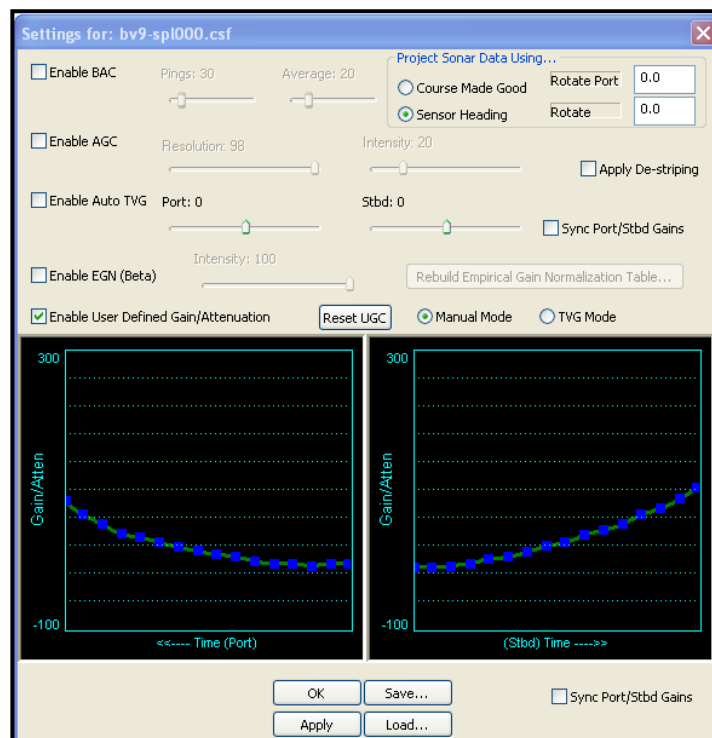


Figura 30 – Ganho UGC.

Através do programa *SonarWizMap* foi possível construir um mosaico sonográfico da região em função dos padrões de intensidade dos sinais de retorno ao sonar (**Figura 31**) e interpretá-lo por meio de ferramentas disponíveis no próprio programa.

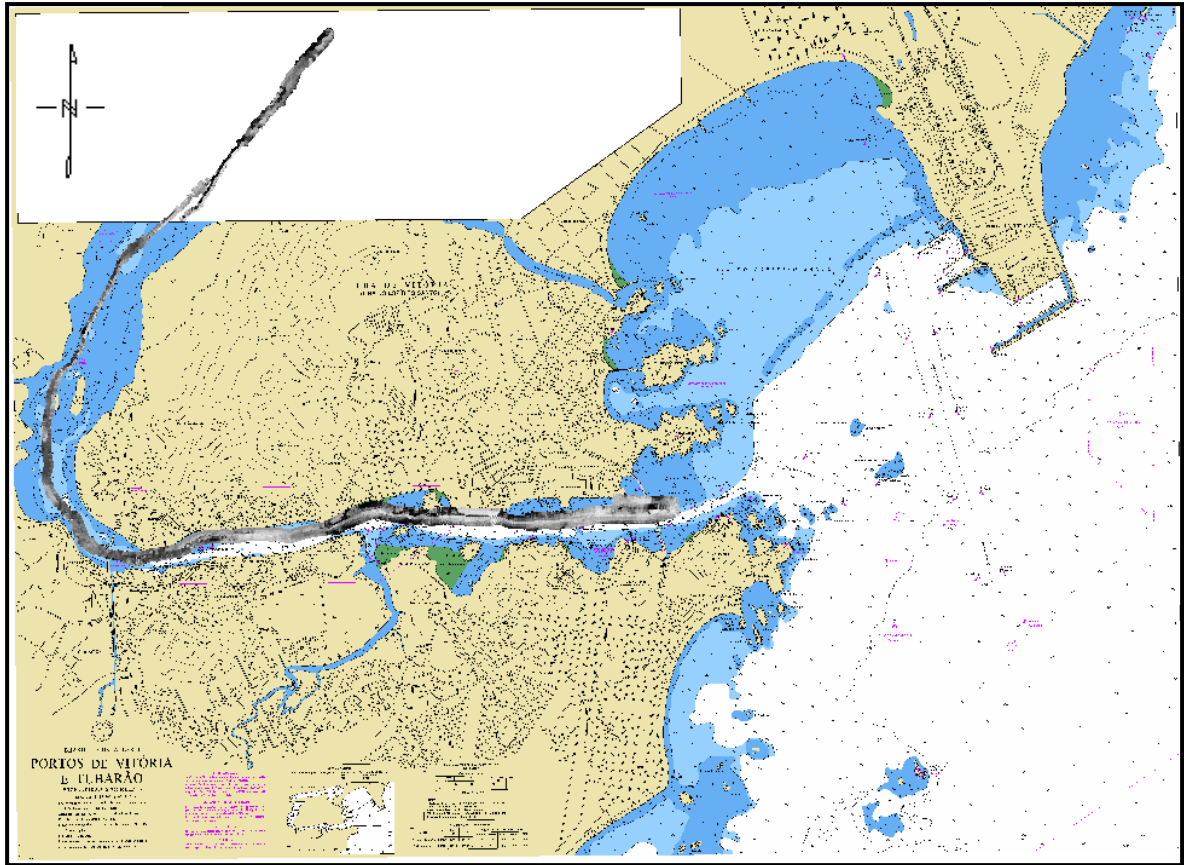


Figura 31 – Imagem do mosaico sonográfico com a carta náutica da região da Baía de Vitória ao fundo.

9. RESULTADOS

9.1. BATIMETRIA

A batimetria final gerada no Oasis Montaj apresentou um fundo marinho um pouco irregular, notando-se algumas feições antrópicas referentes às constantes dragagens na região do Canal do Porto de Vitória e à presença de rochas (**Figura 32, 33 e 34**).

No entanto, mesmo sendo possível observar tais feições, a batimetria final não foi muito satisfatória, pois apresentou certas rugosidades no grid, provavelmente devido a algum problema na aquisição e/ou no processamento dos dados (**Figura 35**).

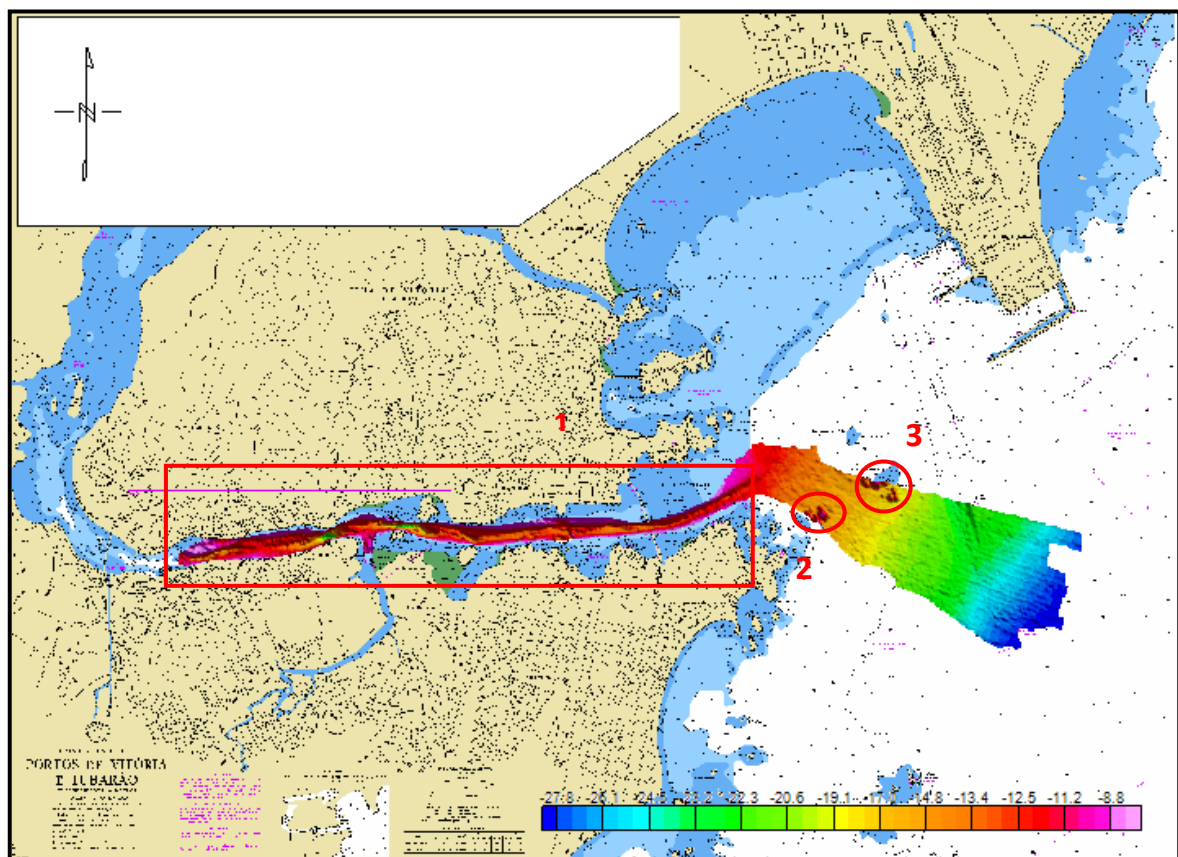


Figura 32 - Imagem mostrando as principais feições encontradas pós-processamento na região do Canal do Porto de Vitória.

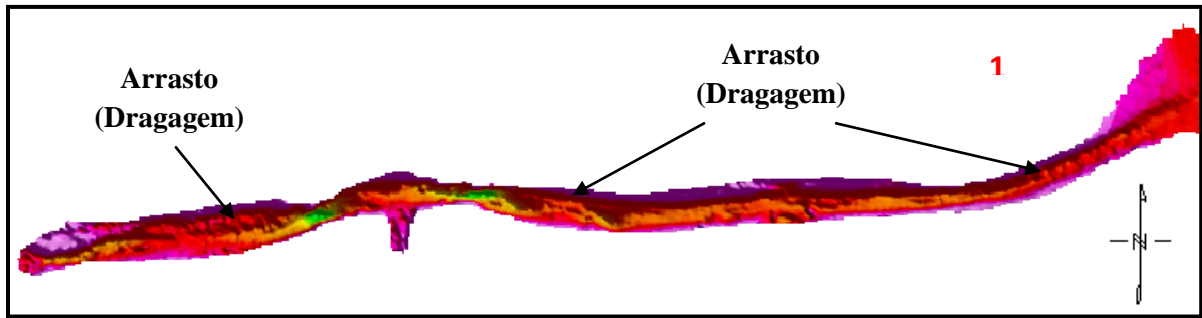


Figura 33 – Imagem (1) referente às marcas de arrasto encontradas no Canal do Porto de Vitória devido às constantes dragagens na região.

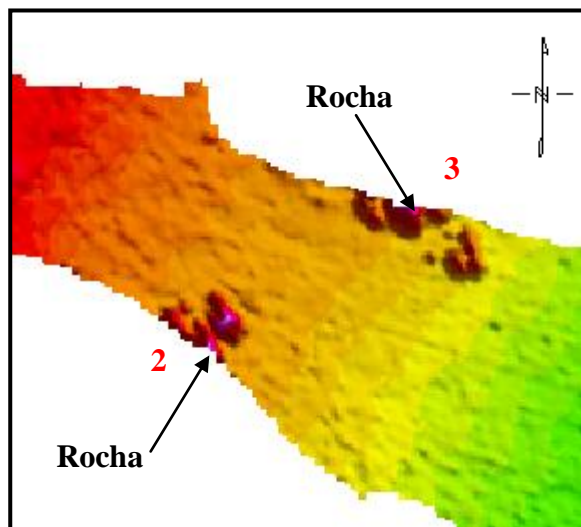


Figura 34 – Imagem (2 e 3) referente às rochas encontradas no Canal do Porto de Vitória.

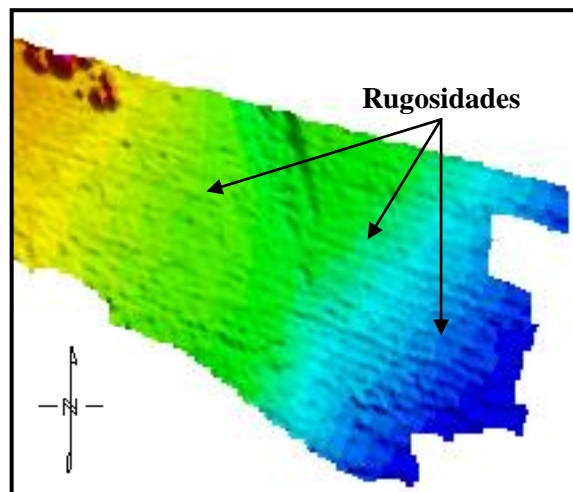


Figura 35 – Imagem mostrando as rugosidades no grid batimétrico devido a algum problema nos dados batimétricos da região.

9.2. SONAR

Em relação à resposta do sonar de varredura lateral, o mosaico final gerado foi bastante satisfatório, apresentando um fundo marinho heterogêneo com padrões de intensidade bastante variados. Fortes reflexões, na parte mais ao sul, estão associadas à presença de rochas e às feições de arrasto devido às constantes dragagens ocorridas no Canal do Porto de Vitória, e uma provável embarcação na superfície de fundo (Figura 36, 37, 38 e 39).

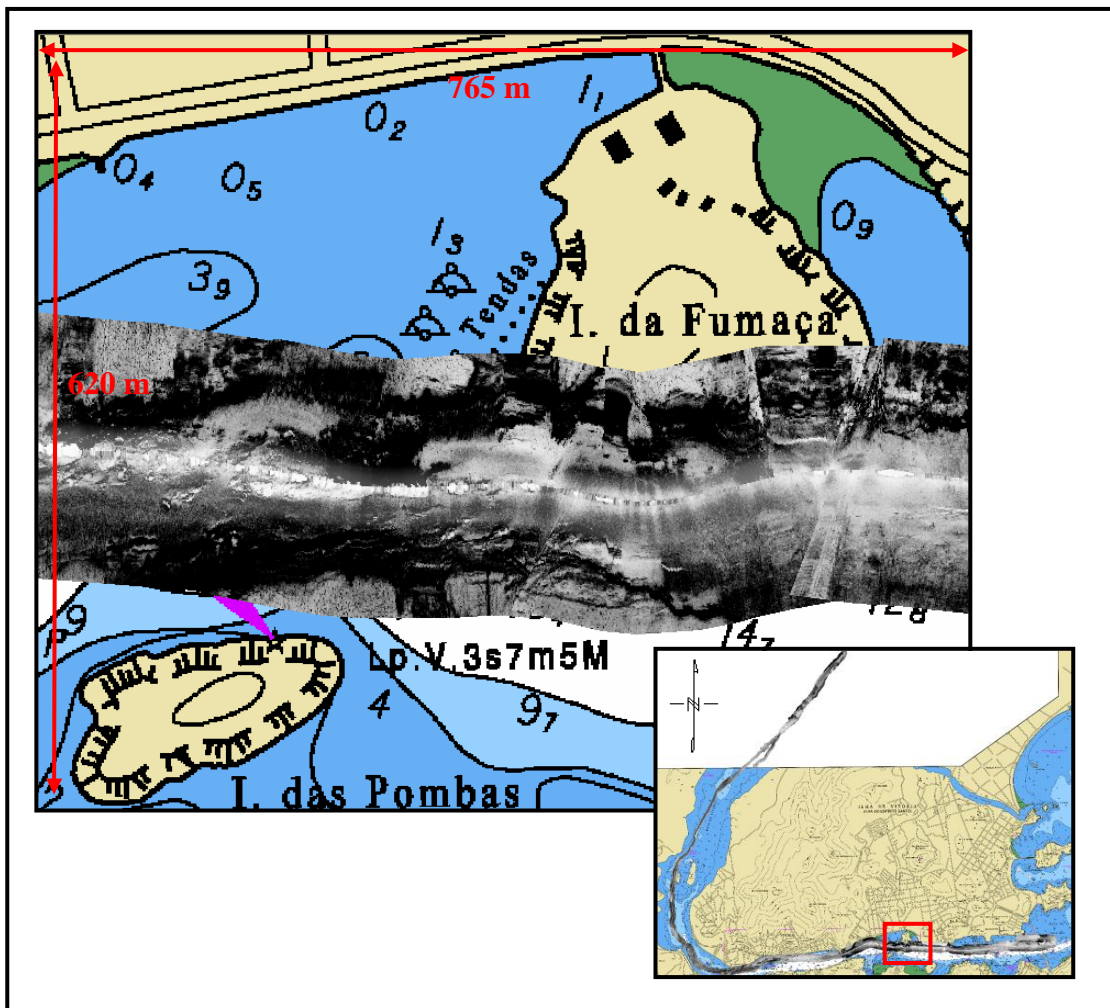


Figura 36 – Fortes padrões de reflexão referentes à presença de rochas no fundo marinho.

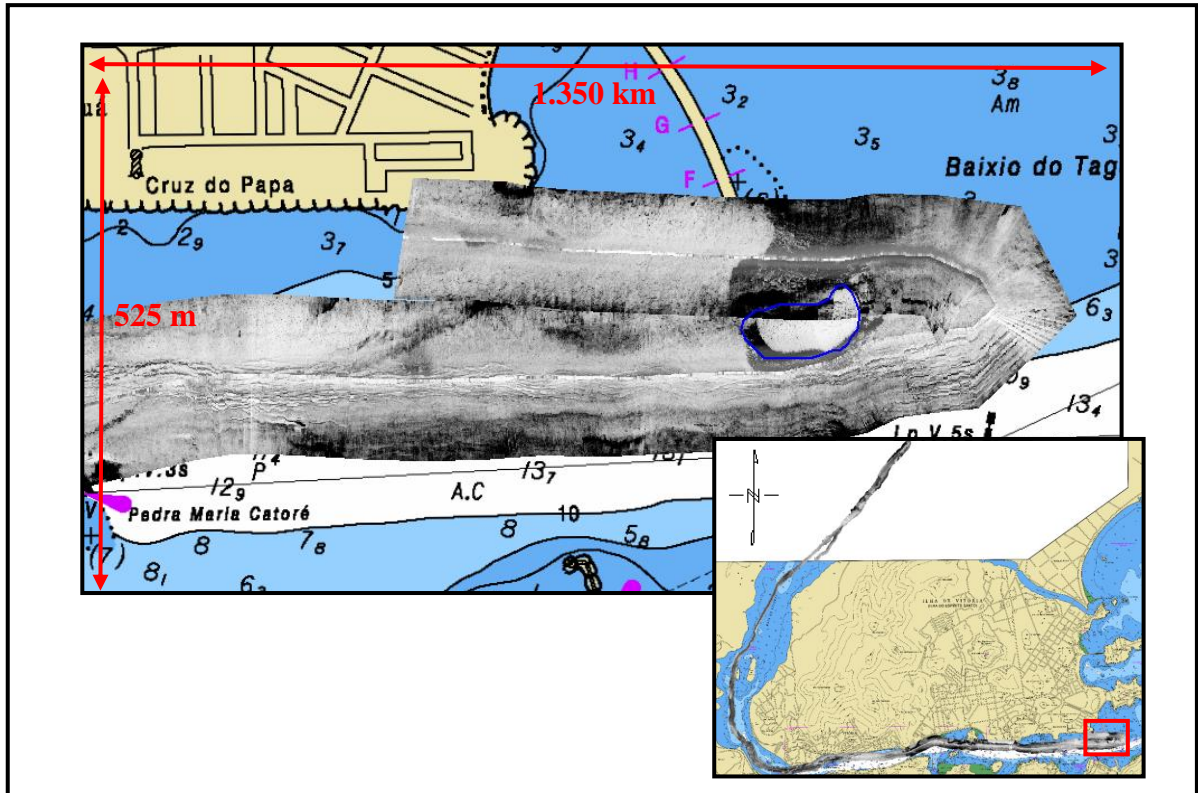


Figura 37 – Fortes padrões de reflexão referentes à presença de rochas no fundo marinho.

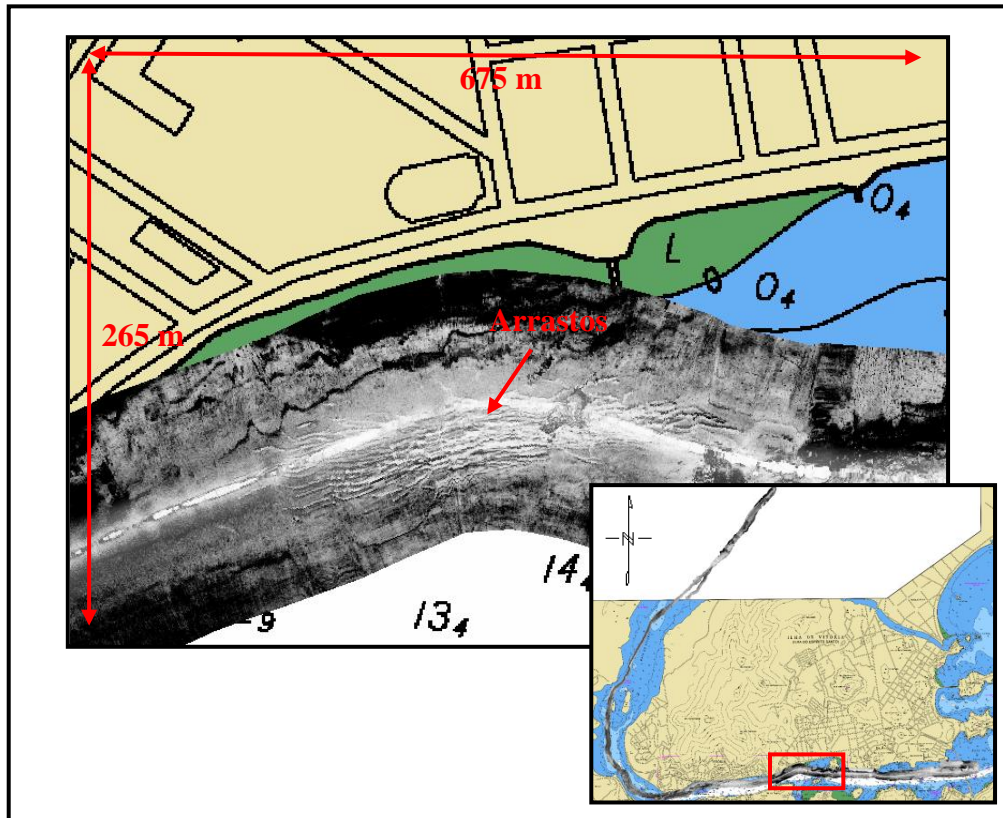


Figura 38 – Padrões de reflexão referentes às feições de arrasto devido aos constantes processos de dragagem na região.

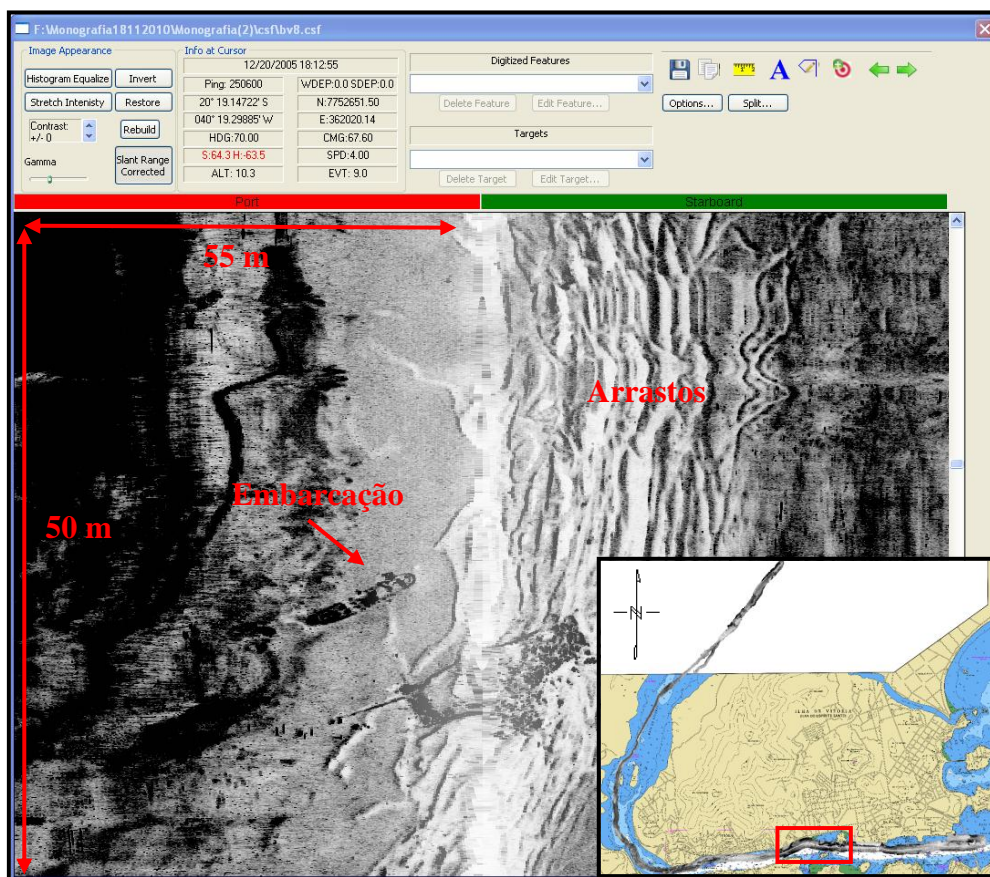


Figura 39 – Padrões de reflexão referentes a uma possível embarcação na superfície de fundo e as marcas de arrasto devido à dragagem do canal.

Na região mais ao norte da área encontra-se uma variação na intensidade de retorno do sinal referente às irregularidades encontradas na superfície de fundo. Assim, um padrão mais forte de intensidade de reflexão do sinal indica um material mais grosseiro, enquanto que um padrão de intensidade de reflexão mais fraco indica um material mais fino (**Figura 40**).

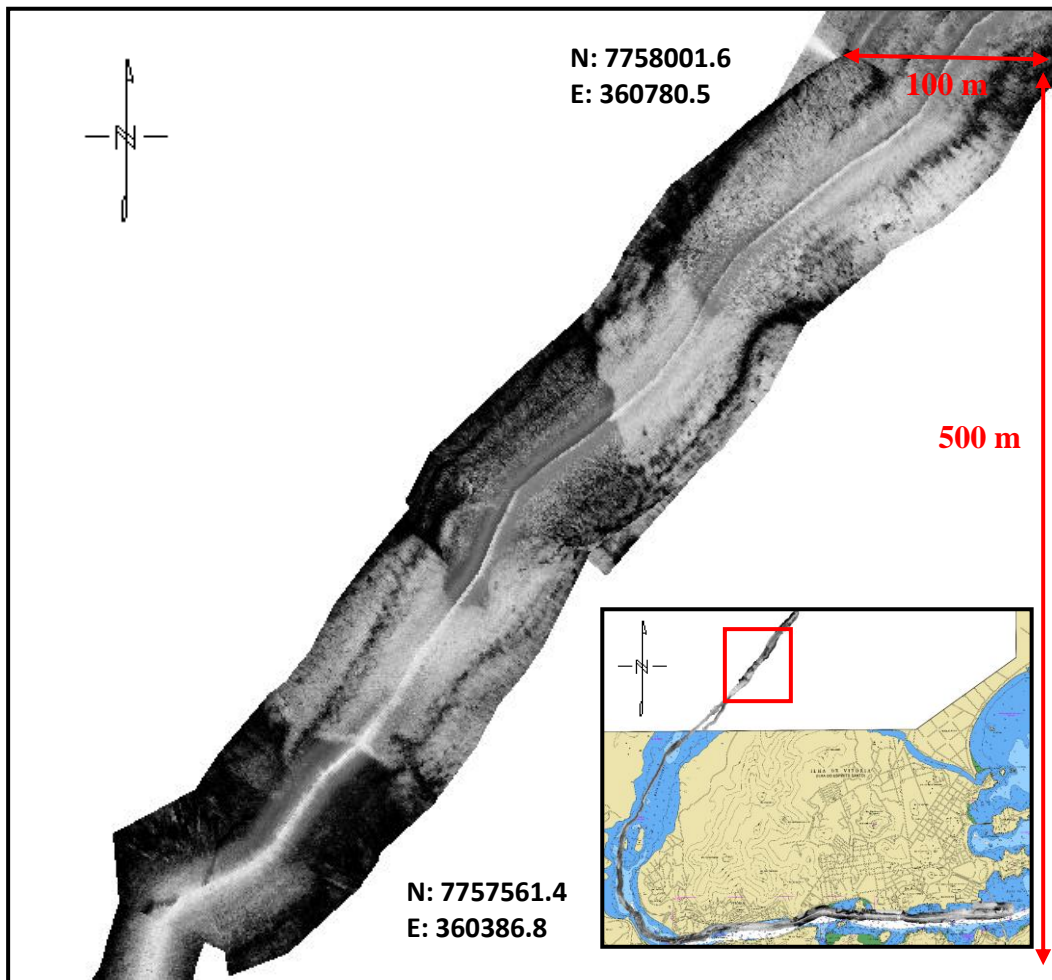


Figura 40 – Diferentes padrões de intensidade do retorno do sinal.

Na saída do Canal do Porto de Vitória é possível observar a presença de dunas subaquosas na região (**Figura 41**). Estas dunas podem ser provenientes do sistema estuarino da Baía de Vitória, o qual é classificado como um estuário dominado por maré, onde a energia da corrente de maré excede a energia da onda na zona externa do estuário e barreiras de areia são, portanto, desenvolvidas.

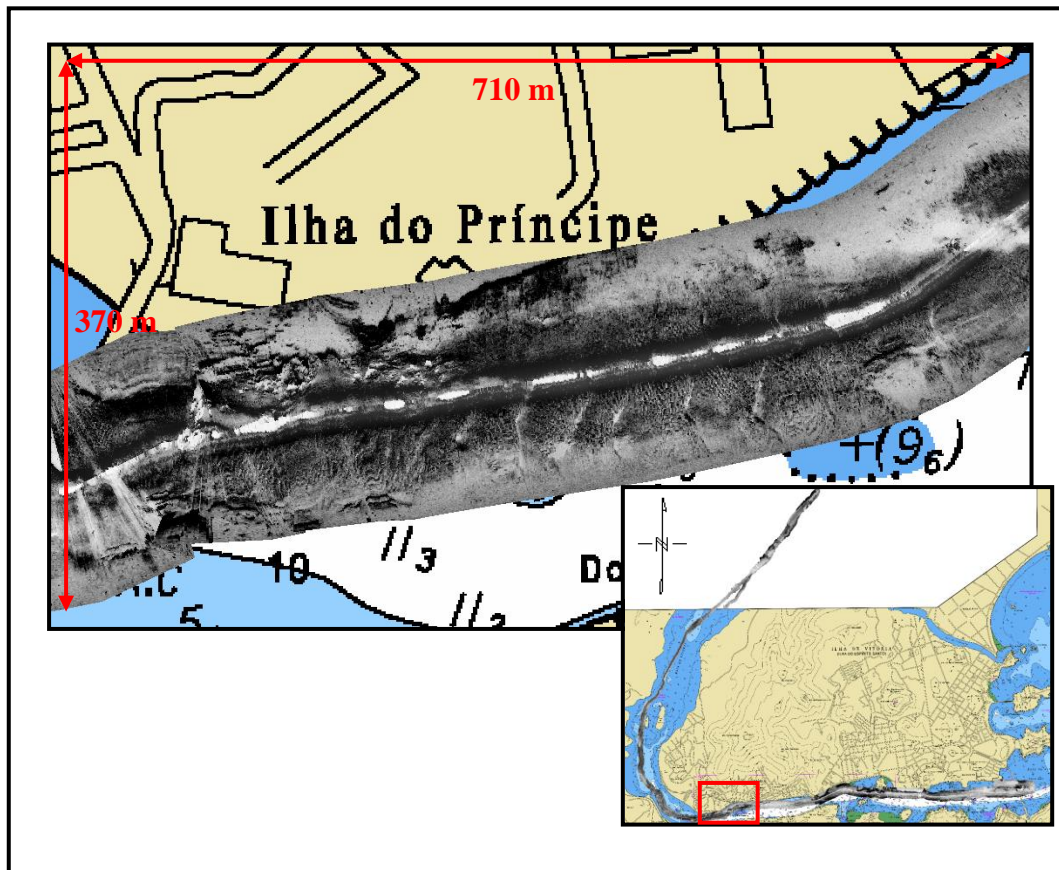


Figura 41 – Imagem mostrando as dunas subaquosas da região provenientes do ambiente sedimentar estuarino.

9.3. AMOSTRAS

As amostras utilizadas neste trabalho foram cedidas pelo Banco Nacional de Dados Oceanográficos do Centro de Hidrografia da Marinha. Foram fornecidas 99 amostras geológicas no total, no entanto apenas 30 foram utilizadas por compreenderem a área de interesse (**Figura 42**).

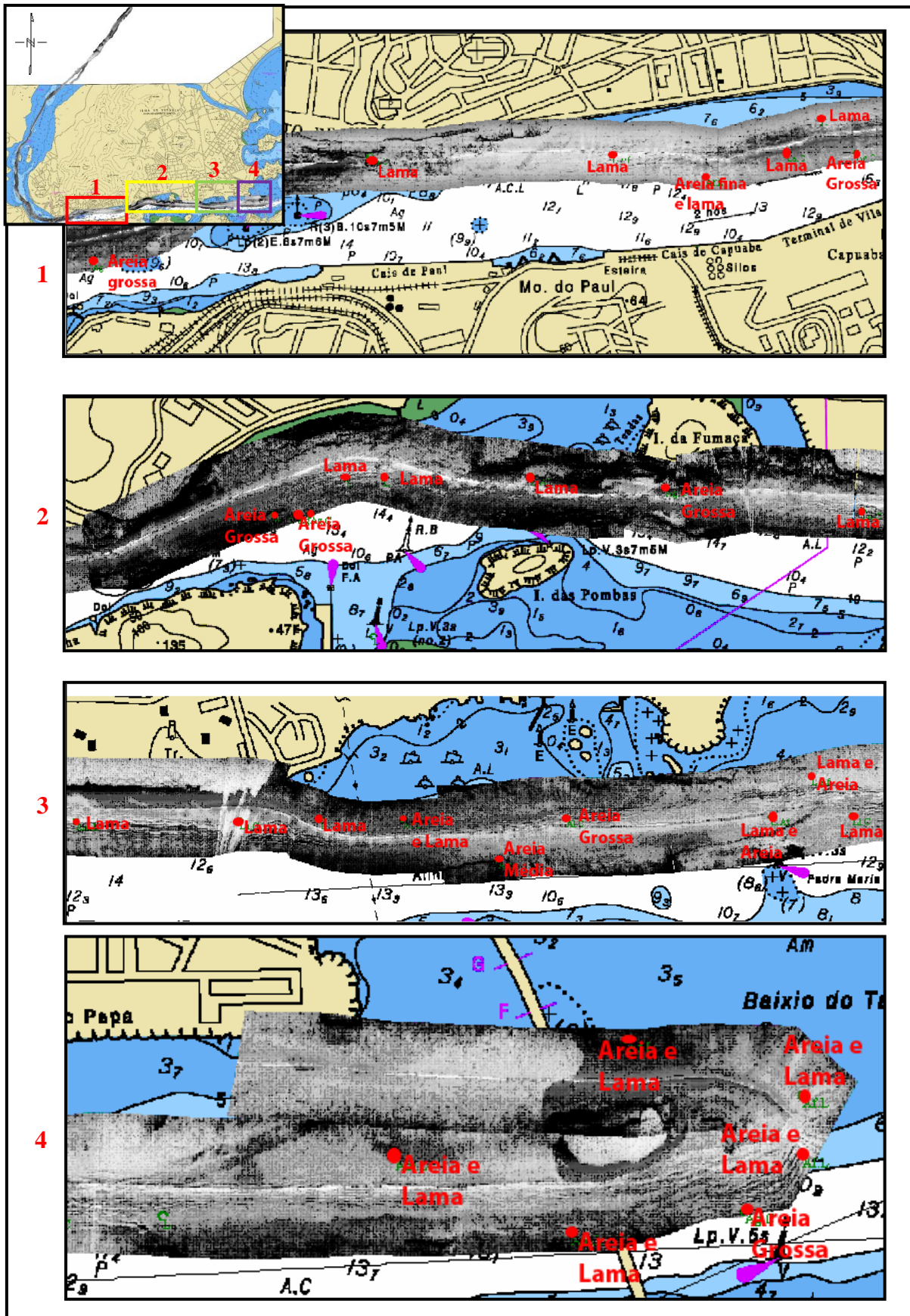


Figura 42 – Imagem mostrando a seqüência do levantamento de sonar e suas 30 amostras geológicas.

Observou-se que há uma correlação entre o tipo de sedimentação na região com o padrão de intensidade do sonar observado através do mosaico. Portanto, a fim de correlacionar tais dados, uma tabela foi criada para ilustrar todos os padrões de intensidade de retorno do sinal acústico do sonar e suas respectivas amostras.

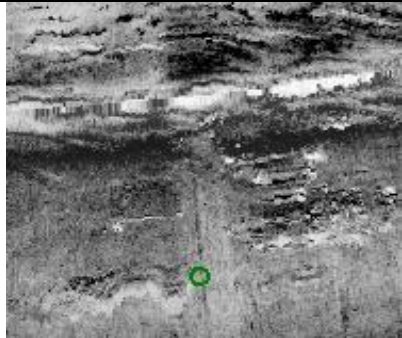
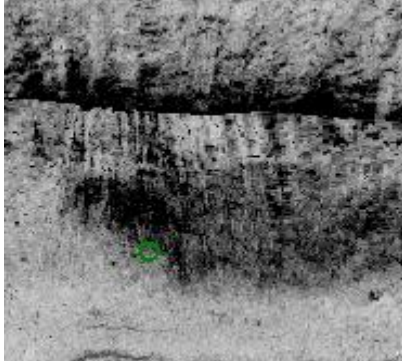
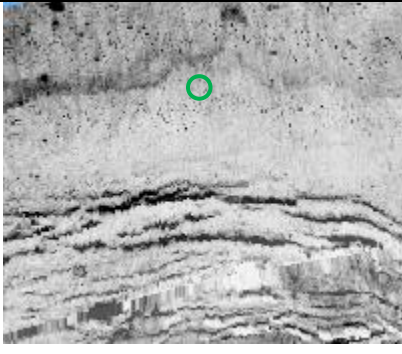
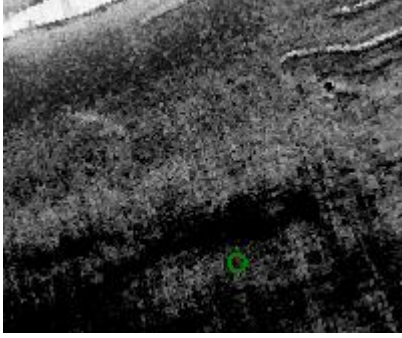
| | |
|---|---|
|  | <p>Lama - representada por um padrão claro de intensidade de retorno do sinal acústico do sonar</p> |
|  | <p>Areia e Lama – representada por um padrão de intensidade escuro de retorno do sinal acústico do sonar, quando comparado ao padrão de intensidade do sedimento lama.</p> |
|  | <p>Lama e Areia – representada por um padrão de intensidade mais claro quando comparada ao padrão de intensidade do sedimento areia e lama.</p> |
|  | <p>Areia grossa – representada por um padrão de intensidade bem escuro de retorno do sinal acústico do sonar.</p> |

Tabela 3 – Correlação das amostras geológicas e seus respectivos padrões de intensidade de retorno do sinal acústico do sonar.

Essas variações quanto ao padrão de intensidade de retorno do sinal acústico do sonar representam que para cada tipo de sedimento encontrado no fundo marinho, o sonar obterá uma resposta diferente de intensidade do sinal. Isto é devido aos sedimentos possuírem suas próprias características granulométricas que correspondem de maneiras distintas no mosaico do sonar.

Portanto, sedimentos mais grossos obterão como resposta do sinal acústico uma intensidade mais forte, enquanto sedimentos mais finos terão uma resposta mais fraca do sinal.

10. CONCLUSÃO

A batimetria multifeixe e o sonar de varredura lateral são ferramentas auxiliares na caracterização e na interpretação de morfologias da superfície de fundo de uma região. Elas foram de fundamental importância na identificação de feições de arrasto e de rochas na região do Canal do Porto de Vitória, principalmente.

No entanto, como os dados de batimetria multifeixe foram adquiridos em Outubro de 2003, enquanto os dados de sonar foram coletados em Março de 2006, ambos por distintas instituições e em áreas diferentes, a proposta inicial de comparar tais dados a fim de verificar a resposta destes métodos acústicos, não foi possível.

Portanto, no mosaico sonográfico encontrou-se uma relativa quantidade de rochas na região do Canal do Porto de Vitória, enquanto que no grid batimétrico a quantidade de rochas observadas foi diminuta. Isto também não foi apenas em função dos levantamentos geofísicos corresponderem a períodos diferentes, mas também devido tais dados pertencerem a instituições distintas (Universidade Federal do Espírito Santo e Centro de Hidrografia da Marinha) com diferentes propósitos.

Assim, o levantamento do sonar de varredura lateral abrangeu uma área maior correspondendo desde a Baía de Vitória até o Canal do Porto de Vitória. Enquanto que o levantamento batimétrico correspondeu apenas à região do Canal do Porto de Vitória.

Embora tenham ocorrido alguns problemas no processamento do grid batimétrico em função de rugosidades na batimetria, isto não alterou e nem prejudicou a interpretação dos dados batimétricos resultando numa topografia irregular relacionada à presença de rochas e feições de arrasto no Canal do Porto de Vitória.

No mosaico sonográfico, os dados apresentavam-se em boa qualidade e foi possível verificar além da presença de rochas, uma possível embarcação no fundo, as feições de arrasto devido às constantes dragagens na região, além de uma heterogeneidade no fundo marinho correspondendo às variações sedimentares na região da Baía de Vitória e no Canal do Porto de Vitória que puderam ser confirmadas com a associação das amostras de fundo.

Verificou-se também a presença de dunas subaquosas na região da saída do Canal do Porto de Vitória, evidenciando claramente o que foi visto na teoria quanto ao sistema

estuarino da Baía de Vitória ser um sistema dominado por maré. Devido a tal fato, a energia da corrente de maré excede a energia de corrente de ondas na zona externa do estuário e acaba por desenvolver barreiras de areia nesta área.

A partir das amostras de fundo foi possível garantir a acurácia dos dados mostrando que o fundo marinho é heterogêneo e os seus diversos padrões de intensidade do sinal acústico são devidos a diversidade de sedimentação encontrada nesta região, onde cada tipo de sedimento com suas características granulométricas correspondem a um distinto padrão de intensidade de reflexão do sinal acústico do sonar.

Portanto, os resultados encontrados neste trabalho foram bastante satisfatórios e puderam de uma forma geral, concluir o objetivo inicial que era abordar tais métodos acústicos focando na interpretação e na caracterização de morfologias da superfície de fundo, no entanto sempre analisando os mecanismos de funcionamento destes métodos geofísicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASTOS, A.C., QUARESMA, V.S., DALMASCHIO, R.G., CARMO, D.A., SOUZA, P.M., LIMA, B. & POZZI, F. 2007. **Dinâmica Sedimentar e Morfologia de Fundo do Sistema Estuarino de Vitória, ES.** In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. 1: 2007, Belém. Anais... Belém: ABEQUA, 2007. CD-ROM

BLONDEL, P. & MURTON, B.J., 1997. **Handbook of Seafloor Sonar Imagery.** John Wiley & Sons Ltd. 314 pp.

D'AGOSTINI, D.P. 2005. **Fácies Sedimentares associadas ao sistema estuarino da Baía de Vitória (ES).** Publicado na Internet e disponível em: <http://www.dern.ufes.br/oceano/link/monografias/2005/monog9_2005.pdf>. Acesso em: 15 de março de 2010.

DALRYMPLE, R. W.; ZAITLIN, B.A.; BOYD, R. 1992. **Estuarine facies models: Conceptual basis and stratigraphic implications.** Journal of Sedimentary Petrology, 62. 1130 – 1146.

DOMINGUEZ, J. M. L., MARTIN, L., BITTENCOURT, A. C. S. 2000. **A Costa do Descobrimento (Porto Seguro-Cabrália, BA).** In: Schobbenhaus, C.; Campos, D. A.;

QUEIROZ, E. T., WINGE, M., BERBERT-BORN, M. (Edit.) **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil.** Publicado na Internet e disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio071/sitio071>>. Acesso em: 16 de março de 2010.

FAIRBRIDGE, R. W., 1966. **The Encyclopedia of Oceanography.** New York: Reinhold Publishing, p. 823.

FAIRBRIDGE, R. W., 1980. **The estuary: its definition and geodynamic cycle.** In: Olausson, E., and Cato, I. (eds.), Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries. Pp. 1-36.

FISH, J. P & CARR, H. A., 1990. **Sound Underwater Images**. American Underwater Search and Survey, Ltd.

FOLK, R.L. & WARD, W.C., 1957. **Brazos River Bar: a study in the significance of grain size parameters**. Journal of Sedimentary Research, 27 (1): 3-26.

GARRISON, T., 2006. **Oceanography: An Invitation to Marine Science**. (6 Ed.): 95-105.

GOLF, J.A.; H.C. Olson & C.S. Duncan. **Correlation of side-scan backscatter intensity with grainsize distribution on shelf sediments, New Jersey margin**. Geo-Mar. Lett., 20: 43-49.

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

KONGSBERG-SIMRAD. 2004. **EA-400 – Single Beam Hydrographic Echo Sounder**. Operator Manual. Version 2.1.1.0. Horten, Norway, Kongsberg. 195p.

MARTIN, L., BITTENCOURT, A.C.S.P., VILAS BOAS, G.S. 1982. **Primeira ocorrência de corais pleistocênicos da costa brasileira: datação do máximo da Penúltima Transgressão**. Revista Ciências da Terra (1982), 3: 16-17.

MARTIN, L., SUGUIO, K., FLEXOR, J.M. 1988. **Haut niveaux marins pleistocene du littoral bresilien**. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology (1988), 68:231-239.

MAZEL, C. 1985. **Side Scan Sonar training manual**. New York, Klein Associates. Inc. Undersea Search and Survey. 144p.

MURRAY, J. & RENARD, A.F., 1891. **Report on the Scientific Results of the Voyage of the H.M.S. Challenger During the Years 1873-1876**. Report on Deep-Sea Deposits, London: H.M.S.O.

NUNES, A.L. 2005. **Modelo histórico das alterações fisiográficas recentes da Baía de Vitória (ES) e áreas adjacente, com o uso de sistema de informações geográficas**. Monografia de graduação, Programa de Graduação em Oceanografia, UFES, Vitória. 81 p.

PAIVA, D. S. **Mapa faciológico dos sedimentos de fundo do Canal da Passagem e trecho da Baía de Vitória – ES.** 1999. Monografia (Especialização em Ecologia e Recursos Naturais) - Curso de especialização “Latu Sensu” em Ecologia e Recursos Naturais do Departamento de Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

PASSOS, M.M. 2008. **Evolução Sedimentar holocênica da Baía de Vitória-ES:** uma visão sismo-estratigráfica. Publicado na Internet e disponível em: <http://www.prh29.ufes.br/downloads/PGs%202008.2/PG_Mayara%20-%20PG.pdf>. Acesso em: 15 de março de 2010.

SAWARN, S.J; THOROGOOD, J.L. **A compendium of directional calculations base don the minimum curvature method.** Society of Petroleum Engineers Drilling & Completion. 2005.

SOUZA, L.A.P. 1988. **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. Belém, PA, 6 a 13 de novembro de 1988. Anais, 4: 1551-1564.

SOUZA, L.A.P. 2006. **Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasa.** Tese de Doutorado, Programa de Doutorado em Oceanografia Química e Geológica, USP, São Paulo, 311 p.

SUGUIO, K. 2003. **Geologia Sedimentar.** Editora Edgard Blucher Ltda, 400 p.

TELFORD, W.M.; L.P. GELDART; R.E. SHERIFF e D.A. KEYS. 1990. **Applied geophysics.** First Edition. Cambridge. University Press. 860p.

URICK, R.J. 1983. **Principles of underwater sound.** New York, McGraw-Hill Book Company, 423p.

USACE – U.S. Army Corps of Engineers. 2004. **Engineering and Design Hydrographic Surveying.** Manual no. 1110-2-1003. 340p. Disponível em: <<http://www.usace.army.mil/inet/usace-docs/eng-manuals/>>

VERONEZ, JR P. 2009. **Ecofácies e faciologia dos sedimentos de fundo da Baía de Vitória – ES.** Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Ambiental, DOC, UFES, Vitória. 115 p.

VERONEZ, JR P., BASTOS, A.C., PIZZIN, B.F., DALMASCHIO, R.G., QUARESMA, V.S. & GUIZAN, C.S. 2009. **Sonar de varredura lateral e sísmica de alta resolução aplicados no estudo de ecofácies na Baía de Vitória – ES.** Revista Brasileira de Geofísica, Vol. 27, Número 3: 411-425 p.

WEVER F. T; H.M. FIEDLER; G. FECHNER; F. ABEGG & I.H. STENDER. 1997. **Side-scan and acoustic subbottom characterization of the sea floor near the Dry Tortugas, Florida.** 1997. Geo-Mar. Lett., 17:246-252.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

EDGETECH. *Side Scan Sonar System: 4100*

Disponível em: < www.lamma.ufrj.br/spo/smcos/projetos/baia-espirito-santo/baia_espirito_santo.htm > Acesso em 14 de junho de 2010.

Disponível em: < www.via6.com/topico.php?tid=138904> Acesso em 14 de junho de 2010.

Disponível em: < www.mos.org/oceans/scientist/underwater.html > Acesso em 16 de junho de 2010.

Disponível em: < geoinfo.amu.edu.pl/wpk/geos/GEO_12/GEO_CHAPTER_12.HTML > Acesso em 16 de junho de 2010.

Disponível em: < www.wreckhunter.net/images/vineyardlight2.jpg > Acesso em 22 de junho de 2010.

Disponível em: < woodshole.er.usgs.gov/operations/sfmapping/bathyhist.htm > Acesso em 24 de junho de 2010.