



MARINHA DO BRASIL

CENTRO DE INSTRUÇÃO E ADESTRAMENTO ALMIRANTE RADLER DE AQUINO

CURSO DE APERFEIÇOAMENTO EM HIDROGRAFIA PARA OFICIAIS

FRANCISCO DE ASSIS DOS SANTOS FILHO

ANÁLISE DO SINAL DE RETROESPALHAMENTO DO ECOBATÍMETRO
MULTIFEIXE E A SUA RELAÇÃO COM O FUNDO MARINHO

NITERÓI, RJ

2023

FRANCISCO DE ASSIS DOS SANTOS FILHO

ANÁLISE DO SINAL DE RETROESPALHAMENTO DO ECOBATÍMETRO
MULTIFEIXE E A SUA RELAÇÃO COM O FUNDO MARINHO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao corpo docente e técnico do Centro de Instrução e Adestramento Almirante Radler de Aquino da Marinha do Brasil (CIAARA/MB), como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Oficial Hidrógrafo.

Orientador: Helber Carvalho Macedo.

Filho, Francisco de Assis dos Santos.

Análise do sinal de retroespalhamento do ecobatímetro multifeixe e a sua relação com o fundo marinho / Francisco de Assis dos Santos Filho – Rio de Janeiro: MB/CIAARA, 2023.

xxii, 61 f.: il.; 29,7 cm.

Orientador: CMG (RM1) Helber Carvalho Macedo.

Monografia – MB/CIAARA Curso de Aperfeiçoamento em Hidrografia para Oficiais, 2021.

Referências Bibliográficas: p. 59-61.

1. Backscatter. 2. Ecobatímetro. 3. Multifeixe. 4. Software. 5. Sedimento. 6. Fundo Oceânico.

I. Macedo, Helber Carvalho., et al. II. Centro de Instrução e Adestramento Almirante Radler de Aquino, CIAARA, Curso de Aperfeiçoamento em Hidrografia para Oficiais.

ANÁLISE DO SINAL DE RETROESPALHAMENTO DO ECOBATÍMETRO
MULTIFEIXE E A SUA RELAÇÃO COM O FUNDO MARINHO

Francisco de Assis dos Santos Filho

MONOGRAFIA SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE E TÉCNICO DO CENTRO DE INSTRUÇÃO E ADESTRAMENTO ALMIRANTE RADLER DE AQUINO DA MARINHA DO BRASIL (CIAARA/MB) COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE OFICIAL HIDRÓGRAFO.

Examinada por:

Helber Carvalho Macedo
Capitão de Mar e Guerra (RM1)

Ivan Bodra Guimarães
Capitão de Corveta

Vitor Bravo Pimentel
Capitão de Corveta

NITERÓI, RJ BRASIL
OUTUBRO DE 2023

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, minha profunda gratidão à Deus, por me guiar e dar força durante todo este percurso acadêmico. Sua orientação divina me ajudou a superar os desafios e alcançar este marco importante em minha vida.

Ao meu dedicado orientador, cuja sabedoria, apoio e conselhos foram fundamentais para o sucesso deste trabalho. Suas valiosas contribuições e esclarecimentos nortearam meu trabalho de maneira significativa.

À minha família, pelo amor incondicional, apoio constante, sacrifícios incansáveis e compartilhamento de alegrias e tristezas ao longo desta jornada acadêmica.

Aos meus amigos, que estiveram ao meu lado em cada desafio e me motivaram a continuar avançando. Sua amizade é um tesouro inestimável.

Aos instrutores que compartilharam seu conhecimento e experiência, moldando meu crescimento acadêmico. Suas lições e experiências enriqueceram minha jornada educacional.

Por fim, aos militares do Centro de Instrução e Adestramento Almirante Radler de Aquino por fornecer o ambiente de aprendizado e recursos que foram basilares para minha formação e crescimento profissional.

A todos, minha profunda gratidão. Este trabalho de conclusão de curso é uma realização compartilhada, e sua influência em minha jornada acadêmica e pessoal é imensurável.

ANÁLISE DO SINAL DE RETROESPALHAMENTO DO ECOBATÍMETRO MULTIFEIXE E A SUA RELAÇÃO COM O FUNDO MARINHO

Francisco de Assis dos Santos Filho

Outubro/2023

Orientador: Helber Carvalho Macedo

Programa: Curso de Aperfeiçoamento em Hidrografia

Resumo: O processamento do sinal de backscatter está relacionado à área que auxilia o estudo do fundo marinho, de forma que, ao ser utilizado o ecobatímetro multifeixe, é possível aprimorar a qualidade da aquisição de dados do leito oceânico, em virtude da simultaneidade entre a batimetria e obtenção do sinal de retorno; além de permitir a identificação dos materiais que compõem esse fundo. Esse estudo apresenta informações gerais sobre a elaboração de mosaicos de caracterização do fundo, comparando o desempenho dos softwares SonarWiz Bathymetry, HYSWEEP, Qimera, CARIS HIPS & SIPS e Fledermaus. No que diz respeito ao retroespalhamento, observou-se que depende diretamente das propriedades dos sedimentos, incluindo aquelas relacionadas à interface entre a água e o fundo (termos de impedância e rugosidade) e ao subfundo (termos de heterogeneidade volumétrica). Cada propriedade apresenta maior relevância dependendo do ângulo de ensonificação e da frequência utilizada pelo equipamento. Sendo assim, os benefícios fornecidos pela análise sedimentar favorecem as áreas relacionadas à segurança da navegação, militar, comercial e científica, permitindo otimizar recursos e aprimorar técnicas de processamento. Há aprimoramentos que podem ser realizados também na calibração de equipamentos de aquisição (envolvendo estudos práticos para o estabelecimento de parâmetros) e desenvolvimento de softwares (o que envolve a participação das empresas fornecedoras).

Palavras-chave: Retroespalhamento. Ecobatímetro. Multifeixe. Software. Sedimento. Fundo Oceânico.

ANALYSIS OF THE BACKSCATTER SIGNAL FROM MULTIBEAM ECHO SOUNDER AND ITS RELATIONSHIP WITH THE SEAFLOOR

Francisco de Assis dos Santos Filho

October/2023

Advisor: Helber Carvalho Macedo

Department: Advanced Course on Hydrography for Officers

Abstract: The backscatter signal processing is related to an area that aids in the study of the ocean floor. When a multibeam echo sounder is used to process this signal, it becomes possible to enhance the quality of ocean floor data acquisition due to the simultaneous collection of bathymetry and return signal data. Furthermore, it allows the identification of seabed material composition. This study provides general information about creating seabed characterization mosaics and compares the performance of software packages such as SonarWiz Bathymetry, HYSWEEP, Qimera, CARIS HIPS & SIPS, and Fledermaus. Concerning backscatter, it was observed that it depends directly on sediment properties, including those related to the water-seabed interface (impedance and roughness terms) and the sub-bottom (volumetric heterogeneity terms). Each property's significance varies depending on the angle of sound incidence and the frequency used by the equipment. Therefore, the benefits provided by sediment analysis are advantageous for military, commercial, and scientific applications, allowing for resource optimization and improved processing techniques. There are also opportunities for enhancements in equipment calibration (that involves practical studies to establish parameters) and software development (which requires collaboration with equipment suppliers).

Keywords: Backscatter. Echo Sounder. Multibeam. Software. Sediment. Seafloor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ecobatímetro monofeixe (a); ecobatímetro multifeixe (b); sonar de varredura lateral (c).....	11
Figura 2 - Exemplos de identificação de tipo de fundo utilizando o sinal de backscatter....	12
Figura 3 - Representação atenuação da intensidade por espalhamento esférico.....	18
Figura 4 - Geometria do sonar multifeixe.....	19
Figura 5 - Diagrama de blocos com os principais componentes do Sistema Multifeixe.....	21
Figura 6 - Padrão de pulsos do Tx, Rx e a da interseção entre eles.....	22
Figura 7 - Padrão do feixe de um array com diversos elementos.....	23
Figura 8 - Comparação entre dados coletados por ecobatímetros monofeixe e multifeixe..	24
Figura 9 - Padrão de classificação de tipos de sedimento segundo Udden-Wentworth.....	26
Figura 10 - Representação do ângulo de incidência.....	28
Figura 11 - Representação do sinal de backscatter.....	28
Figura 12 - Medição da intensidade do backscattering: “I _t ” representa a intensidade de transmissão, “R” a distância de propagação, o ângulo de incidência, “A” a área ensonificada e “I _r ” a intensidade de recepção.....	29
Figura 13 - Parâmetros de processamento do backscatter. RL: Intensidade do eco recebido; SL: Intensidade de transmissão da fonte; DT: Diretividade; TL: Perdas na transmissão; A: área ensonificada; BS: backscattering; Padrão de diretividade do receptor; SH: Sensibilidade do receptor; GR: ganho na recepção; A/D: Conversor analógico/digital.....	31
Figura 14 - Influência da rugosidade no retroespalhamento.....	32
Figura 15 - Modelo de retroespalhamento acústico para diferentes tipos de fundo, usando sonar de 30 KHz.....	33
Figura 16 - Casos de dependência angular do backscatter: fundo liso com forte componente nadiral e redução de intensidade nos ângulos oblíquos (Figuras à esquerda). Tal efeito é observado em frequências menores. Em fundos duros, a variação de intensidade e frequência possui menos influência (Figuras à direita).....	34
Figura 17 - Relação entre a intensidade do sinal de <i>backscatter</i> e as dimensões dos sedimentos.....	35
Figura 18 - Mosaicos de linhas adjacentes com decisão do melhor pixel a ser utilizado....	37

Figura 19 - Fluxo de processamento do <i>backscatter</i> no Mosaic Editor para dados de varredura lateral e multifeixe. Após o processamento dos dados de retroespalhamento multifeixe, são gerados GeoBaRs e arquivos de análise de sedimentos para que sejam gerados os mosaicos e feita análise de sedimentos..	42
Figura 20 - Imagem de backscatter de várias embarcações utilizando o mesmo modelo de multifeixe.....	51
Figura 21 - Mosaico de dados de backscatter obtidos com o uso de diferentes ecobatímetros multifeixe.....	51
Figura 22 - Etapas intermediárias de computação dos dados de <i>backscatter</i> (BL0, BL1, BL2, BL3).....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação entre as características de cada software.....	45
Tabela 2 - Comparação entre as informações de processamento de cada software.....	46
Tabela 3 - Comparação entre as informações de registro de dados de cada software.....	47
Tabela 4 - Comparação entre softwares com relação à geração do arquivo final.....	48

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	12
1.1. Histórico.....	12
2. OBJETIVOS.....	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1. Evolução do emprego de equipamentos de acústica submarina.....	15
3.2. Propagação da onda sonora na água.....	17
3.3. Princípios do Sonar.....	17
3.3.1. O Decibel.....	17
3.3.2. Equação Sonar.....	18
3.3.3. Perdas no meio.....	18
3.4. Ecobatímetro multifeixe.....	19
3.4.1. Princípios de batimetria multifeixe.....	19
3.4.2. Princípio de Funcionamento.....	21
3.4.3. Formação do feixe (beam forming).....	22
3.4.4. Diretividade.....	23
3.4.5. Vantagens e desvantagens.....	24
3.5. Propriedades dos sedimentos que compõem o fundo marinho.....	25
3.5.1. Propriedades Físicas.....	26
3.5.2. Propriedades Geoacústicas.....	27
3.6. Backscatter.....	29
3.6.1. Como é adquirido.....	30
3.6.2. Influência das propriedades dos sedimentos no cálculo do backscatter.....	32
3.6.3. O que se pode extrair.....	37
3.7. Aplicações da interpretação dos dados de backscatter.....	38
3.7.1. Guerra de minas - identificação de minas.....	38
3.7.2. Aprimoramento de cartas náuticas.....	39
3.7.3. Área ambiental.....	40
3.8. Softwares de processamento.....	41

3.9. Aprimoramentos.....	51
3.9.1. Calibração.....	52
3.9.2. Aprimoramentos de software de processamento.....	54
4. DISCUSSÃO.....	55
5. CONCLUSÃO.....	58
6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS.....	59

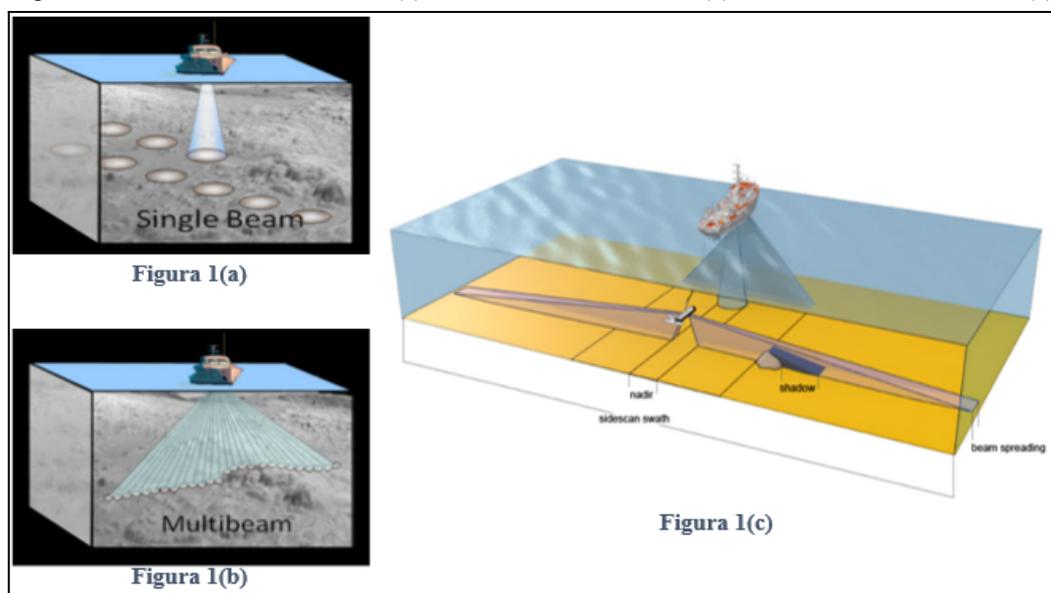
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

1.1. Histórico

O estudo do leito oceânico é um ramo da geologia marinha que atrai a atenção do homem há muitos anos, sendo iniciada por meio de métodos diretos que abrangem a análise de amostras coletadas do fundo. Com o avanço da tecnologia, foi possível desenvolver esses equipamentos que operam por métodos indiretos e utilizam princípios de acústica submarina para obtenção de informações do fundo marinho de modo remoto. Estes equipamentos são aprimorados constantemente, proporcionando maior velocidade e qualidade na aquisição de dados, bem como a possibilidade de pesquisa em áreas mais abrangentes, podendo influenciar as áreas relacionadas à segurança da navegação, da biologia, geologia marinha, comercial e militar. (LURTON; LAMARCHE, 2015)

No que diz respeito à batimetria, podem ser citados os seguintes equipamentos: sonares monofeixe, sonares multifeixe, sonar de varredura lateral (*side scan*), sistema de varredura a laser 3D, sonar de identificação de dupla frequência, sonar de abertura sintética (SAS) e sonar panorâmico 3D (ZIYIN et al., 2021) (Os três primeiros citados podem ser visualizados na Figura 1).

Figura 1 - Ecobatímetro monofeixe (a); ecobatímetro multifeixe (b); sonar de varredura lateral (c).



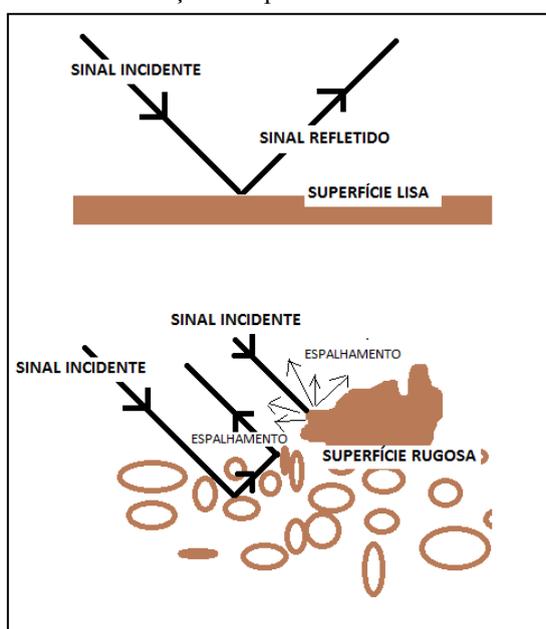
Fontes: Disponível em: <<https://encurtador.com.br/LNPS6>>; <<https://encurtador.com.br/AEIO6>>. Acesso em: 13/03/2023.

Com relação ao processamento de dados, esses equipamentos têm por propósito inicial a medição de profundidade e topografia do fundo marinho, gerando imagens

bidimensionais ou tridimensionais. Essa atividade contribui para a construção de cartas náuticas, definindo perigos submersos e áreas seguras à navegação.

Além disso, o sinal transmitido pelos sonares pode ser empregado na análise do sinal de retroespalhamento (*backscattering*). Esse sinal representa a parcela do pulso acústico que interage com o fundo marinho, no que diz respeito à sua intensidade, podendo fornecer valiosas informações sobre o tipo de fundo (viscosidade, granulometria, composição física e química), como exemplificado na Figura 2. De forma adicional, auxilia na detecção da presença de recursos minerais, avaliação de segurança em manobras de fundeio e características que podem auxiliar na guerra antissubmarino e guerra de minas (LURTON et al., 2002).

Figura 2 - Exemplos de identificação de tipo de fundo utilizando o sinal de *backscatter*.



Fonte: Disponível em: < <https://www.saltambiental.com.br/geofisica/imageamento/> >. Acesso em: 13/03/2023.

Lurton e Lamarche (2015) citam que apesar do avanço significativo na tecnologia representado pela simultaneidade na aquisição das informações de batimetria e backscatter, ainda é adotada a consideração de um fundo liso para que possa ser mensurada a intensidade de retorno. Além disso, para reduzir as incertezas, são comparados os resultados com a análise de amostras físicas do local, juntamente com relatos anteriores que contém informações obtidas por sistemas antigos, mas que ainda podem ser utilizadas.

No que diz respeito à aquisição de dados do sinal de *backscattering*, também é possível expandir a sua aplicação para a geologia marinha, gerando informações sobre as características do fundo do mar, como a composição dos sedimentos, a presença de rochas

e estruturas geológicas, a topografia do fundo, bem como a presença e distribuição de organismos vivos.

A engenharia subaquática usufrui das vantagens do *backscattering* por ocasião da construção de estruturas offshore, como plataformas de petróleo e parques eólicos. Esses dados são utilizados para avaliar a estabilidade do fundo do mar e a presença de estruturas geológicas que podem afetar a segurança e a viabilidade das estruturas construídas. (LURTON *et al.*, 2015)

No que tange à área militar, são desenvolvidos estudos voltados para o emprego do sinal de backscatter na identificação de objetos no fundo, principalmente minas submarinas, auxiliando a guerra antissubmarino.

Ao ser cogitada a utilização dos conhecimentos contidos nas instruções dos equipamentos acerca dos procedimentos de processamento e aquisição do backscatter, os resultados eram mínimos e insuficientes para serem utilizados em análise qualitativa e objetiva. Logo, a análise do sinal de backscatter envolve fatores compostos por pequenos detalhes e exigem um software sofisticado para uma interpretação adequada. (LURTON e LAMARCHE, 2015)

Dadas as dificuldades para a interpretação dos dados de backscatter, desenvolver um software para o processamento de dados envolve a análise fatores que podem ser interpretados de diferentes formas, o que gera inconsistências ao serem comparados os resultados adquiridos em softwares diferentes. Logo, ressalta-se a importância da escolha do software para a atividade que se deseja realizar, devendo ter atenção a critérios como precisão, transparência, consistência, facilidade de uso, preço, adequação às necessidades específicas de processamento, requisitos de recursos de computação e compatibilidade com outras ferramentas usadas por uma organização e parceiros do projeto. (FONSECA e CALDER, 2005)

De acordo com Lurton e Lamarche (2015), ao ser observada a evolução das pesquisas no que tange o desenvolvimento de softwares de processamento do sinal de backscatter, observa-se a necessidade da integração de informações para que sejam comparadas as informações e analisado, dentro de um mesmo aspecto, o que deve ser corrigido para se obter um produto de melhor qualidade.

Lurton e Lamarche (2015) também citam que deve-se atentar às questões de fabricação, interação entre fabricantes e usuários, configurações do sistema e níveis de incerteza aceitos. Dessa forma, é possível padronizar as noções fundamentais dentro de

cada estágio de elaboração para a criação de softwares, fornecer recomendações aos fabricantes, aprimorar os softwares (atendendo às demandas técnicas), cumprir com as demandas dos usuários e proporcionar resultados precisos e confiáveis para as aplicações que dependem da análise de retroespalhamento.

Outro aspecto relevante que deve ser considerado é a calibração do sinal, dada a melhoria na qualidade do produto oferecido e a possibilidade de comparar dados obtidos por meio de diferentes tipos de ecobatímetros multifeixe.

Sendo assim, o propósito desse trabalho é analisar o sinal de *backscattering*, expondo de maneira aprofundada as características, permitindo otimizar a aplicação desse recurso em benefício das respectivas áreas de atuação. Isso posto, este estudo contribuirá para as atividades de segurança da navegação, produção de cartas náuticas, engenharia subaquática, bem como na aplicação de guerra de minas e guerra antissubmarino.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem o objetivo principal de analisar o sinal de *backscattering* do ecobatímetro multifeixe e a sua relação com o fundo marinho. Para atender a esta finalidade, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Identificar as características do sinal de *backscattering*;
- Identificar os principais fatores que caracterizam um sinal, apresentando a equação sonar, discriminando suas variáveis e como influenciam na análise do sinal;
- Correlacionar os diferentes tipos de sinais com os tipos de fundo marinho; e
- Apresentar os benefícios e aplicações de identificação do fundo marinho por métodos remotos.

De forma complementar, este estudo apresenta uma comparação dos softwares de processamento de sinal atualmente disponíveis no mercado, indicando aquele que demonstra um melhor desempenho. O resultado desta pesquisa auxiliará o Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), e as demais Organizações que compõem o Serviço Hidrográfico Brasileiro, na produção e divulgação das informações relacionadas à segurança da navegação e ao ambiente marinho.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Evolução do emprego de equipamentos de acústica submarina

O primeiro equipamento a ser utilizado com a finalidade de análise do *backscattering* foi o monofeixe, que obtinha dados da coluna d'água abaixo da embarcação. O aperfeiçoamento de estudos permitiu que sonares de varredura lateral

fossem usados na coleta de informações em áreas extensas; os dois equipamentos em conjunto realizavam uma aquisição mais abrangente do local a ser estudado. (OLIVEIRA JUNIOR, 2012)

Com relação ao *side scan*, o propósito primário do sonar era apenas para a batimetria. Posteriormente houve a necessidade de localizar e reproduzir imagens de objetos no fundo do mar (principalmente na Segunda Guerra Mundial), o que levou ao desenvolvimento dos sonares de varredura lateral (*side scan*). (LURTON e LAMARCHE, 2015)

Os primeiros registros eram descalibrados, o que dificultava a interpretação das características da natureza do fundo. Uma maneira eficiente de solucionar o problema era o uso de “gráficos de cinza” na identificação de objetos, inclusive de minas de fundeio (para sonares caça-minas), e a utilização de sombras no descobrimento de feições naturais. Essas atividades persistem até os dias atuais.

Posteriormente, passou a ser utilizado o sonar multifeixe (ou ecobatímetro multifeixe), baseado na emissão de pulsos sonoros para medir a profundidade e a topografia do leito oceânico. Essa emissão de múltiplos feixes de som ocorre em diferentes direções, que refletem no fundo do mar e retornam ao ecobatímetro como ecos. A partir desses ecos, o ecobatímetro pode calcular a distância do fundo e gerar uma imagem tridimensional do relevo submarino. Além disso, é possível produzir o sinal de *backscattering* (intensidade do eco) e a batimetria simultaneamente, fornecendo maior qualidade e confiabilidade na informação obtida. (OLIVEIRA JUNIOR, 2012). A transmissão do pulso pelo multifeixe continuava igual a do sonar *side scan*, sendo o diferencial a recepção, representada pelo retorno de vários feixes. (LURTON e LAMARCHE, 2015)

Os aprimoramentos na configuração dos transdutores que compõem os equipamentos e sua composição eletrônica influenciaram de forma relevante na velocidade de processamento dos sinais, nos sistemas de navegação, nos serviços de exposição gráfica, na resolução, no alcance e nos softwares de processamento, possibilitando o provisionamento de imagens de *backscatter* com melhor compensação de distorções geométricas e também de mosaicos de sonar (composição de imagens georreferenciadas do *backscatter*, normatizadas a um determinado ângulo). Com isso, as imagens acústicas passaram a oferecer dados mais condizentes com a realidade. (LURTON e LAMARCHE, 2015)

3.2. Propagação da onda sonora na água

De acordo com LURTON (2002), as ondas acústicas são originadas de perturbações mecânicas, as quais se propagam em uma certa distância. Para que haja a propagação é necessário um meio (água), que pode se estender por centenas de quilômetros e pode ser comprovada pela fórmula da velocidade de propagação, sendo “c” a velocidade, “E” a elasticidade e “ ρ ” a densidade da água do mar.

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (1)$$

A partir da fórmula acima é possível notar que a velocidade da água do mar varia entre 1500 m/s e 2000 m/s, dependendo da densidade da água (aproximadamente 1030 kg/m³) e da elasticidade, demonstrando por meio da variação de densidade, que a água é um meio menos compressível que o ar, e onde a onda acústica no mar é mais veloz. Além das variáveis acima, pressão (p), temperatura (T) e salinidade (S) também influenciam na propagação da onda acústica na água, sendo a temperatura o fator mais influente, de acordo com a equação de Mackenzie (TALLEY et al, 2011).

$$c = 1448,96 + 4,59T - 0,053T^2 + 1,34(S - 35) + 0,016p \quad (2)$$

Dado que a velocidade da onda na água pode ser representada pelo produto do seu comprimento de onda pela frequência, LURTON (2002) considera importante a análise dos seguintes fatores para que seja realizada uma transmissão ideal:

- O amortecimento das ondas acústicas e a frequência na água irão limitar a distância desejada;
- O tamanho da fonte emissora é aumentado conforme a frequência diminui, aumentando o alcance;
- A seletividade espacial relacionada com a diretividade, sendo que quanto maior a frequência maior a diretividade; e
- A resposta acústica do alvo, que também depende da frequência, refletindo menos energia quanto maior for a frequência.

3.3. Princípios do Sonar

3.3.1. O Decibel

Segundo LURTON et al. (2015), o decibel (dB) é uma unidade utilizada em acústica que segue uma escala logarítmica que representa melhor a dinâmica de uma onda sonora. Ele pode ser escrito da seguinte maneira para o nível de intensidade:

$$IL = 10 \left[\frac{I}{I_{ref}} \right]; (I_{ref} = 6.7 \times 10^{-19} \text{ W/m}^2) \quad (3)$$

É importante ressaltar que a referência (I_{ref}) deve ser fornecida.

3.3.2. Equação Sonar

LURTON et al. (2015) cita que dado que o pulso sonoro é influenciado por diversos fatores, foi desenvolvida uma equação que analisa separadamente a influência de cada fator, bem como a performance do sistema sonar. Os principais fatores são a transmissão, propagação, interação do alvo, ruído e processamento, entretanto o número de fatores depende do meio em que a onda atua.

De acordo com Ziyin et al. (2021), o processamento da onda acústica em geral é feito desde a transmissão até a recepção, constituindo a equação sonar, que será utilizada para definir os parâmetros de operação do sonar e retornar valores que representam os sedimentos do leito oceânico.

Segundo INSTRUMENTS (2000), a partir das variáveis: *Signal Excess* (SE), que representa a intensidade do sinal de retorno; *Transmission Loss* (TL), que são as perdas; *Backscattering Strength* (BS); *Target Area* (TA); *Noise Level* (NL); e *Source Level* (SL), que mensura a quantidade de energia acústica posta pelo transdutor, a equação sonar pode ser representada da seguinte forma, em decibéis:

$$SE = SL - 2TL + BS - NL + TA \quad (4)$$

A equação sonar pode ser organizada e evidenciar o termo a ser estudado, auxiliando, no trabalho em questão, a caracterizar o sinal de backscatter e seu comportamento no ecobatímetro multifeixe em conjunto com os demais termos, como será exposto no item 3.6.1.

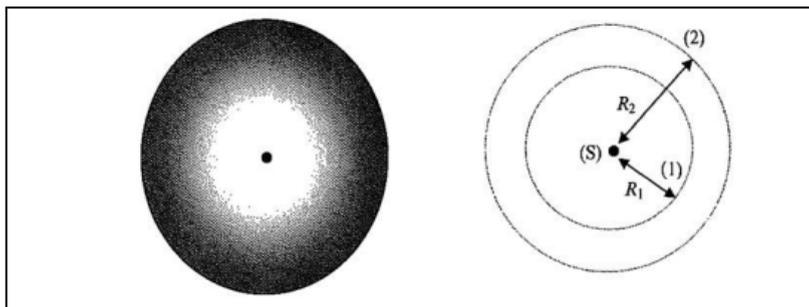
3.3.3. Perdas no meio

Sendo a velocidade de propagação da onda definida pelo produto entre comprimento de onda e frequência, são estudados diversos modos de propagação baseados na variação de dois fatores: frequência e comprimento de onda, analisando as perdas de intensidade e alcance, sendo o segundo fator influenciado pelo primeiro, que, segundo LURTON (2002), é resultado da atenuação causada principalmente pelo espelhamento esférico e a absorção, além da reflexão e refração.

O espalhamento esférico ocorre em função da energia acústica se dissipar em escalas gradualmente maiores conforme a distância aumenta e em função da conservação

de energia a intensidade acaba por ser reduzida. A ilustração do que foi descrito pode ser vista na Figura 3. (LURTON, 2002)

Figura 3 - Representação da atenuação da intensidade por espalhamento esférico.



Fonte: LURTON, 2002.

A atenuação é um fenômeno que dissipa a propagação absorvendo a energia transmitida da onda por meio da viscosidade e reações químicas. Com isso, a amplitude é reduzida em função da distância de modo exponencial. O resultado é expresso em dB/km. (LURTON, 2002)

Adicionalmente aos fatores que influenciam no fenômeno da atenuação, a profundidade, pressão e ruídos ambientais podem influenciar na qualidade dos dados adquiridos. (LURTON, 2002)

3.4. Ecobatímetro multifeixe

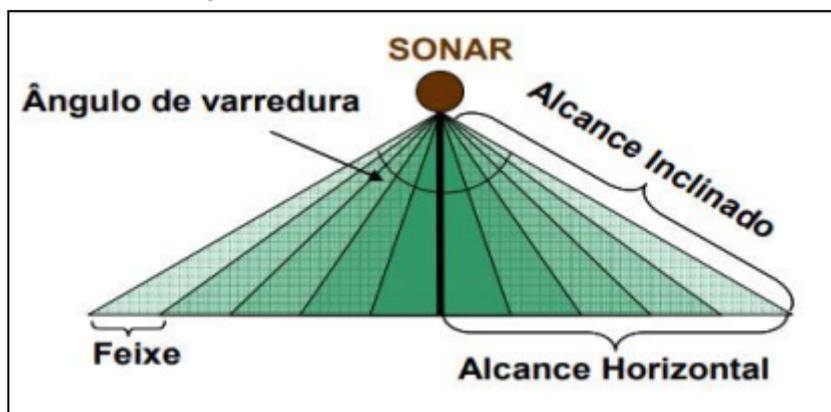
3.4.1. Princípios de batimetria multifeixe

Segundo LURTON (2002), diferentemente do ecobatímetro monofeixe que, como diz o próprio nome, opera com um feixe apenas, o ecobatímetro multifeixe opera com o retorno de múltiplos feixes com ângulos de abertura estreitos.

De acordo com Ziyin et al. (2021), é um equipamento composto de múltiplos sensores, aplicando princípios de reflexão acústica, scattering, e acústica interferométrica para produzir o dado batimétrico, sendo combinados com sons de alta densidade, feixes estreitos, técnicas avançadas de detecção do fundo marinho e métodos de correção da velocidade do som precisos. Consoante Ziyin et al. (2021), o ecobatímetro multifeixe é tipicamente utilizado para fins batimétricos e identificação da natureza do fundo marinho. Para realizar tal feito, o equipamento funciona por meio de um conjunto de projetores que emitem um pulso em formato de leque com uma frequência desejada e um ângulo de abertura de aproximadamente 1° com um ângulo transversal de 150° , conhecido como ângulo de varredura, que define o alcance lateral e varia com a profundidade (Figura 4). Além disso há um conjunto de hidrofones posicionados perpendicularmente aos projetores,

de modo que a faixa ensonificada pelos projetores intersecta a faixa de leito oceânico observada pelos hidrofones, obtendo vários feixes estreitos. A posição e profundidade podem ser calculadas usando o ângulo de incidência e o tempo de ida e volta de cada feixe.

Figura 4 - Geometria do sonar multifeixe.



Fonte: CONCEIÇÃO, 2009.

O ecobatímetro multifeixe faz uso de fundamentos como diretividade, ângulo de abertura, processo de formação dos feixes, supressão de lóbulo lateral, detecção do fundo, direção do feixe e compensação de movimento em tempo real. Segundo INSTRUMENTS (2000), este equipamento de grande complexidade possui diversas vantagens frente a outros equipamentos de acústica submarina, proporcionando o mapeamento do fundo marinho com riqueza de detalhes, abrangendo uma área extensa com maior velocidade de aquisição.

Lurton (2002) cita que, a partir de tantas variáveis que envolvem o equipamento, é possível desenvolver multifeixes voltados para águas profundas, águas rasas e obtenção de dados de alta resolução. Tais variações são obtidas com mudanças de frequência, quantidade de lóbulos, resolução do sinal e largura dos feixes.

As dimensões do transdutor e a largura do feixe também dependem da frequência utilizada. Para frequências menores é necessário que o transdutor tenha dimensões maiores. Para profundidades inferiores a 100 m as frequências utilizadas são superiores a 200 kHz, já para profundidades até 1500 m as frequências variam entre 50 e 200 kHz, enquanto para profundidades maiores que 1500m as frequências usadas estão entre 12 e 50 kHz (IHO, 2011).

A largura do pulso por sua vez determina a quantidade de energia transmitida na água. Considerando uma mesma potência, quanto maior a largura do pulso mais energia é transmitida para a água e maior será o alcance da onda sonora. (IHO, 2011).

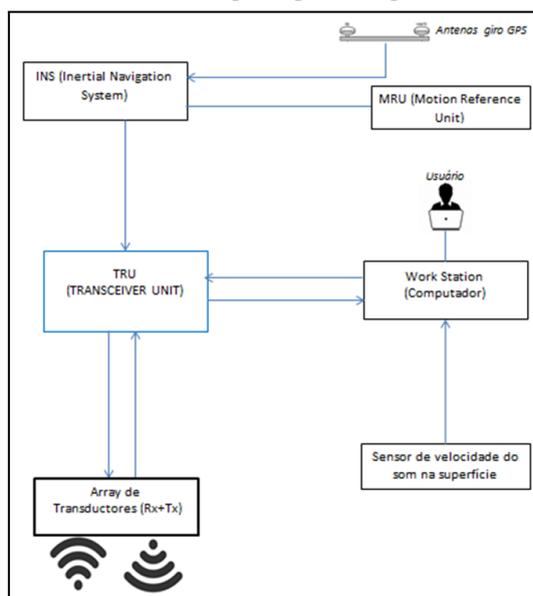
3.4.2. Princípio de Funcionamento

De modo geral o ecobatímetro é composto por: transmissor; receptor; registrador; transdutor; e comando de transmissão. O comando de transmissão envia pulsos ao transmissor em intervalos de tempo constantes, após receber este sinal o transmissor o envia ao transdutor como um pulso elétrico com potência elevada. O transdutor é o responsável por converter a energia elétrica em sonora (acústica), gerando a onda que será transmitida no meio líquido. Após ser refletida pelo fundo, e retornar como eco, a onda sonora impressiona o transdutor de recepção, que transforma a energia sonora em elétrica. Essa energia é enviada a um medidor de intervalo de tempo, que calcula o intervalo de tempo entre a emissão do pulso e a recepção do eco. Posteriormente, o intervalo de tempo é utilizado para calcular a profundidade, e o resultado é apresentado visualmente na *work station* (Figura 4) (Krueger, 2005).

Pode ser observado, também, na Figura 5, os equipamentos que compõem o multifeixe:

1. *MRU (Motion Reference Unit)* - sensor inercial para medir os movimentos de atitude do navio: de balanço (“*roll*”), caturro (“*pitch*”) e arfagem [RM1] (“*heave*”);
2. *INS (Inertial Navigation System)* - sistema inercial que tem a função de agregar os sinais provenientes da MRU, da giro GPS e do posicionador DGPS. Possui uma interface homem-máquina (*HMI – Human Machine Interface*) para permitir interação com o usuário;
3. Sensor de velocidade do som na superfície - afere a velocidade do som na base do transdutor, ou seja, a velocidade com que os feixes acústicos são transmitidos e recebidos pelo transdutor. A informação é enviada para o “*Work Station*” para permitir o processamento dos dados.

Figura 5 - Diagrama de blocos com os principais componentes do Sistema Multifeixe.



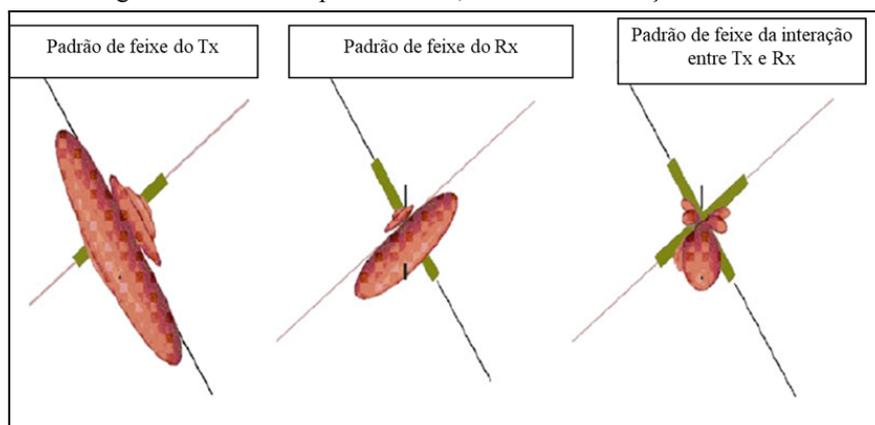
Fonte:

3.4.3. Formação do feixe (*beam forming*)

Sendo a batimetria do leito marinho realizada por meio de dois transdutores, um dedicado à transmissão (Tx) e outro à recepção (Rx), o Tx é orientado longitudinalmente em relação a proa da embarcação de sondagem, enquanto o Rx é orientado transversalmente (ZIYIN et al., 2021). Esse arranjo é denominado *Mills Cross*, onde os transdutores Rx e Tx se encontram em orientação perpendicular entre eles.

O pulso transmitido terá uma grande largura no sentido transversal ao transdutor, e uma largura reduzida no sentido longitudinal do Tx. De igual forma, a recepção dos pulsos no Rx terá uma largura maior no sentido transversal do Rx (longitudinal à embarcação), e menor no sentido longitudinal do Rx. Dessa forma, o pulso transmitido pelo Tx, interagindo com os pulsos recebidos pelo Rx, irá formar múltiplos feixes estreitos em pequenos intervalos de tempo, conforme pode ser observado na Figura 6. Os múltiplos feixes estreitos irão realizar uma cobertura lateral denominada "*swath*". (ZIYIN et al., 2021).

Figura 6 - Padrão de pulsos do Tx, Rx e a da interseção entre eles.



Fonte: ZIYIN *et al.*, 2021.

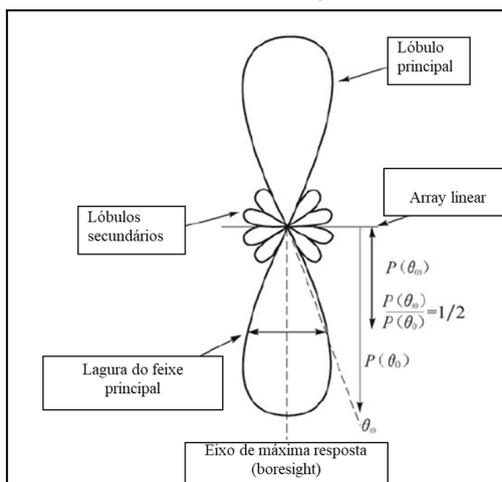
3.4.4. Diretividade

O princípio de funcionamento do sistema multifeixe tradicional é influenciado por fatores como ângulo de abertura, processo de formação dos feixes, supressão de lóbulo lateral, detecção do fundo, direção do feixe, compensação de movimento em tempo real e diretividade. (INSTRUMENTS, 2000)

Com relação à diretividade, quando um elemento do transdutor emite um pulso acústico na água, a energia é igual em todas as direções. Quando mais de um elemento é utilizado para emitir pulsos acústicos, o princípio de interferência e construção de ondas acústicas faz com que a amplitude dos pulsos emitidos não seja mais em formato esférico, e sim, em forma de lóbulos. (ZIYIN *et al.*, 2021).

Este padrão de feixe em lóbulos pode ser melhor compreendido na Figura 7, onde um conjunto linear de diversos elementos gera diversos lóbulos, sendo um deles o lóbulo principal, e os restantes, lóbulos secundários. O lóbulo principal é o que possui maior energia, devido ao padrão de interferência construtiva entre os pulsos emitidos pelos elementos. O ângulo entre o eixo de máxima resposta do lóbulo principal (*boresight*), e a região de metade da intensidade em relação a esse eixo de máxima é chamado de ângulo do feixe, determinando assim, a largura do feixe. Nesse sentido, verifica-se um decaimento de intensidade acústica de 3 dB entre o *boresight* e a região delimitada pelo ângulo do feixe. Entretanto, há a formação de lóbulos secundários, que são formados construtivamente, porém com menor energia. Estes são prejudiciais e indesejáveis para o sistema multifeixe, em função da interferência no eco do lóbulo principal, sendo considerados como regiões onde há perda de energia (ZIYIN *et al.*, 2021).

Figura 7 - Padrão do feixe de um array com diversos elementos.



Fonte: Ziyin et al. (2021).

Neste caso, a distribuição da energia acústica é claramente variável para diferentes ângulos, conforme observado na Figura 7, sendo essa diferença conhecida como diretividade da energia. Se a energia do projetor for distribuída ao longo de um feixe estreito, a diretividade do sistema é alta. O feixe padrão possui um lóbulo principal, onde está concentrada a maior parte da energia transmitida, e lóbulos secundários, onde a diretividade está relacionada com a disposição do arranjo de transdutores, que pode ser linear ou circular, e a quantidade de transdutores (ZIYIN et al, 2021; Conceição, 2009).

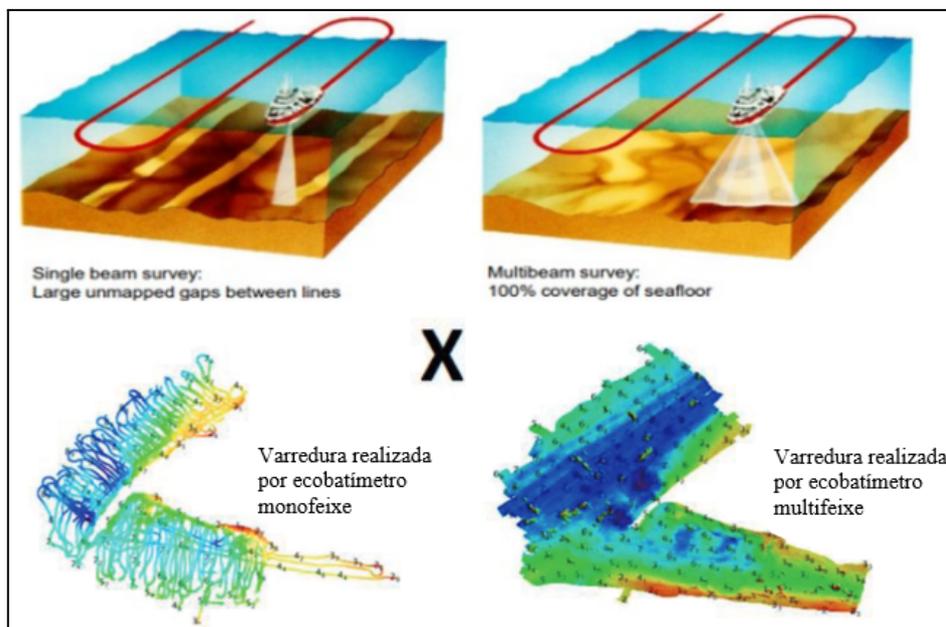
3.4.5. Vantagens e desvantagens

Em virtude da emissão de um pulso composto por diversos feixes que se propagam de maneira construtiva, a área de cobertura do equipamento tornou-se considerável, com isso a densidade de dados obtidas a partir dos ecobatímetros multifeixe possui um valor elevado, quando comparada aos dados de monofeixe. Outra característica que comprova essa vantagem, é a maior quantidade de perfis adquiridos com a emissão de um pulso (Figura 8), aumentando a confiabilidade dos dados. (LURTON e LAMARCHE, 2015)

Esses equipamentos fornecem também uma medição com alta precisão da espessura da coluna d'água, uma vez que são associados a sensores como a *MRU* e o *INS*, aumentando a acurácia da posição e da compensação dos movimentos da embarcação. (ZIYIN et al, 2021)

Com relação à velocidade de processamento dos dados, as vantagens estão na possibilidade de disponibilizar em tempo real, a geração do mapa topográfico da região levantada, e a simultaneidade na aquisição de dados batimétricos e de características do fundo. (LURTON e LAMARCHE, 2015)

Figura 8 - Comparação entre dados coletados por ecobatímetros monofeixe e multifeixe.



Fonte: Adaptado de Kongsberg (2014) e Matos et al. (2016)

Conforme Gagg (2016), os ecobatímetros multifeixe efetuam uma ampla quantidade de medidas de profundidade, com um mesmo “ping”, que é emitido por múltiplos feixes e são arranjados angularmente, de maneira a mapear áreas contíguas na direção perpendicular à navegação, propiciando levantar faixas extensas (variando com a profundidade) do fundo, atingindo elevada resolução da área sondada.

Segundo Gagg (2016), no contexto das desvantagens, é válido ressaltar que o ecobatímetro multifeixe possui um valor elevado, em face das quantidades de sensores e periféricos; bem como, possuir singular configuração da operação do equipamento.

Dessa forma, conclui-se que o equipamento possui uma grande complexidade em sua operação, o que exige pessoal capacitado para supervisionar as atividades de aquisição, processamento e análise de dados. Adicionalmente, entende-se por desvantagens a menor precisão dos feixes laterais; a incerteza nas informações de profundidade em áreas com muitos sedimentos em suspensão; e a maior sensibilidade aos movimentos do navio, o que exige a utilização de equipamentos compensadores adicionais, elevando o custo de operação.

3.5. Propriedades dos sedimentos que compõem o fundo marinho

O termo "sedimento do leito marinho", geralmente, se refere ao material da superfície do leito marinho com uma densidade maior do que $1,20 \text{ g/cm}^3$. Informações sobre a composição, características físicas/estruturais, e história evolutiva do material do

leito marinho, podem ser estudadas usando métodos como análise acústica, amostragem física e outras análises de teste. (ZIYIN et al., 2021)

De acordo com Oliveira Junior (2012), é relevante o estudo das propriedades físicas e geoacústicas, em conjunto, de modo que seja possível determinar relações compensadoras de influências que alterem o dado final analisado.

3.5.1. Propriedades Físicas

Os parâmetros sedimentares podem ser categorizados em dois grupos: parâmetros físicos e parâmetros geoacústicos. Parâmetros físicos incluem densidade do sedimento, porosidade, permeabilidade e outros (por exemplo, relacionados às dimensões das partículas de sedimento, fluidos porosos e espaço poroso). A composição do tamanho de partícula do sedimento do leito marinho é uma propriedade física importante, que não apenas reflete o mecanismo de formação e as características ambientais do sedimento do leito marinho, mas também estabelece sua relação com as características acústicas. Portanto, estudar a composição de partículas é um método relevante para a classificação do sedimento do leito marinho em levantamentos marinhos. (ZIYIN et al., 2021)

Atualmente, o método mais amplamente utilizado para a classificação do tipo de sedimento é o padrão de classificação Udden-Wentworth, que se baseia no tamanho equivalente de partícula (Figura 9). (ZIYIN et al., 2021)

Com base no tamanho das partículas, o sedimento pode ser dividido em cinco grupos principais: rocha, cascalho, areia, silte e argila (Figura 8). Assim, o sedimento do leito marinho é composto por variados tamanhos de partículas. Por exemplo, o silte, pode estar presente na areia, e vice-versa. (ZIYIN et al., 2021)

Figura 9 - Padrão de classificação de tipos de sedimento segundo Udden-Wentworth.

Particle type	Particle name		Particle size range		$\phi = (-\log_2 d)$		Code
	Simple taxonomy	Detailed taxonomy	Millimeter	Micrometer			
Rock (stone)	Rock (stone)	Rock (stone)	>256		256	-8	R
Gravel (G)	Coarse	Coarse	256-128		128	-7	GG
			128-64		64	-6	
	Middle	Middle	64-32		32	-5	MG
			32-16		16	-4	
			16-8		8	-3	
	Fine	Fine	8-4		4	-2	FG
4-2				2	-1		
Sand (S)	Coarse	Very coarse	2-1	2 000-1 000	1	0	VCS
		Coarse	1-0.5	1 000-500	1/2	1	CS
	Middle	Middle	0.5-0.25	500-250	1/4	2	MS
	Fine sand	Fine	0.25-0.125	250-125	1/8	3	FS
		Very fine	0.125-0.063	125-63	1/16	4	VFS
Silt (T)	Coarse	Coarse	0.063-0.032	63-32	1/32	5	CT
		Middle	0.032-0.016	32-16	1/64	6	MT
	Fine	Fine	0.016-0.008	16-8	1/128	7	FT
		Very fine	0.008-0.004	8-4	1/256	8	VFT
Clay (Y)	Clay	Coarse	0.004-0.002	4-2	1/512	9	CY
			0.002-0.001	2-1	1/1 024	10	
		Fine	<0.001	<1	1/2 048	>11	FY

Fonte: Wu (2021).

A densidade volumétrica do sedimento é definida como a massa do sedimento por unidade de volume. Devido à variação na composição mineral, volume de poros e conteúdo de água do sedimento, a densidade volumétrica do sedimento terrestre varia consideravelmente em condições naturais, geralmente variando na faixa de 1,60 a 2,20 g/cm³. No entanto, para o sedimento do leito marinho, a densidade volumétrica é relativamente menor devido ao alto teor de água. (ZIYIN et al., 2021)

Com relação ao teor de água do sedimento, ele é definido como a razão entre a massa de água e a massa das partículas sólidas no sedimento, sendo o primeiro termo expressado pelo volume efetivo de água e o segundo termo o volume do sedimento seco quando uma amostra de sedimento é seca até uma quantidade constante a uma determinada temperatura (105°C-110 °C). (ZIYIN et al., 2021)

3.5.2. Propriedades Geoacústicas

Segundo Wu (2021), os parâmetros geoacústicos incluem impedância acústica, velocidade e atenuação de ondas longitudinais e de cisalhamento no sedimento, velocidade do som, e rugosidade do leito marinho (elemento significativo para a maioria dos modelos de espalhamento acústico e modelos de transmissão acústica).

A rugosidade do leito marinho é o principal fator de influência na dispersão acústica de alta frequência. Ela pode causar reverberação acústica por meio do

espalhamento de retorno e alterar as características de propagação das ondas sonoras por meio do espalhamento direto. Em termos de rugosidade do leito marinho, os geólogos e geofísicos marinhos analisam, principalmente, as características de grande escala do leito marinho, enquanto os pesquisadores em acústica de alta frequência, investigam características de pequena escala, comparáveis ao comprimento de onda acústico. Características de rugosidade comparáveis com o comprimento de onda de uma onda sonora são consideradas a principal razão para o espalhamento acústico, mas em uma escala maior, podem causar uma alteração no ângulo de incidência entre uma onda sonora e o leito marinho. (ZIYIN et al., 2021)

Oliveira Junior (2012) cita que atreladas à impedância acústica, estão a razão de velocidade do som (entre a relativa ao sedimento e a da água nas mesmas temperaturas, salinidade e pressão) e o fator de atenuação, que descreve a influência da frequência do equipamento no valor final de atenuação. A partir da análise dessa propriedade, observa-se que ela está relacionada à temperatura, salinidade e pressão contidas nos poros dos sedimentos.

Uma propriedade citada por Lurton e Lamarche (2015) é a “aspereza acústica”, ela representa o sinal de retroespalhamento ao ser relacionada a aspereza geométrica com o comprimento de onda. Para ecosondas multifeixe, os comprimentos de onda variam de 12 cm (para sistemas de águas profundas de 12 kHz) a 0,5 cm (para 450 kHz usados em aplicações em águas costeiras).

Há também o ângulo de incidência, que de acordo com os princípios de reflexão e espalhamento no fundo, é definido pelo ângulo formado pela direção de incidência da onda acústica e a superfície, que equivale à variável θ_g , de acordo com a Figura 10. (LURTON e LAMARCHE, 2015)

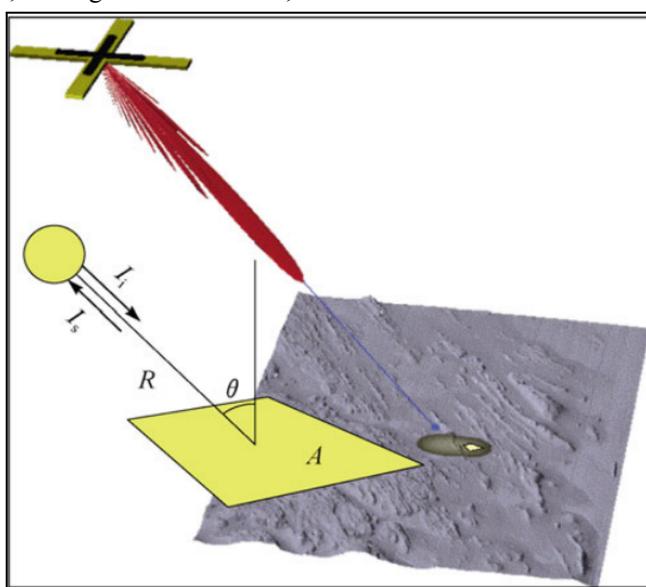
constantemente na evolução do estudo do sinal de backscatter. (LURTON e LAMARCHE, 2015)

3.6.1. Como é adquirido

Segundo Wu (2021), o *backscatter* é adquirido a partir do sinal de retorno enviado pelo ecobatímetro multifeixe, que terá um nível de intensidade correspondente ao tipo de fundo correspondente à área ensonificada pelo pulso, como demonstrado na Figura 12, onde I_s é representado pela equação:

$$I_s = I_i \frac{As(\theta)}{R^2} \quad (5)$$

Figura 12 - Medição da intensidade do backscattering: “ I_i ” representa a intensidade de transmissão, “ R ” a distância de propagação, θ o ângulo de incidência, “ A ” a área ensonificada e “ I_s ” a intensidade de recepção.



Fonte: ZIYIN et al. (2021).

Após manipulações algébricas, representa-se a intensidade de backscatter (BS) pela equação:

$$BS(\theta) = 10 \cdot \log_{10}(s(\theta)) \quad (6)$$

Com isso, observa-se que o sinal de retorno é uma função do ângulo de incidência e, ao ser definido um valor específico de frequência, é possível obter as propriedades do sedimento marinho no local, que é representada por uma combinação de processos geoaústicos e físicos atinentes à análise do sinal. (LURTON, LAMARCHE, 2015).

Com o intuito de captar apenas a informação atinente ao fundo marinho, o sinal de retorno precisa ser separado da parte relativa à transmissão, de modo a não afetar o processamento da refletividade. Outro fator importante a ser considerado é a distância do

equipamento ao fundo, dadas as perdas que o sinal sofre ao longo do meio de propagação. (LURTON, LAMARCHE, 2015)

Ao ser examinada a equação sonar, o termo referente ao backscatter se encontra de acordo com a equação (1):

$$EL = SL - 2TL + TS \quad (7)$$

Onde:

(EL-echo level) = intensidade de sinal recebido;

(SL-source level) = intensidade de sinal transmitido;

(2TL-transmission loss) = perdas de propagação na coluna d'água; e

(TS-target strength) = intensidade do alvo.

*A intensidade de BS é derivada de TS

Segundo Wu (2021), o termo SL normalmente é definido pelo fornecedor do equipamento, sendo reproduzido em decibéis, pela razão entre a intensidade do transmissor a 1 metro de distância e uma intensidade de referência, variando o seu alcance de acordo com a diretividade do transmissor, que indica o nível de aglutinação da energia.

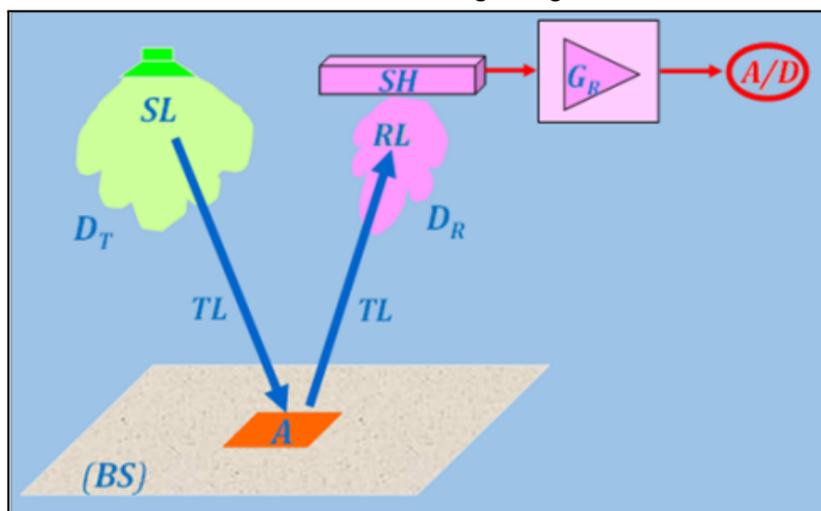
Já o termo TL, é constituído pelas componentes de perda por expansão (proporcional à área definida pela frente de onda) e por absorção (descrita pelo coeficiente atinente a cada equipamento e relativo à frequência de propagação, salinidade, profundidade e temperatura), sendo definido pela razão entre a intensidade do transmissor a 1 metro de distância e a mesma intensidade a uma distância aleatória.

Segundo Lurton e Lamarche (2015), o backscatter é medido a partir de medições acústicas provenientes da série temporal gerada por uma transmissão em que o sistema selecionará as melhores amostras para análise. Para o cálculo do sinal de retorno, é necessário saber a energia incidente no fundo, a quantidade retornada, e a área de incidência; tais parâmetros estão representados na Figura 13.

Coletar amostras utilizando o critério de valores de aproximadamente a metade da largura do feixe da detecção do fundo é válido, porém, alguns sistemas relatam esses valores apenas para obtenção de uma cobertura completa do fundo, removendo as amostras que representem sobreposição espacial. Caso esse critério seja empregado, há a possibilidade de redundância entre seções sobrepostas, o que seria resolvido por um software de pós processamento ou por meio de seleção manual de uma medição apenas. (LURTON e LAMARCHE, 2015)

Outro método aplicado, no multifeixe, consiste na extração de medições de amplitude de uma borda do feixe à outra, sendo essa borda mensurada pelo valor de -3 dB abaixo da sensibilidade máxima. (LURTON e LAMARCHE, 2015)

Figura 13 - Parâmetros de processamento do backscatter. RL: Intensidade do eco recebido; SL: Intensidade de transmissão da fonte; DT: Diretividade; TL: Perdas na transmissão; A: área ensonificada; BS: backscattering; Padrão de diretividade do receptor; SH: Sensibilidade do receptor; GR: ganho na recepção; A/D: Conversor analógico/digital.



Fonte: LURTON, LAMARCHE (2015)

Vale ressaltar que o termo de backscatter sofre influência das características do fundo e da área ensonificada pelo sinal, o que gera efeitos radiométricos e geométricos que devem ser corrigidos com compensações. Dentre as incertezas, destacam-se a inclinação do fundo, padrões dos feixes, variações de intensidade dentro de cada feixe e intensidade dentro de cada feixe. (OLIVEIRA JUNIOR, 2012)

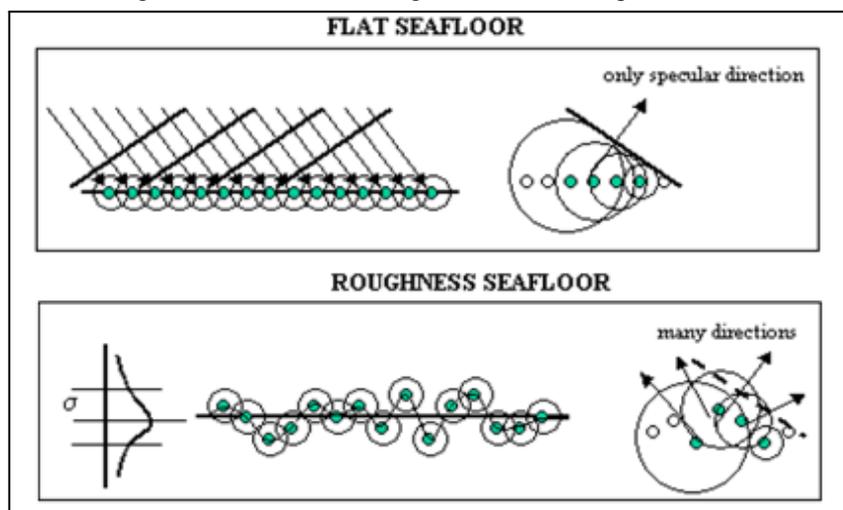
Não há influência causada pelo ruído do fundo, em virtude do backscatter recebido sempre estar relacionado ao eixo acústico que aponta para o alvo, não sendo necessário incluir esse termo na equação relacionada à BS. (ZIYIN et al., 2021)

3.6.2. Influência das propriedades dos sedimentos no cálculo do backscatter

Ao ser adquirido, o sinal de *backscatter* considera o fundo como cem por cento liso e com reflexão especular ideal. Entretanto, isso não ocorre realmente, em virtude da influência da rugosidade da interface, e da presença de dispersores, tanto na interface, quanto em camadas superficiais. Desse modo, é possível mensurar a quantidade de sinal refletido. Para rugosidades pequenas, a maior concentração da intensidade de retorno encontra-se em torno da direção especular, de modo que a parte menor se propaga na

direção de retorno ao projetor. Em contrapartida, para altas rugosidades, a intensidade da onda incidente sofre dispersão significativa em todas as direções, o que atenua o componente de reflexão especular (Figura 14). (LURTON, LAMARCHE, 2015)

Figura 14 - Influência da rugosidade no retroespalhamento.



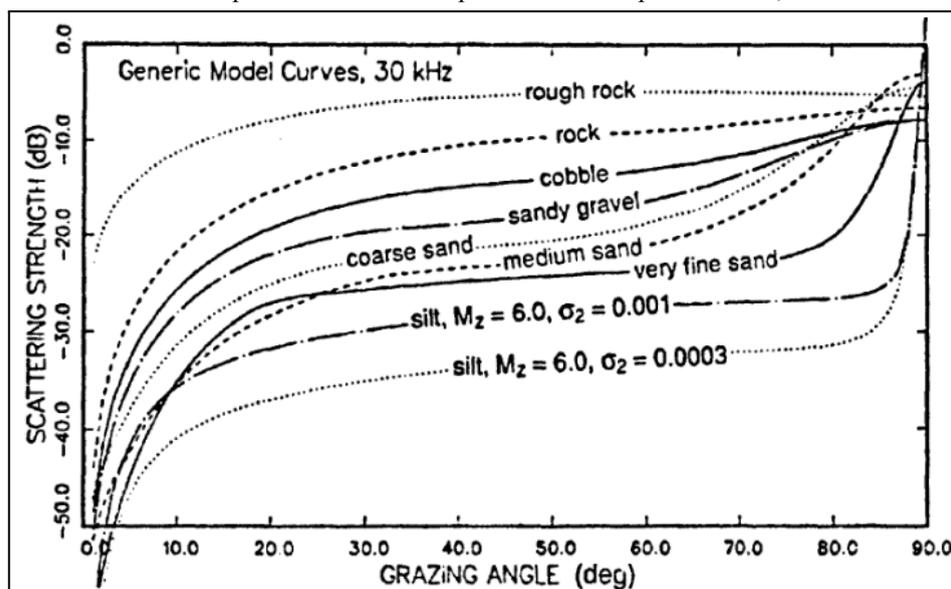
Fonte: OLIVEIRA JUNIOR (2012).

Wu (2021) enuncia que, o sinal de backscatter pode ser influenciado por propriedades como frequência, ângulo de incidência e sedimentos marinhos. Com relação ao efeito da frequência, é dito que, para um mesmo ângulo de incidência, ao serem utilizadas diferentes frequências podem ser determinados fundos lamosos, arenosos, de cascalho ou rochosos.

O fundo lamoso afeta o *backscatter* de modo diretamente proporcional ao aumento de frequência (3 dB a cada multiplicação da frequência por 10). Já no fundo arenoso o BS aumenta 6 dB a cada multiplicação da frequência por 10. Fundos rochosos ou de cascalho não alteram a intensidade de *backscatter* com a mudança de frequência. Como conclusão, verifica-se que, com a mudança da dureza do fundo, há mudança de BS ao ser alterada a frequência. Ressalta-se que, quando o efeito é muito influente, há dificuldade para a sua compensação.

Acerca do ângulo de incidência, seu efeito no sinal de retroespalhamento atua de modo que, ao ser amplificado, o BS normalmente também o é. Esse pode ser dividido em três níveis (Figura 13): menor que 10° (BS aumenta com o aumento angular); entre 10° e 65° (BS oscila com o aumento angular); e maior que 65° (BS aumenta com o aumento angular). Basicamente, a variação de BS, em função do ângulo de incidência, trata-se de uma redistribuição espacial da energia acústica que atinge o fundo. (ZIYIN et al., 2021)

Figura 15 - Modelo de retroespalhamento acústico para diferentes tipos de fundo, usando sonar de 30 KHz.



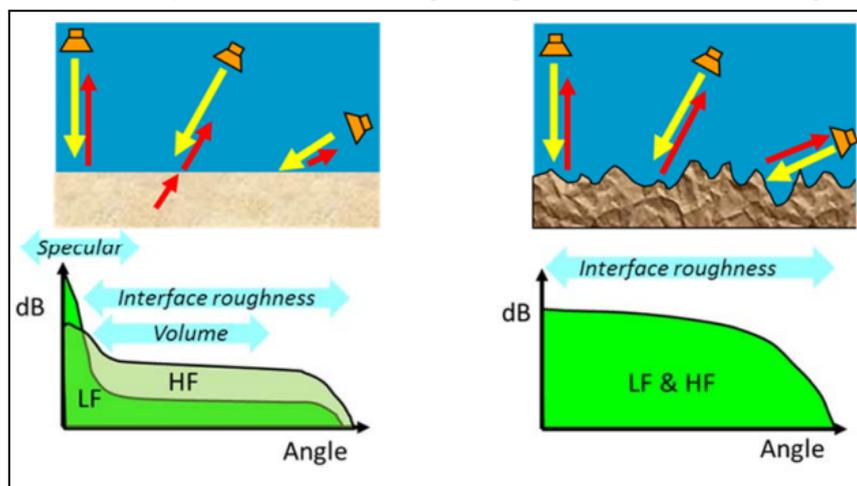
Fonte: OLIVEIRA JUNIOR (2022)

Segundo Lurton e Lamarche (2015), a dependência angular influencia na análise do sinal de backscatter, de modo que interfaces ásperas e duras tendem a espalhar de forma homogênea as ondas sonoras. Como o ângulo de incidência possui pouca influência nesse caso, a intensidade de BS registrada é estável (Figura 14).

Para sedimentos planos e macios que detém maior fluidez, a reflexão possui maior intensidade na região nadiral, representando um forte brilho no centro, com rápida redução conforme chega nos extremos. LURTON, LAMARCHE (2015)

As variações de intensidade causadas pela dependência angular exigem um processamento elaborado, dada a dificuldade de aquisição do backscatter. Apesar disso, conhecer o efeito causado pela variação angular possibilita a classificação do leito, justificando o uso do ecobatímetro multifeixe. LURTON, LAMARCHE (2015)

Figura 16 - Casos de dependência angular do backscatter: fundo liso com forte componente nadiral e redução de intensidade nos ângulos oblíquos (Figuras à esquerda). Tal efeito é observado em frequências menores. Em fundos duros, a variação de intensidade e frequência possui menos influência (Figuras à direita).

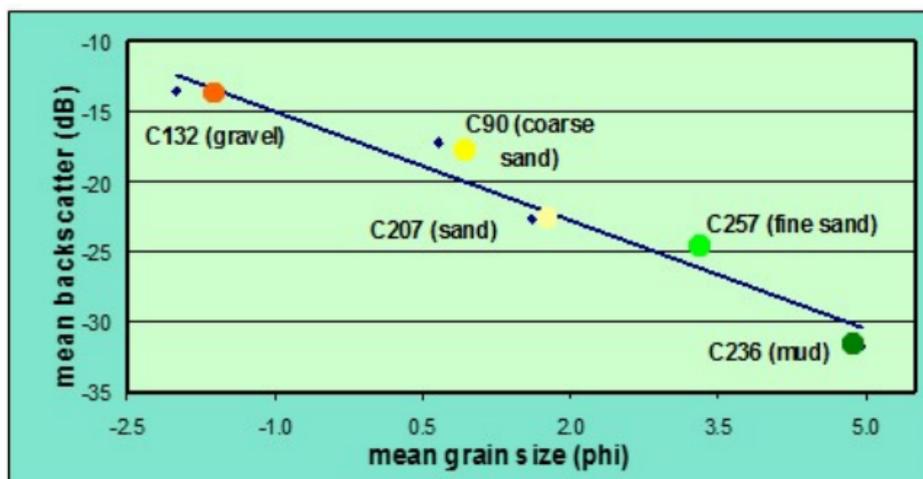


Fonte: LURTON, LAMARCHE (2015).

Para eliminar a influência do ângulo de incidência, deve ser aplicado o modelo de correção de Lambert (cálculo da redistribuição de energia acústica no leito oceânico) durante o processamento de BS, entretanto, esse modelo não é aplicável em todos os tipos de ambiente e situações. Ao serem analisados fundo de lama ou areia, obtêm-se melhores resultados para ângulos abaixo de 65° . (ZIYIN et al., 2021)

Como observado na Figura 17, a partir da relação com os dados de *backscatter*, a classificação de tamanhos de sedimentos e a rugosidade do fundo marinho, é possível fornecer informações qualitativas e quantitativas atinentes à composição e natureza desse fundo. Além disso, há a vantagem do fornecimento indireto de informações relacionadas à fauna, flora e biodiversidade. Vale ressaltar, que essa atividade é uma capacidade em potencial do sinal de backscatter, dado que a aplicação em escala regional desse sinal, para fins de classificação da natureza marinha, é uma atividade recente e ainda em desenvolvimento. (LURTON, LAMARCHE, 2015)

Figura 17 - Relação entre a intensidade do sinal de *backscatter* e as dimensões dos sedimentos.



Fonte: (LURTON, LAMARCHE, 2015).

De acordo com Lurton, Lamarche (2015), o coeficiente de reflexão, representado pela razão entre a pressão refletida e a pressão incidente ($Z = \rho c$), depende do contraste entre as impedâncias intrínsecas da água do mar e do fundo marinho. De outra forma, a resolução espacial é evidenciada pela interseção entre o espaço da feição do feixe e o leito oceânico, logo, as variações de resolução estão relacionadas à distância até o fundo e à abertura do feixe.

Com relação à aspereza acústica, sendo essa um desvio padrão da elevação da interface do fundo marinho, uma interface suave, significa uma amplitude muito menor que o comprimento de onda, logo, as discrepâncias na interface, são consideravelmente menores do que o comprimento de onda, causando perturbações mínimas no comportamento da interface, e uniformidade elevada. Com isso, a reflexão especular se destaca e a dispersão em campo é reduzida. (LURTON, LAMARCHE, 2015)

Quanto à amplitude, pode-se afirmar que, quando é muito maior que o comprimento de onda, destacam-se irregularidades e há aumento de dispersão da potência incidente. Logo, a reflexão especular e a suavidade são reduzidas, o que aumenta o efeito do espalhamento. (LURTON, LAMARCHE, 2015)

Ao serem analisados fundo de lama ou areia, pode-se concluir a partir do conceito de aspereza acústica, que nenhum leito é completamente áspero ou suave. Ao serem analisadas informações de sísmica com um comprimento de onda de 1 a 100 m, observa-se que o leito oceânico possui maior suavidade ao ser comparado com o comprimento de onda, sendo válido considerar também, a reflexão especular. Para sonares de maior frequência, a aspereza ganha maior significância, o eco especular possui uma redução e o

espalhamento é maior, sendo necessária a consideração da aspereza. (LURTON, LAMARCHE, 2015)

3.6.3. O que se pode extrair

Dentre as informações que podem ser obtidas no processamento de dados do backscatter, está a classificação de sedimentos do fundo marinho, que pode ser realizada por meio da análise das propriedades físicas ou geoacústicas. O primeiro método proporciona a análise da ocorrência de erosões, transportes e deposições, já que influenciam diretamente na localização dos sedimentos grossos e finos, o que possibilita a indicação do percentual de cascalho, areia, silte e argila. (OLIVEIRA JUNIOR, 2012)

O segundo método é realizado a partir do uso da amplitude do sinal acústico, que retorna do sonar para análise das propriedades geoacústicas (impedância, rugosidade e heterogeneidades volumétricas), sendo necessário o conhecimento prévio das propriedades físicas dos sedimentos. Para fins de validação, a coleta de amostras de fundo é utilizada de modo a confrontar os resultados dos dois procedimentos, visto que, assim como o método de análise de amostras físicas, o estudo das propriedades geoacústicas também possui limitações. (OLIVEIRA JUNIOR, 2012)

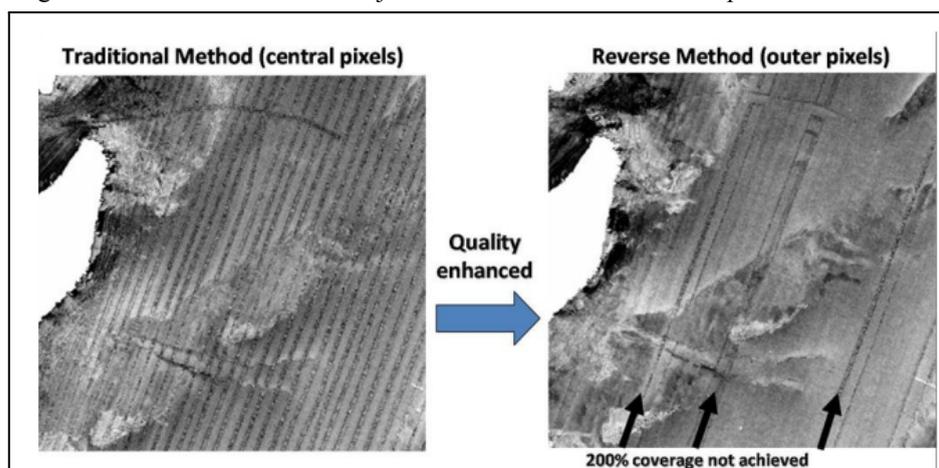
Vale ressaltar que ambos os métodos estão sujeitos a incertezas, seja em função do posicionamento da coleta física, da imprecisão do método utilizado para análise ou da correlação entre os perfis de penetração obtidos. (OLIVEIRA JUNIOR, 2012)

De acordo com Oliveira Junior (2012), para uma correlação entre as amostras de fundo e a classificação acústica, deve-se amostrar adequadamente as camadas de contato do feixe com o leito, dado que em casos de análise de áreas com alterações antropogênicas, haverá variações dos tipos de sedimentos em função de deposições sedimentares propositais.

Um produto tradicional do uso do *backscatter* está na geração de mosaicos (imagens georreferenciadas com os dados de *backscatter*) que utilizam a interpretação dos dados de retroespalhamento nas áreas geológica, ambiental e de engenharia (Figura 18).

Oliveira Junior (2012) cita que são priorizados os dados de feixes externos, que possuem maior qualidade; médias ou altas intensidades e feixes externos corrigidos.

Figura 18 - Mosaicos de linhas adjacentes com decisão do melhor pixel a ser utilizado.



Fonte: OLIVEIRA JUNIOR (2022).

Para a montagem de mosaicos de retroespalhamento acústico mais consistentes e precisos, é necessário corrigir radiometricamente as intensidades de retroespalhamento registradas pelos sonares, corrigir geometricamente e posicionar cada amostra acústica em um sistema de coordenadas de projeção, interpolando adequadamente os valores de intensidade em um mapa final de retroespalhamento. (FONSECA e CALDER, 2005)

3.7. Aplicações da interpretação dos dados de backscatter

3.7.1. Guerra de minas - identificação de minas

De acordo com Earls (2012), a aspereza do fundo é um fator de influência relevante no sinal de retroespalhamento. Dada a capacidade de identificar objetos a partir do sinal de backscatter, da mesma maneira que são encontradas crateras, sulcos, algas marinhas, rochas, dunas de areia, obstruções altas, buracos profundos, podem ser detectadas minas submarinas escondidas entre esses objetos.

Para determinar a porcentagem de aspereza do fundo do mar, foi utilizado um modelo da marinha americana, com base na análise de mudanças de profundidade, entretanto, os produtos gerados são questionáveis. Com o objetivo de aprimorar os resultados, foi proposta, por Earls (2012), a inserção do ecobatímetro multifeixe EM 710 no processo de determinação de um nível de referência para análise de tendência do local. Com isso, foram realizados testes para demarcar um nível de referência (limiar) preciso e capaz de discriminar objetos de diferentes asperezas.

A aspereza (crateras, sulcos, rochas) pode estar presente simultaneamente, o que dificulta um resultado preciso, por isso os limiares necessitam ser modificados de acordo com a área de pesquisa. O protocolo atual da Marinha americana estabelece resultados de

mais de 15% como aspereza. O modelo desenvolvido demarcou uma aspereza de 38% da área, e a subdividiu em grades de 25 metros, a fim de especificar precisamente a aspereza do espaço. (EARLS, 2012)

Com o objetivo de reduzir a probabilidade de mistura de objetos e a imprecisão do protocolo, foram utilizados os métodos de gradiente e morfologia matemática, que forneceram resultados mais objetivos. (EARLS, 2012)

A partir do método de gradiente, Earls (2012) classificou os dados de relevo do fundo como liso, quando o gradiente de rugosidade é menor que 5%; moderada, quando está entre 5% e 15%; e áspero, quando maior que 15%. Adicionalmente, o método gradiente matemático estabelece classificações semelhantes, considerando o relevo liso com resultados de gradiente menor que 9%; moderado quando está entre 9% e 24%; e áspero quando os valores ultrapassam 24%. As referências do ecobatímetro multifeixe EM 710 fornecem dados de batimetria e retroespalhamento com grande acurácia para a modelagem de aspereza do leito, tornando-o um recurso categórico para a guerra de minagem.

3.7.2. Aprimoramento de cartas náuticas

No âmbito militar, deter informações sobre o leito do mar é fundamental em guerras submarinas e no descobrimento de minas postas no fundo do mar. Para isso é necessária a construção de cartas náuticas a partir do mapeamento geográfico, o que reduz a probabilidade de acidentes. Além disso, há também o auxílio na decisão do melhor local para ser implantada uma mina submarina. (ARTILHEIRO, 1998)

Atualmente, as cartas náuticas podem ser obtidas de maneira eletrônica ou física (papel), e são um recurso necessário para que embarcações possam fundear com mínimos riscos de danos, principalmente em locais rasos. (ARTILHEIRO, 1998)

Dados obtidos a partir do estudo realizado por Artilheiro (1998) permitiram a diferenciação de solo (maior intensidade de retroespalhamento) e objetos (menor intensidade de retroespalhamento). Concluindo assim que o modelo de detecção utilizado (amplitude ou fase) é decisivo para distinguir os erros das características reais, e que a imagem acústica estabelece onde e como o tratamento (automático ou interativo) de dados deve ser aplicado.

Para a criação da carta eletrônica é necessário precisão de sondagem e densidade de informações, diferentemente da cartografia em papel que priorizava a batimetria (obtenção

de todas as profundidades mínimas de sondagem) como componente principal para sua criação. (ARTILHEIRO, 1998)

Em virtude do ecobatímetro multifeixe proporcionar a ensonificação para a cobertura total do fundo, e o entendimento quanto ao tipo de sedimento presente na área, Artilheiro (1998) avalia o seu emprego como imprescindível para adquirir e acompanhar informações precisas sobre o leito marinho.

A definição do local a ser sondado e a realização da limpeza de dados devem se basear em regras específicas de estudo do hidrógrafo. Em tese, não existe restrição para as sondagens e pode-se identificar estruturas não aderidas ao fundo marinho, sendo possível obter dados de diferentes profundidades ao variar o ângulo aplicado no feixe. (ARTILHEIRO, 1998)

Artilheiro (1998) concluiu que a correlação da imagem acústica é útil para elucidar dados duvidosos na batimetria. Seu uso, na fase inicial de tratamento, foi altamente recomendado, pois, além de identificar anomalias, foi capaz de estabelecer o tipo de leito marinho presente e a regularidade da área. A partir disso, é possível saber qual método (automático ou interativo) deve ser aplicado, complementando as informações das cartas náuticas com dados de qualidade.

3.7.3. Área ambiental

A delimitação de áreas com diferentes características no fundo marinho é significativa para o mapeamento de habitats bentônicos. Essa capacidade motivou pesquisadores a aprimorarem o desenvolvimento de ferramentas que realizem a aquisição, o processamento e a interpretação do sinal de retroespalhamento voltado à área ambiental.

Lurton e Lamarche (2015) citam que, em virtude da quantidade de dados de batimetria e backscatter ser superior à quantidade de coleta de dados biológicos, a interpretação automática de sedimentos é relevante para a comunidade científica, pois não são necessárias inferências e extrapolações para áreas pequenas. Conseqüentemente, é possível que a demanda do usuário seja atendida e forneça um resultado final com maior precisão.

Lurton e Lamarche (2015) ressaltam a necessidade de obter um nível mínimo de qualidade para que haja uniformidade entre dados advindos de diferentes modelos de classificação do fundo, caso contrário, o backscatter perde a sua utilidade.

3.8. Softwares de processamento

O primeiro sistema de classificação do fundo acústico foi desenvolvido em 1990, pela Marine Micro Systems de Aberdeen. O princípio de funcionamento do sistema RoxAnn é baseado na análise dos primeiros e segundos retornos dos pulsos transmitidos, por meio dos quais identifica a rugosidade e a dureza dos sedimentos. Apesar de ser restrito à aplicação apenas para ecobatímetros monofeixe, que possui o feixe perpendicular ao fundo, o desenvolvimento do sistema deteve papel relevante na área de processamento de dados. (ELLINGSEN et. al, 2002)

Outro sistema de processamento de dados é o QTC VIEW, um sistema de classificação acústica desenvolvido pela empresa canadense Quester Tangent Corporation. O software realiza a classificação de tipos de leitos oceânicos costeiros com base nas características dos sinais acústicos de retorno vindos de transdutores de ecobatímetro. Ao ser comparado com o método de amostragem física, nota-se a vantagem na redução de tempo e recursos despendidos. (ELLINGSEN et. al, 2002)

De acordo com (ELLINGSEN et. al, 2002), o software é capaz de extrair informações do fundo e da subsuperfície a partir de cada primeiro eco obtido, denotando evolução em relação ao Roxann. Seu método de classificação se fundamenta na dedução de que respostas acústicas similares significam a existência de leitos semelhantes. Seus dados são coletados no decorrer da sondagem, relacionados e armazenados com a posição registrada pelo GPS, bem como o registro de profundidade.

O sistema pode ser aplicado de forma supervisionada, que requer coletas de classes de referência acústica de locais de calibração de todos os tipos os leitos oceânicos na área escolhida. Cada eco obtido será catalogado de acordo com essas classes. A eficácia dessa classificação depende da escolha precisa dos locais de calibração. Já a forma não supervisionada pode ser aplicada em áreas com pouca, ou até mesmo nenhuma verificação do terreno. A exibição do produto final é feita a partir da codificação de pontos por cores, ao longo da derrota percorrida. Essa codificação é sobreposta em um mapa da área ensonificada, devendo utilizar os dados de validação para definir o perfil do fundo oceânico relacionado à cada classe acústica. (ELLINGSEN et. al, 2002)

De acordo com Hamilton et al. (1999) apud ELLINGSEN et al. (2002), ao serem comparados os produtos fornecidos pelo QTC View e pelo RoxAnn, observou-se que o primeiro sistema possui melhor precisão na análise de granulometria do sedimento, fornecendo melhor classificação que o RoxAnn.

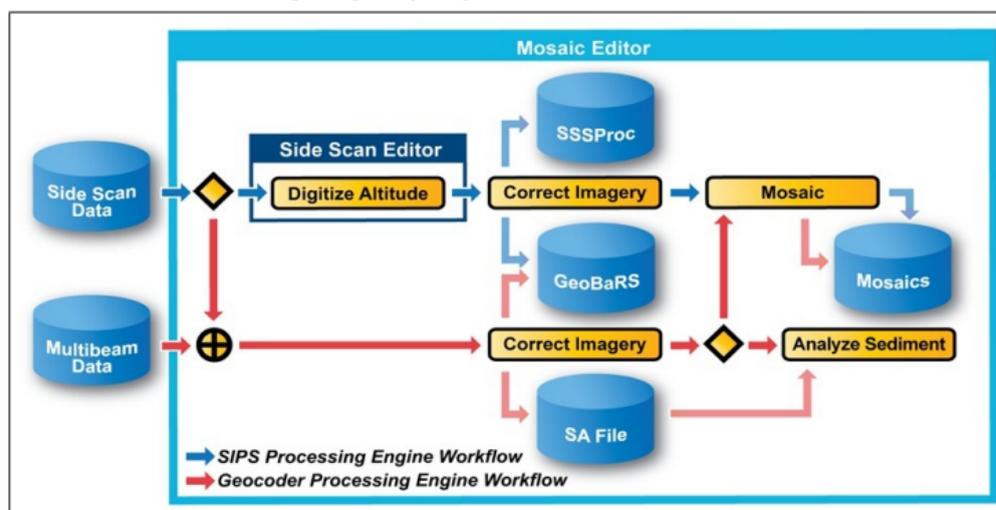
O desenvolvimento da versão capaz de processar dados de backscatter advindos do ecobatímetro multifeixe começou com o lançamento do QTC MULTIVIEW, o qual, acompanhado posteriormente do QTC CLAMS, passou a fornecer a ferramenta de mapeamento do fundo para classificação de sedimentos, sendo gerada acusticamente ou pela análise de propriedades físicas. (HYDRO INTERNATIONAL, 2008)

De acordo com (Bloomer, 2001), o QTC MULTIVIEW utiliza algoritmos para reduzir a dimensão da superfície analisada em até 130 vezes, e dessa forma realizar a discriminação de sedimentos e identificação de feições no fundo, a partir das principais componentes dos dados obtidos. Após isso, os dados são classificados por meio de clusterização e compensados durante o processamento de acordo com o tipo de ecobatímetro multifeixe utilizado.

Com relação ao CARIS HIPS & SIPS, Dufek (2012) cita que o software foi projetado especificamente para processamento de dados hidrográficos, incluindo o retroespalhamento. O programa comporta um conjunto de ferramentas para análise e modelagem batimétrica e topográfica de terrenos. As etapas que efetuam a correção do retroespalhamento, montagem de mosaico e análise de sedimentos, são realizadas no Mosaic Editor. Essa ferramenta possui dois mecanismos de processamento, o SIPS, que realiza manipulação de dados de varredura lateral, e o Geocoder, que manipula dados de imagens multibeam. Dessa maneira, o Mosaic Editor é capaz de processar três formatos de dados: varredura lateral, séries temporais multibeam e dados de médio feixe.

Os dados de imagens obtidos pelo Mosaic Editor são armazenados como GeoBaRs (Rasters de Retroespalhamento Georreferenciados), sendo esse a base para todos os mosaicos criados no HIPS & SIPS. Um GeoBaR é definido como um mosaico de dados de imagens para uma linha de levantamento, e que pode ser editado dentro da zona georreferenciada. Após a correção de imagens, o mosaico completo é obtido, como exibido na Figura 19. Salienta-se que o software possui mais de 40 configurações com dados padrão da indústria. Isso permite que a sua tecnologia processe dados multifeixe, retroespalhamento, sonar de varredura lateral, feixe único e LiDAR, simultaneamente. (DUFEK, 2012)

Figura 19 - Fluxo de processamento do *backscatter* no Mosaic Editor para dados de varredura lateral e multifeixe. Após o processamento dos dados de *backscatter* no multifeixe, são gerados GeoBaRS e arquivos de análise de sedimentos para que sejam gerados os mosaicos e feita análise de sedimentos.



Fonte: DUFEK (2012).

Em uma pesquisa realizada por Fonseca e Calder (2005), foi descrito detalhadamente o funcionamento do software Geocoder, além de ser dado destaque perante os softwares de processamento de dados. As amostras brutas obtidas inicialmente são retificadas para diferentes ganhos angulares, ganhos de aquisição variáveis, largura de pulso e áreas de insonificação. Salienta-se que as amostras são integralmente preservadas durante as operações, permitindo que todos os dados sejam utilizados para montagem final do mosaico. No caso do sonar multifeixe, no que concerne à distorção de alcance inclinado, navegação e atitude do transdutor, são aplicadas correções na série temporal com base na batimetria do feixe. Após isso, as amostras são individualmente geocodificadas em um sistema de coordenadas projetado de acordo com o esquema de interpolação, e que equivale à geometria de aquisição.

A resolução do mosaico final pode ser definida de acordo com a demanda do usuário, adaptando-se à situação que for necessária, em virtude da aplicação de um algoritmo de antisserrilhamento. As junções entre linhas sobrepostas são reduzidas com a aplicação de um algoritmo de mesclagem. Com todas as correções aplicadas, o mosaico final oferece dados auxiliares com maior confiabilidade e que podem ser aplicados para levantamentos hidrográficos, estudos geológicos e ambientais marinhos. (DUFEK, 2012)

De acordo com Bathymetry (2023), o software SonarWiz Field & Office Su é composto por pacotes (adquiridos juntos ou separadamente) que desempenham diferentes

funções, sendo capaz de processar dados de magnetometria, interferometria, sonares de varredura lateral, perfiladores de subfundo e ecobatímetros multifeixe.

A tecnologia do pacote SonarWiz Bathymetry possui todos os elementos cruciais para calibrar, editar e renderizar os dados batimétricos, incluindo suporte para levantamento AUV, com ferramentas de navegação de atitude e processamento. Além disso, contempla 6 algoritmos de geração de grades diferentes, calculadoras volumétricas e de diferenças, interpolação de grade e contorno vetorial. Sendo possível exportar dados em mais de 20 formatos GIS e CAD suportados. (BATHYMETRY, 2023)

Além disso, seu sistema é capaz de processar simultaneamente as sondagens batimétricas com o retroespalhamento acústico, o que permite alterar alternadamente os dois dados. Ademais, são utilizados algoritmos de normalização estatística nas imagens desenvolvidas para a classificação de habitat e produção de mosaicos. Esses algoritmos são capazes de funcionar em qualquer sistema, até mesmo sonares não calibrados e antigos, sistemas de varredura lateral interferométricos e sistemas danificados. (BATHYMETRY, 2023)

Possui a capacidade de combinar dados de batimetria e retroespalhamento, com dados de varredura lateral e Sub Bottom Profiler (SBP). Vale ressaltar que os pacotes de Bathymetry (Bathy) e Magnetometry (Mag) são complementos do SonarWiz, sendo necessário uma licença para utilizá-los. (BATHYMETRY, 2023)

Em referência ao HYPACK, as ferramentas disponíveis são de aplicabilidade no levantamento hidrográfico, sonar de varredura lateral e magnetômetro. Essas ferramentas são utilizadas para coletar dados, remover valores atípicos, projetar levantamento, aplicar correções de sondagem, plotar folhas de campo, calcular quantidades de volume, criar mosaicos de varredura lateral, exportar dados para CAD, gerar volumes de contorno e criar/modificar cartas eletrônicas. (HYPACK, 2023)

A partir dos dados enunciados na Tabela 1, é possível observar que os softwares possuem características semelhantes, entretanto, destacam-se algumas diferenças, como o fato de o pacote de programas do Hypack fornecer o módulo relacionado ao processamento de dados de multifeixe, apenas possuindo a licença do HYSWEEP.

Tabela 1 - Comparação entre as características de cada software.

		Sistemas Suportados	Campo de Uso	Módulos	Idiomas	Última atualização	Ano de Lançamento
Características	SonarWiz Bathymetry	SS, SBP, Mag e Bathy, incluindo GPS, fatômetro, sensor de elevação, entrada MRU via porta COM ou UDP.	Levantamento de oleodutos, levantamento hidrográfico, levantamento comercial, levantamento arqueológico marinho e hidrografia educacional.	Aquisição e processamento de dados de varredura lateral, subfundo, batimetria e magnetometria. Os módulos são vendidos separadamente ou como um pacote.	Inglês	2015	2013
	HYSWEEP	Multifeixe, interferométrico, SAS, LIDAR.	Levantamentos Hidrográficos, Posicionamento de Barcaças, Construção, Arqueologia, Navegação, Levantamentos Offshore e Dragagem.	Processamento de dados multifeixe, retroespalhamento, LIDAR e coluna de água. HYSWEEP requer uma licença HYPACK. À medida que sua agência muda de levantamento de feixe único para multifeixe, você pode simplesmente atualizar seu pacote para multifeixe comprando uma licença HYSWEEP.	Inglês, espanhol, francês, russo	2022	1991
	Qimera	Sistemas MB: incluindo, entre outros, Kongsberg, R2SONIC, Teledyne-RESON, Teledyne-ODOM, Edgetech, L3-Klein, WASSP e Kongsberg-Mesotech.	O foco está no processamento de dados batimétricos MBES, incluindo dados de coluna de água. A limpeza da nuvem de pontos também é possível.	Suporta arquivos de dados formatados em QPS e de terceiros. Qimera inclui ferramentas para SV avançado, Patch Test e Wobble Test. SO: Win10, MAC, Linux.	Inglês, chinês, alemão, espanhol	2018	2015
	HIPS E SIPS	Feixe único, multifeixe, sonar de varredura lateral, LiDAR, scanner a laser, sonar de abertura sintética (SAS) e interferométrico.	Hidrografia, Oceanografia, Exploração e Produção, Científica.	SIPS Essential, HIPS Essential, HIPS e SIPS Essential, HIPS Professional, HIPS e SIPS Professional.	Inglês	2020	1992

Tabela 2 - Comparação entre as informações de processamento de cada software.

		Correção da velocidade do som	Tipo de correção de velocidade do som	Atributos da grade (Padrão, Média, Máx, etc)	Tipo de algoritmo(s) de limpeza automática	Funcionalidade de processamento de retroespalhamento multifeixe	Métodos de Calibração Multifeixe
Processamento	SonarWiz Bathymetry	Suporte de perfil único.	Outro	Média Ponderada, Média, Densidade, Mínimo, Máximo, Mediana, Amplitude, Desvio Padrão	Suavização automatizada e opção de edição manual dos dados de navegação, com filtragem digital específica para cada categoria. Específico para batimetria: opções de redução da resolução, filtro de amplitude, filtro de alcance, filtro de ângulo de corte, filtro de caixa, filtro de densidade, filtro mediano, ajustes de velocidade/maré do som, edição manual de faixa e área, suporte supervisionado/automático - edição de faixa.	Sim - RESON, R2Sonic e Kongsberg.	
	HYSWEEP	Suporte para correção de vários perfis.	Distância + Tempo	Mínimo, Mediana, Máximo, Média, Ponto central, Modo, Modo mais profundo, Strikes, Contagem, Faixa Z, Desvio Padrão Sigma, CUBO (Profundidade, Incerteza, Contagem H, Hipótese, Razão e Cobertura).	Mínimo, Mediana, Máximo, Média, Ponto central, Modo, Modo mais profundo, Strikes, Contagem, Faixa Z, Desvio Padrão Sigma, CUBO (Profundidade, Incerteza, Contagem H, Hipótese, Razão, Cobertura).	Sim	Automático e Manual
	Qimera	Suporte para correção de vários perfis.	Distância + Tempo Tempo Distância	Média, Mín., Máx., Contagem e 95% SD	CUBE e SPLINE.	Caixa de ferramentas do geocodificador QPS	Automático e Manual
	HIPS E SIPS	Suporte para correção de vários perfis.	Distância + Tempo	Profundo, Densidade, Profundidade, Média, Desv padrão, Banco de areia, Incerteza, Contagem de hipóteses, Força da hipótese, Inclinação e Aspecto, Erro RMS.	CUBE, Filtro de Superfície, filtros multifeixe, filtros de atitude e suavização.	Mecanismo de retroespalhamento SIPS e geocodificador	Manual

Tabela 3 - Comparação entre as informações de registro de dados de cada software.

		Formatos de entrada	Suporte a formatos de fundo
Registro	SonarWiz Bathymetry	JSF, RDF, HSX, SDF, TODOS, R2S, S7K, SXI e XTF	Funciona com todos os tipos de arquivos de mapa base importáveis suportados pela Global Mapper Software LLC, Olathe, KS.
	HYSWEEP	CRU, HSX, XYZ, XTF, IMG, CM2, JSF, XSE, GPX, GSF, .83P, .D1P, .81S, .ALL, .MST, .S7K, .SXI, .SXP, .TDY, .SDF, LAS, ASCII e formatos personalizados.	Gráficos de base da Web: Catálogo NOAA, Catálogo ACOE, Bing Maps, USGS Imagery Maps, NASA. Outros formatos são: arquivos BSB, gráficos raster ARCS, arquivos C-Map, arquivos DIG, arquivos DGN, arquivos DGW, arquivos DG2, arquivos DXF, arquivos DWG, arquivos ECW, arquivos GML, arquivos MIF, arquivos JPEG 2000, arquivos PDF, Arquivos PNG, arquivos SHP, arquivos MR.SID, arquivos S57, arquivos S63, arquivos TIF e arquivos VPF.
	Qimera	Arquivos formatados em QPS, *.ALL, *.S7K, *.GSF e HYPACK	ENC e CAD, imagens georreferenciadas GeoTiff/JPEG/PNG, etc.
	HIPS E SIPS	Atlas SDA/ASD/ACF, ChirpScan 3D BRF, CMAX CMX/CM2, Coda, Edgetech Midas/JSF, EIVA SBD, Elac XSE, Furuno, GeoAcoustics RDF, GSF, Hawkeye, Hypack RAW/HSX/HS2, Imagenex D1P/83P/83M, Kraken TIL, LADS CAF, LAS, MarineSonics MST, ProSAS IMG, QMIPS DAT, Teledyne Reson S7K/PDS, Scripps, Klein SDF, Seabeam, Seafalcon, SEG Y Singlebeam, SHOALS OUT/HOF/TOF, Kongsberg ALL/OUT/RAW /PROFUNDIDADE, SPAWAR DAT, Swathplus SXP/SXR/SXI, Teledyne TDY, UNB MERGED, Winfrog RAW e XTF.	XYZ em grade, DXF/DWG, BAG, DGN, BSB/KAP, TIFF IGA, ECW, ESRI ASC/ADF/FLT, ESRI Shape, GML, GIF, GRIB, CHR, JPEG/JP2, Intergraph CIT/COT/CRL/RLE, LandXML, Laser-Scan IFF, SID, NTF, MapInfo MIF, NetCDF NC/GMT, NOAA NGS BIN, PNG, S-57 000, TIF/TIFF, VPF DHT/LAT/LHT, BMP, OGC WMS/WMTS/WCS, Grade SIS de Kongsberg.

Tabela 4 - Comparação entre softwares com relação à geração do arquivo final.

		Opções de exportação/troca
Geração de Produto	SonarWiz Bathymetry	BMP, JPG, TIFF, imagem geográfica, PDF 3D, Google Earth, relatório de cobertura de sonar, captura de imagem de tela
	HYSWEEP	XYZ, HS2, GeoTIFF
	Qimera	Arquivos formatados em QPS, ASCII, BAG, etc.
	HIPS E SIPS	ASCII, grade/nuvem de pontos CSAR, HTF, FAU, GSF, UNISIPS, XML, BAG, TIFF/GeoTIFF, ESRI ASCII, USGS DEM, DXF, Mapa CARIS, GML, KML/KMZ, CARIS HOB, S-57 000, ESRI Forma

O HYSWEEP é o módulo que permite coleta e processamento de dados para multifeixe, backscatter, LIDAR e coluna d'água. Para ser utilizado, é requerida uma licença. Dentro do módulo existe o HYSWEEP SURVEY, que oferece diagramas de cobertura, nuvem de pontos corrigida e georreferenciada, além da ferramenta *real time point cloud*, que aprimora o controle de qualidade e otimiza o tempo de detecção de recursos, bem como o de calibração e verificação do sistema. (HYPACK, 2023)

O complemento do Geocoder permite a reprodução de mosaicos e classificação de sedimentos a partir dos dados de backscatter. Com relação ao tratamento de dados, o HYSWEEP permite aplicar filtros geométricos e estatísticos, com o propósito de limpar os dados, e correções na velocidade do som e nível da água. (HYPACK, 2023)

A partir da observação das Tabelas 1, 2, 3 e 4, é possível observar que nos aspectos atinentes às opções de exportação, formatos de entrada, suporte a formatos de fundo, atributos de grade e sistemas suportados, o software HIPS & SIPS se destaca, porém, em aspectos pontuais como: tipo de algoritmo de limpeza automática e módulos, evidenciam-se os softwares SonarWiz Bathymetry e o módulo HYSWEEP, respectivamente.

Em um estudo realizado por Dufek (2012), foram comparados dados de backscatter processados pelo Geocoder (mosaicos e Análise de Intervalo Angular (AIA)), utilizando os softwares CARIS e *Fledermaus Geocoder Toolset (FGMT)*. Os resultados do processamento forneceram mosaicos e Análise de Intervalo Angular (AIA) para a interpretação dos resultados da análise de retroespalhamento.

Para auxiliar a análise das intensidades de retroespalhamento, os mosaicos gerados nos softwares foram exportados como geotiffs e relacionados à batimetria no *FGMT*, dessa forma, é feita a correspondência às variações de profundidade em toda a área.

Os resultados de AIA, que contém as coordenadas de base e informações sobre a granulometria dos sedimentos nas áreas pesquisadas, foram exportados como arquivo ASCII, carregados no Fledermaus e salvos como um arquivo SD. No CARIS, foi realizada a exportação do intervalo de confiança, o qual foi utilizado para determinar os indicadores de tamanho do grão por meio de resultados do próprio software. Para diferenciar o tamanho dos grãos em cada área, foi utilizada paleta de cores.

No *FGMT* são formadas esferas representativas, de tal modo que, quanto melhor o nível de confiança, maior a esfera representativa no Fledermaus. O produto com os arquivos SD correspondentes fica salvo no CD acompanhante, junto com um arquivo executável do programa iView 4D (software gratuito para visualizar arquivos de cena (produtos) do Fledermaus). (DUFÉK, 2012)

Ao ser efetivamente realizado o confronto entre os dados processados pelo Geocoder utilizando o CARIS e o Fledermaus, Dufek (2012) notou a diferença entre os produtos finais fornecidos. Enquanto o CARIS HIPS & SIPS é voltado ao processamento e mapeamento de uma gama de dados em variados formatos e de diferentes equipamentos (SBES, MBES, SSS, Lidar), o Fledermaus possui a aplicação principal na visualização de dados, além de não possuir a mesma quantidade de tipos de dados suportados como o CARIS, que pode importar mais de 40 formatos industriais diferentes.

Dufek (2012) observou também que, ao ser implementado nos dois softwares, não havia diferenças significativas no algoritmo principal do Geocoder. Porém, devido à divergência de objetivos, foram observadas pequenas variações nos formatos suportados e na representação dos resultados finais.

O CARIS oferece maior variedade de formatos de importação, mas os formatos suportados no que tange ao backscatter são os mesmos em ambos os pacotes de software (média dos feixes, série temporal de feixes, série temporal de sidescan). O *FMGT* está voltado principalmente para o processamento e análise do backscatter de multifeixe, mas também aceita os dados de sonar de varredura lateral. Não obstante, o CARIS já possuía ferramentas para processar dados de sidescan antes da implementação do Geocoder, além de rotinas especiais de sidescan indisponíveis no *FMGT*. (DUFÉK, 2012)

Apesar de possuírem iguais correções do Geocoder e mínimas diferenças de configuração, uma característica destacável no CARIS, que garante o melhor entendimento das fases de processamento, e oferece maior liberdade ao usuário, é a menor limitação com relação às correções editáveis. Um exemplo, é a criação de mosaicos variados para uma

mesma linha, a partir da etapa intermediária do GeoBaR. Com isso, é possível realizar comparações sem a intervenção de áreas sobrepostas resultantes da mosaicagem. (DUFEK, 2012)

No *FMGT*, o processamento é feito enquanto o mosaico é criado. Para gerar mosaicos e comparar diferentes correções, é necessário excluir as etapas de cobertura, ajuste e filtragem, após isso, a mosaicagem é refeita. O *FMGT* é caracterizado por um rápido processamento de retroespalhamento, sem a necessidade de grandes alterações nas configurações, diferentemente do que é executado no CARIS. (DUFEK, 2012)

No Geocoder, existe um algoritmo que utiliza uma interpolação ponderada (atribui menor importância aos feixes nadirais externos e maior para feixes médios) para fundir mosaicos. Esse algoritmo foi implementado com sucesso apenas no *FMGT*, que exibe mais estatísticas de mosaico, de acordo com a demanda do usuário. (DUFEK, 2012)

Com relação à apresentação visual, o CARIS e o *FMGT* oferecem métodos diferentes de melhorias. No *FMGT*, é utilizado o estiramento de histograma, em que o intervalo da paleta de cores se ajusta ao intervalo dos valores de dados. No CARIS, existem dois controles: um para o brilho e outro para o contraste (dificultando a padronização da configuração escolhida para outro mosaico). Dessa forma, verifica-se que o *FMGT* oferece uma variedade maior de formatos de exportação de mosaicos. (DUFEK, 2012)

Apesar de os dois softwares empregarem o modelo Jackson para o AIA, o CARIS oferece adicionalmente a teoria Biot, que faz a modelagem da resposta angular. Além disso, há a opção de edição do tamanho de grão do sedimento, e especificação do tamanho do patch pelo usuário, o que não é possível no *FMGT*. (DUFEK, 2012)

(Dufek, 2012) observou que o *FMGT* possuía maior variação de extensões para os resultados do AIA, em comparação com o CARIS. Contudo, atualmente, em virtude dos aprimoramentos dos softwares, o CARIS passou a fornecer mais opções de exportação dos produtos finais do AIA, como exibido na Tabela 1.

Outra característica relevante a ser ressaltada diz respeito ao conteúdo dos arquivos de dados brutos importados no CARIS. Para o processamento de retroespalhamento, é recomendado analisar apenas perfis gravados diretamente, excluindo dados em que o navio altera o rumo. No *FMGT*, todos os arquivos brutos são divididos de modo a remover os movimentos do navio, sendo possível, também, a remoção dos segmentos indesejados de dados após o carregamento. No CARIS, os dados entre perfis foram excluídos no Editor de

Swath durante o processamento da medição de profundidade. Os arquivos relevantes foram divididos de acordo com o horário de início e término dos perfis. Caso sejam eliminados pings no meio do arquivo do CARIS, haverá o empilhamento incorreto dos pings, que acarretará a geração de um perfil diferente do real. (DUFEK, 2012)

Em resumo, no *FMGT*, o usuário não possui o mesmo grau de liberdade de edição durante o processamento e análise de dados como no CARIS, o que não significa uma capacidade íntegra de alterações. Vale ressaltar, que nenhum software explica os métodos e algoritmos de forma exata, entretanto, o CARIS fornece ao usuário mais informações para avaliação dos resultados, como imagens da distribuição de peso do mosaico, níveis de confiança atribuídos aos resultados do AIA, ou implementação da etapa intermediária de geração do GeoBaR. Dado que os softwares estão em constante melhoria, alguns problemas anteriores foram resolvidos, como a possibilidade de exportação de resultados do AIA no formato ArcView no *FMGT* e o carregamento de arquivos brutos da Kongsberg. (DUFEK, 2012)

Ao término de sua pesquisa, Dufek (2012) concluiu que os dois softwares forneceram resultados satisfatórios, apesar de não ser possível remover influências topográficas em ambos. Entretanto, o software da CARIS não apresentou resultados tão homogêneos quanto os mosaicos gerados no *FGMT*, com relação à remoção de dados nadirais equivocados.

3.9. Aprimoramentos

Schimmel (2018) cita que, para reduzir a inconsistência dos dados processados, é necessária grande quantidade e precisão das informações para os estágios de processamento, bem como procedimentos padrão documentados para os estágios posteriores. Além disso, são relevantes o conhecimento das características do dado coletado e como são modificados, de modo a serem comparados com valores de referência.

Lurton e Lamarche (2015) citam que cabe aos usuários subsidiar o aprimoramento do processamento ao fornecer grande quantidade de dados, calibrar corretamente os sistemas de aquisição, e obter boa batimetria por meio de um bom planejamento. Já aos desenvolvedores, cabe fornecer as ferramentas aos usuários com pouca incerteza e valores de referência precisos.

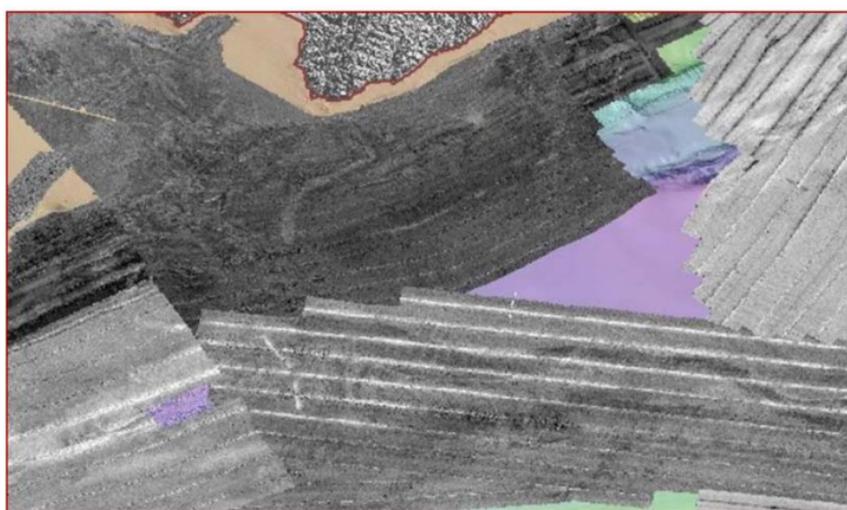
3.9.1. Calibração

Como pode ser observado nas Figuras 20 e 21, a calibração dos equipamentos de aquisição de dados (nesse caso, do ecobatímetro multifeixe) também deve ser observada,

dado que ao serem observados dados adquiridos por diferentes equipamentos em uma mesma área, há desigualdades entre os produtos finais de cada levantamento, em função da não utilização de uma referência inicial e específica para a área ensonificada.

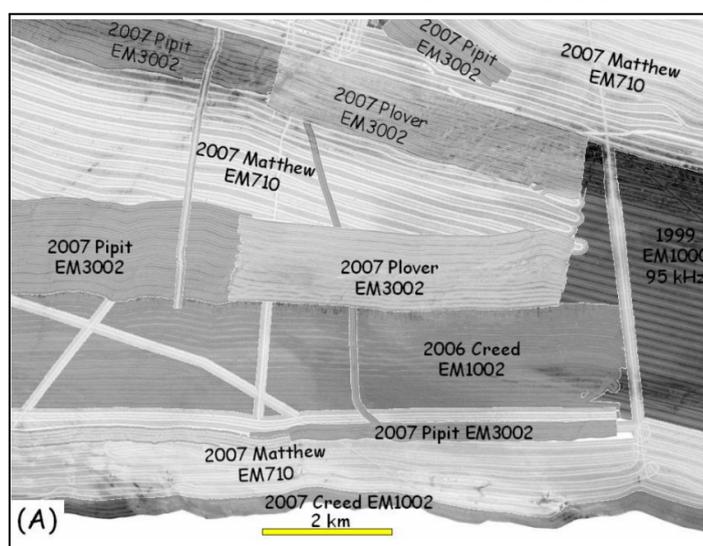
De acordo com BODRA (2020), a partir da equação sonar, é possível observar que, enquanto os termos de perda e área ensonificada podem ser calculados a partir de geometria e dados de frequência, os termos de sinal transmitido e recebido devem ser obtidos por meio de calibração combinada, e a partir disso, poder ser obtido o tipo de fundo, o qual varia com o grazing angle, azimute e frequência.

Figura 20 - Imagem de *backscatter* de várias embarcações utilizando o mesmo modelo de multifeixe.



Fonte: LURTON, LAMARCHE (2015).

Figura 21 - Mosaico de dados de *backscatter* obtidos com o uso de diferentes ecobatímetros multifeixe



Fonte: Hughes Clarke et al. (2008)

De acordo com Bodra (2020), a variação da classificação do tipo de fundo marinho deveria ser mínima, entretanto, ao serem utilizados dois sistemas diferentes para aquisição de dados, caso estes não estejam calibrados, não será possível cumprir essa condição, ocorrendo caracterizações de fundo diferentes para um mesmo tipo de sinal, o que impede a comparação entre os mesmos.

Segundo (Foote et al., 1987) apud Bodra (2020), a calibração de sonares para identificação de cardumes é comumente utilizada na área pesqueira, sendo realizada por meio de esferas precisamente modeladas e com intensidade do alvo (TS) conhecida, as quais são mensuradas pelo sonar, e posteriormente suas intensidades são comparadas com o valor de referência, obtendo assim um feixe padronizado e a correção para o Eixo de Resposta Máxima (MRA). Após o teste em diferentes ângulos de incidência, é gerada uma curva de resposta angular de *backscatter* para uma determinada frequência.

Baseado nos procedimentos realizados pela área de pescaria, Bodra (2020) desenvolveu um método para adquirir dados absolutos (calibrados) de retroespalhamento do fundo oceânico, na faixa de frequência de 45 a 450 kHz, e ângulos de incidência de 90° a 5°. Feito isso, o sonar multifeixe foi ajustado aplicando os parâmetros de calibração com origem na diferença entre os valores de referência e os dados obtidos pelo sonar. Ressalta-se que, para obter valores relativos a uma longa faixa de frequência, foram utilizados quatro transdutores.

Bodra (2020) cita que o diferencial do método criado está na etapa após a determinação dos valores de calibração, pois são aplicados em uma área extensa (o leito oceânico), logo, é necessário aplicar compensações de perdas de transmissão (TL) e área ensonificada.

3.9.2. Aprimoramentos de software de processamento

De acordo com Malik et al. (2019), a consistência do processamento de retroespalhamento é um aspecto que diz respeito a fabricantes de sistemas sonar, desenvolvedores de software comerciais, acadêmicos e usuários finais. Logo, sua atuação conjunta, é diferencial para o desenvolvimento de protocolos para testar e comparar resultados de processamento de software.

Para serem estabelecidos os critérios que possibilitem o desenvolvimento de um software, são necessários testes que envolvam a atuação de grupos de estudo que realizem esforços separados para que, no futuro, sejam integrados. Para reduzir as diferenças entre os diferentes produtos obtidos, foram realizadas comparações entre o que é fornecido por

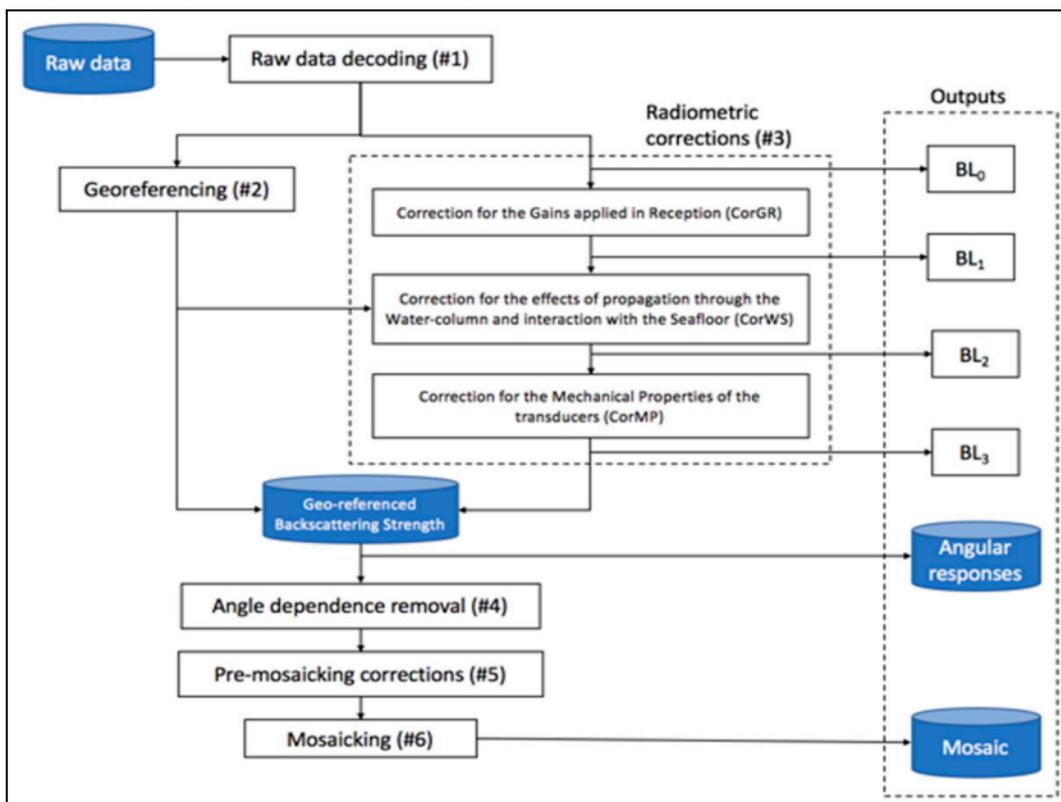
um software e o resultado esperado, de modo a aumentar a qualidade do procedimento. (MALIK et al., 2019)

Segundo Malik et al. (2019), a colaboração entre fornecedores de softwares (HIPS & SIPS da Teledyne CARIS, SonarScope e Fledermaus Geocoder Toolbox (FMGT) da QPS) possibilitou realizar a comparação entre os produtos finais dos softwares, observando que as diferenças são ocasionadas em etapas intermediárias do processamento. Como não houve uma participação integrada, os resultados foram disseminados a outros desenvolvedores, de modo a incitar a cooperação de todos.

De acordo com a Figura 22, é possível visualizar as etapas intermediárias de processamento de dados, sendo o foco do estudo as etapas dos níveis dos arquivos de dados brutos (BL0) e após correções radiométricas, mas antes da remoção da dependência angular (BL3). (MALIK et al., 2019)

Ao serem comparadas as respostas das etapas processadas por cada software, observou-se diferenças maiores que 10 dB, o que indica que nessas etapas, cada pacote de software realiza uma abordagem de leitura de dados diferentes, sendo esse um aspecto relevante para a melhoria da qualidade do produto final. Portanto, a padronização de procedimentos como: escolha do método de cálculo para a tendência central; seleção de amostras usadas para calcular BL0; e escolha de domínio linear ou logarítmico, irá balizar o usuário de acordo com a sua finalidade. (MALIK et al., 2019)

Figura 22 - Etapas intermediárias de computação dos dados de *backscatter* (BL₀, BL₁, BL₂, BL₃).



Fonte: MALIK et al. (2019).

4. DISCUSSÃO

A realização do estudo do sinal de backscatter no ecobatímetro multifeixe ressalta a importância que o assunto obteve com o desenvolvimento da tecnologia, de forma que, para serem alcançados elevados níveis de qualidade faz-se necessário o uso de ferramentas que proporcionem esse incremento, e o backscatter possui essa capacidade.

A equação sonar, utilizada para caracterizar os termos alusivos à propagação acústica, é composta por intensidades mensuradas em decibéis relacionadas à transmissão do sinal, recepção, perdas do meio e espalhamento calculado, sendo esse último onde se encontra o backscatter. Ao evidenciar o sinal de retroespalhamento, é possível determinar sua intensidade e obter informações sobre o leito oceânico.

A utilização do ecobatímetro multifeixe como meio de aquisição de dados de retroespalhamento proporciona maior praticidade no processamento do backscatter, em virtude da simultaneidade de aquisição de dados de retroespalhamento e batimetria. Nesse sentido, apresentou-se seu princípio de funcionamento, componentes, parâmetros, vantagens e desvantagens de aplicação.

Parâmetros intrínsecos do multifeixe influenciam na qualidade de aquisição do sinal. A diretividade influencia de modo que quanto maior, melhor a discriminação em marcação do equipamento, entretanto, ao serem empregadas altas frequências, o alcance é prejudicado.

O backscatter propriamente dito trata-se de uma intensidade sonora enviada de volta a sua fonte, essa intensidade varia de acordo com o alvo e a distância entre eles. Ao ser priorizada a aquisição de dados de backscatter, é possível otimizar recursos e efetuar interpretações de fundo em áreas mais extensas, sendo necessária uniformidade para a análise integrada.

Foram definidas características que alteram o sinal de retorno: frequência, ângulo de incidência e rugosidade. Diante dessa análise, é possível afirmar que nenhum fundo é completamente liso. O comportamento do backscatter com a variação de frequência permite a classificação do fundo. Além disso, a frequência também altera a proporção de contribuição volumétrica de um sedimento. De acordo com Oliveira Junior (2012), espera-se pouca penetração do sinal no sedimento. Para servir como referência, em um sonar de 240 KHz, estima-se uma penetração entre 0 e 7 cm em sedimentos do tipo areia e silte. Outros fatores como a presença de gás ou conchas, nos sedimentos, podem alterar significativamente estes resultados.

O ângulo de incidência resulta em mudanças no sinal de retorno, logo, são determinados setores, nos quais, a intensidade de backscatter é adequada para análise, e neles, é possível realizar a classificação sedimentar com mais clareza. Oliveira Junior (2012) menciona que o retroespalhamento do fundo depende diretamente das propriedades dos sedimentos, incluindo aquelas relacionadas à interface entre a água e o fundo (termos de impedância e rugosidade) e ao subfundo (termos de heterogeneidade volumétrica), sendo que cada propriedade apresenta maior relevância dependendo do ângulo de ensonificação.

A rugosidade atua como relevante fator de influência, sendo possível classificar com maiores detalhes o tipo de sedimento, o que engloba propriedades de tamanho, natureza do fundo e biodiversidade. Segundo Pelisson (2021), tomando como modelo um fundo plano e homogêneo, a reflexão próxima ao nadir ($\theta_i \approx 0^\circ$, $\theta_{GR} \approx 90^\circ$) proporciona ecos mais intensos. Caso o fundo marinho seja composto por sedimentos de baixa rugosidade, como lama, silte ou areia fina, conforme o feixe se afastar do nadir, rapidamente a intensidade do retroespalhamento medido diminuirá, devido a característica

especular das superfícies mais macias. Contudo, se for composto por materiais mais duros, como pedras ou corais, a redução do retroespalhamento medido será mais suave.

Após o processamento dos dados, podem ser gerados mosaicos que auxiliam a visualização do local dos sedimentos, e servem de base para as demandas das diferentes áreas: comercial (exploração de petróleo), ambiental (pesquisa de ambientes bentônicos) e militar (guerra de anti minagem e cartografia).

Em seu emprego na cartografia, Artilheiro (1998) demonstrou as vantagens de serem instituídas as informações de backscatter nas cartas náuticas, confirmando que, ao serem utilizadas informações de correlação acústica em conjunto com a batimetria, o tratamento de dados fornecerá resultados de maior qualidade, e possibilitará a identificação de anomalias, identificação do tipo de fundo, e definição de áreas regulares e irregulares com maior confiabilidade.

No âmbito militar, Earls (2001) aperfeiçoou o modelo da marinha americana baseado na análise das mudanças de profundidade, e elaborou um modelo que auxilia a identificar objetos no leito marinho, e diferenciá-los por meio da aspereza, a partir de um valor de referência. Assim, é possível descobrir a localização e a profundidade de minas submarinas mesmo que camufladas por objetos em seu entorno.

Já no meio ambiental, Lurton e Lamarche (2015) expõem o fato de que a comunidade científica tem a capacidade de aprimorar suas análises com a interpretação para fins de determinação de ambientes bentônicos, dado que a abrangência dos dados de backscatter possuem maior extensão quando comparadas com amostras pontuais coletadas do fundo. Para a caracterização de uma área com dados físicos, é necessário inferir características, diferentemente do backscatter.

De acordo com as tabelas que apresentam informações gerais e comparam o desempenho dos softwares SonarWiz Bathymetry, HYSWEEP, Qimera, CARIS HIPS & SIPS, foram analisados nas tabelas 1, 2, 3 e 4, os aspectos em que cada software se destaca, permitindo identificar o melhor desempenho, tais quais: opções de exportação do arquivo final, extensões de arquivo de entrada, suporte a formatos de fundo, atributos de grade, tipo de algoritmo de limpeza automática, e sistemas suportados.

Tomando-se como foco as tarefas relacionadas ao backscatter obtido pelo multifeixe, nota-se que o CARIS possui maior quantidade de extensões de arquivos de entrada, sendo similar ao SonarWiz, que aceita mais sistemas hidrográficos; entretanto, não

aceita a inserção de mais de 500 sondagens em um só projeto. Já o CARIS, não possui limite de sondagens aceitas.

Em aspectos específicos como tipo de algoritmo de limpeza automática e módulos, evidenciam-se os softwares SonarWiz Bathymetry e o módulo HYSWEEP, respectivamente.

Com relação à criação de softwares para o processamento de dados, foi observado no estudo de Malik et al. (2019) que os desenvolvedores, apesar de fornecerem resultados similares, não possuem informações de base para a criação de dados mais uniformes que integrem os dados finais, independente do software utilizado.

Bodra (2021) confirmou a confiabilidade do método de calibração, ao obter resultados suaves e contínuos utilizando o método desenvolvido por ele, para calibração do ecobatímetro multifeixe a partir de valores de referência, obtidos de esferas com valores de intensidade de retorno determinados. Nota-se, então, a importância da calibração para a aquisição de dados, pois em situações que não seja possível o processamento por falta de qualidade das informações obtidas, há o gasto de mais recursos desnecessariamente.

5. CONCLUSÃO

Foi observado que a análise do sinal de backscatter demonstra grande eficiência e potencial de aplicação em áreas relacionadas à segurança da navegação, ciências biológicas, projetos militares e comerciais, sendo relevante o aprofundamento dos estudos relativos aos métodos utilizados para calibrações e aplicações, e aprimoramento dos softwares de aquisição.

No decorrer das pesquisas, por ocasião do estudo das características dos sedimentos que influenciam o sinal do backscatter, e que são aplicadas de acordo com a demanda do usuário, são obtidos benefícios de grande relevância para a comunidade científica, empresas fornecedoras e serviços hidrográficos.

No que tange a área de cartografia, é possível afirmar que os dados do tipo de fundo podem subsidiar, com maior nível de confiança, a tença em uma área para fundeio. Além disso, a inclusão de informações remotas mais detalhadas do tipo de fundo marinho em conjunto com o uso de amostras físicas aprimora a segurança da navegação, evita possíveis acidentes e poupa esforços financeiros.

A área militar é beneficiada no aspecto relacionado ao planejamento estratégico, tendo em vista as aplicações na guerra de minas.

Vale ressaltar que, para a continuidade das melhorias no produto fornecido pela análise de backscatter, estudos aprofundados devem ser realizados, o que abrange a área de desenvolvimento de softwares de processamento, devendo-se atentar às características relacionadas à interação entre usuários e fabricantes, configurações do sonar, e níveis de incerteza dos instrumentos, além de melhores procedimentos para a configuração do sonar, no que tange à coleta de dados de retroespalhamento.

Foi observado, também, que há aprimoramentos a serem realizados na área de calibração de equipamentos de aquisição, tendo em vista que os dados obtidos possuem maior uniformidade, e será possível a análise de informações de diferentes equipamentos com a mesma qualidade de processamento.

Visando apoio ao Serviço Hidrográfico Brasileiro, as tabelas e artigos expostos, nesse trabalho, relacionados aos softwares de processamento de dados de backscatter, permitem afirmar que o software CARIS HIPS & SIPS, utilizando o complemento do GeoCoder, possui ferramentas que auxiliam, tanto os operadores em meios de aquisição (navios), quanto pesquisas e processamentos realizados em gabinete. Outrossim, permite análises em extensas áreas de pesquisa, e garante maior liberdade na edição de configurações do software e definição de parâmetros para o processamento dos dados.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

ARTILHEIRO, F. M. F. **Analysis and Procedures of Multibeam Data Cleaning for Bathymetric Charting**. M. Eng. report, Department of Geodesy and Geomatics Engineering. Technical Report, 1998.

BAJOR, Eric J. **High-frequency broadband seafloor backscatter in a sandy estuarine environment**. 2015. Tese de Doutorado. University of New Hampshire.

BATHYMETRY. **Chesapeake Technology**, 2023. Disponível em: <<https://chesapeaketech.com/products/bathymetry/>>. Acesso em: 04 de set. de 2023.

BRISSETTE, Michel B. **The application of multibeam sonars in route survey**. 1997. Tese de Doutorado. University of New Brunswick.

BROWN, Craig J. et al. Multispectral multibeam echo sounder backscatter as a tool for improved seafloor characterization. **Geosciences**, v. 9, n. 3, p. 126, 2019.

CLARKE, JE Hughes et al. Inter-calibrating multi-source, multi-platform backscatter data sets to assist in compiling regional sediment type maps: Bay of Fundy. In: **Proceedings of the Joint Canadian Hydrographic and National Surveyors' Conference, Victoria, Australia**. 2008. p. 26-29.

CONCEIÇÃO, Fernanda V. Utilização do Backscatter de Sonares Multifeixe na Classificação Acústica do Fundo Oceânico: Um Exemplo de Aplicação na Enseada de Martel, Baía do Almirantado, Península Antártica. **Final Graduation Paper on Geophysics, UFF, Rio de Janeiro, Brazil**, 2009.

DA CRUZ PECANHA, Anderson Barbosa. **Evaluating the usage of multi-frequency backscatter data as an additional tool for seafloor characterization**. 2016. Tese de Doutorado. University of New Hampshire.

DUFEK, Tanja. **Backscatter Analysis of Multibeam Sonar Data in the area of the Valdivia Fracture Zone using GEOCODER in CARIS HIPS&SIPS and IVS3D Fledermaus**. 2012. Tese de Doutorado. HafenCity Universität Hamburg.

EARLS, Patrick J. **New Bottom Roughness Calculation from Multibeam Echo Sounders for Mine Warfare**. 2012. Tese de Doutorado. Monterey, California. Naval Postgraduate School.

ELLINGSEN, Kari E.; GRAY, John S.; BJØRNBOM, Erik. Acoustic classification of seabed habitats using the QTC VIEW™ system. **ICES Journal of Marine Science**, v. 59, n. 4, p. 825-835, 2002.

FONSECA, Luciano E.; CALDER, Brian R. Geocoder: an efficient backscatter map constructor. 2005.

GAGG, G. Levantamentos Hidrográficos – Noções Gerais. Departamento de Geodésia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016. 41p.

GUIMARAES, Ivan Bodra. **Obtaining a reference for calibrating broadband multibeam seabed backscatter**. 2020. Tese de Doutorado. University of New Hampshire.

HIROJI, Anand et al. Extracting sonar relative beam patterns for multi-sector multibeam sonar. 2023.

HEWITT, Antony; SALISBURY, Richard; WILSON, Jerry. Using multibeam echosounder backscatter to characterize seafloor features. **Sea Technology**, v. 51, n. 9, p. 10-13, 2010.

HYPACK. HYSWEEP, 2023. Disponível em: <<https://www.hypack.com/HYSWEEP>>. Acesso em: 02 de set. de 2023.

INSTRUMENTS, SeaBeam. Multibeam sonar theory of operation (Manual). **East Walpole, USA**, 2000.

JACKSON, Darrell; RICHARDSON, Michael. **High-frequency seafloor acoustics**. Springer Science & Business Media, 2007.

KRUEGER, C.P., **Levantamentos Batimétricos**, Revista INFOGEO 39 (MUNDOGEO) setembro 2005, Disponível em: <http://mundogeo.com/blog/2005/09/27/levantamentosbatimetricos>). Acesso em 10/04/2023.

LURTON, Xavier et al. Backscatter measurements by seafloor-mapping sonars: guidelines and recommendations. **A collective report by members of the GeoHab Backscatter Working Group**, n. May, p. 1-200, 2015.

LURTON, Xavier. **An introduction to underwater acoustics: principles and applications**. London: springer, 2002.

MALIK, Mashkoor et al. Results from the first phase of the seafloor backscatter processing software inter-comparison project. **Geosciences**, v. 9, n. 12, p. 516, 2019.

MATOS, P. P. O. et al. Utilização de novas tecnologias para o mapeamento cartográfico náutico sistemático da Hidrovia do Rio Paraguai. **Anais 6º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Cuiabá, MT. Embrapa Informática Agropecuária/INPE**, p. 78-84, 2016.

OHI. **Manual de Hidrografia**. Organização Hidrográfica Internacional. Lisboa: Instituto Hidrográfico. 2005. 526p.

OLIVEIRA JUNIOR, Aluizio Maciel de. Classificação remota de sedimentos do fundo oceânico: correlação estatística de mapas e amostras. Niterói, 2012. 117 f. Tese (Doutorado em Geologia e Geofísica Marinha) - Universidade Federal Fluminense, 2012.

PELISSON, Eduardo. **Caracterização Geoacústica baseada em dados de retroespalhamento do ecobatímetro multifeixe**. 2021. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso de Aperfeiçoamento em Hidrografia Para Oficiais, Centro de Instrução e Adestramento Almirante Radler de Aquino, Niterói, 2021.

PRESTON, J. M. et al. Seabed classification of multibeam sonar images. In: **MTS/IEEE Oceans 2001. An Ocean Odyssey. Conference Proceedings (IEEE Cat. No. 01CH37295)**. IEEE, 2001. p. 2616-2623.

SCHIMEL, Alexandre CG et al. Multibeam sonar backscatter data processing. **Marine Geophysical Research**, v. 39, n. 1-2, p. 121-137, 2018.

SOFTWARE, HYDROGRAPHIC PROCESSING. **GeoMatching**, set. de 2023. Disponível em: <<https://encurtador.com.br/qsBQ9>>. Acesso em: 02 de set. de 2023.

TANGENT, QUESTER. **Hydro International**, 01 de jan. de 2008. Disponível em: <<https://www.hydro-international.com/content/article/quester-tangent>>. Acesso em: 02 de set. de 2023.

ZIYIN, W. et al. **High-resolution Seafloor Survey and Applications**. Pequim: Science Press. 2021.