



MARINHA DO BRASIL
DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO
CENTRO DE INSTRUÇÃO E ADESTRAMENTO ALMIRANTE RADLER DE AQUINO
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO EM HIDROGRAFIA PARA OFICIAIS

1º Ten. BENENGUEYE MBATIA AURELIEN

OS DADOS DE COLUNA DE ÁGUA E A SUA APLICAÇÃO EM HIDROGRAFIA

Niterói, RJ

2023

BENENGUEYE MBATIA AURELIEN

OS DADOS DE COLUNA DE ÁGUA E A SUA APLICAÇÃO EM HIDROGRAFIA

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: CC Leonardo Gomes de Araujo

Niterói-RJ

2023

BENENGUEYE, MBATIA Aurelien.

Os Dados De Coluna De Água E A Sua Aplicação Em Hidrografia/ Aurelien Benengueye Mbatia. – Rio de Janeiro: MB/CIAARA, 2023.

xxii,59 f.: 15.; 29,7 cm.

Orientador: CC Leonardo Gomes de Araujo

Monografia – MB/CIAARA. Curso de Aperfeiçoamento em Hidrografia para Oficiais, 2023.

Referências Bibliográficas: p 57-59

1.Sondagem. 2.Dados da coluna de água. 3. Profundidade mínima. I. Gomes de Araujo, Leonardo. II. Centro de Instrução e Adestramento Almirante Radler de Aquino, CIAARA, Curso de Aperfeiçoamento em Hidrografia para Oficiais. III. Título.

OS DADOS DE COLUNA DE ÁGUA E A SUA APLICAÇÃO EM HIDROGRAFIA

BENENGUEYE MBATIA Aurelien

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:

Capitão de Corveta Leonardo Gomes de Araujo

Capitão de Corveta Ivan Bodra Guimarães

Capitão de Corveta (RM3-T) Gabriela Nery Mendes

NITERÓI, RJ, BRASIL

OUTUBRO DE 2023

"A educação é a arma mais poderosa que você pode usar para mudar o mundo."

Nelson Mandela

Agradecimentos

Inicialmente, gostaria de expressar minha profunda apreciação a Deus Todo-Poderoso por este ano extraordinário que me proporcionou a oportunidade de desfrutar de boa saúde e tranquilidade. Agradeço de coração à minha família por suas palavras de incentivo e, acima de tudo, por acreditarem em mim incondicionalmente.

Gostaria de estender meus agradecimentos a toda a minha hierarquia militar por depositar sua confiança em mim ao me nomear para realizar este curso e por me acompanhar ao longo do processo.

É com especial apreço que desejo agradecer ao meu superior, o Contra-Almirante MENDOUA Jean, cujo apoio inestimável foi fundamental para a concretização deste projeto. Almirante, estou eternamente agradecido por sua constante assistência e apoio multifacetado.

Não posso deixar de mencionar meu orientador, o Capitão de Corveta LEONARDO GOMES DE ARAUJO, pelo generoso espaço que me concedeu na execução e desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, estendo meus agradecimentos a todos os membros do CIAARA, à administração e a todos os instrutores por sua disponibilidade e apoio durante este processo.

OS DADOS DE COLUNA DE ÁGUA E SUA APLICAÇÃO EM HIDROGRAFIA

BENENGUEYE MBATIA Aurelien

Outubro /2023

Orientador: CC Leonardo Gomes de Araujo

Programa: Curso de Aperfeiçoamento em Hidrografia

A análise batimétrica dos leitos marinhos e fluviais, crucial para a compreensão desses ambientes, agora é enriquecida com a inclusão de dados da coluna de água. Essas informações vão além das medições tradicionais de profundidade, oferecendo insights cruciais em ecossistemas marinhos e processos oceânicos. Esta inovação abre portas para diversas aplicações, como a detecção precisa de cardumes de peixes e a identificação de objetos submersos. Contudo, essa evolução não está isenta de desafios técnicos, tornando essencial a realização de estudos práticos para a efetiva integração desses dados na análise hidrográfica. As possibilidades desses dados são vastas, abrangendo uma variedade de domínios e revelando padrões importantes, como a distribuição de organismos marinhos, ou a presença de escape de gases. Uma vantagem notável é a compreensão mais profunda da dinâmica oceânica, incluindo correntes e ecologia marinha.

Entretanto, a riqueza desses dados também implica desafios complexos, como o gerenciamento e processamento maciço de volumes significativos, que podem sobrecarregar infraestruturas de armazenamento e análise. Estratégias avançadas, como a filtragem acústica, são essenciais para refinar e interpretar esses dados complexos, conforme exemplificado no estudo prático realizado com o software CARIS HIPS and SIPS 11.4. Estudos de caso envolvendo os navios CT Paraíba e HMCS Mackenzie oferecem insights tangíveis sobre os impactos e limitações dos dados da coluna de água. No caso do CT Paraíba, a integração desses dados revelou detalhes do naufrágio não discerníveis apenas com dados batimétricos, enfatizando a importância dos dados de coluna de água para produzir a informação mais segura nas cartas náuticas. Por outro lado, o HMCS Mackenzie revelou pequenas discrepâncias nas profundidades entre os dados batimétricos e os da coluna de água, ressaltando a riqueza de detalhes que esses dados podem proporcionar.

Em síntese, a inclusão dos dados da coluna de água na análise hidrográfica representa um avanço significativo na compreensão dos oceanos e seus ecossistemas. Apesar dos desafios técnicos, essa abordagem oferece um vasto leque de oportunidades para enriquecer nosso conhecimento marinho. Os estudos práticos destacam a necessidade de abordagens multidisciplinares para enfrentar esses desafios e explorar plenamente o potencial desses dados inovadores, à medida que avançamos em direção a uma gestão sustentável dos recursos marinhos e aprimoramos nossa compreensão dos oceanos.

Palavras-Chave: Análise Hidrográfica, Dados da Coluna de Água, Ecossistemas Aquáticos, Processos Oceânicos, Filtragem Acústica, Estudo Prático, Cartas Náuticas, Atualização de Dados, Navegação Marítima.

WATER COLUMN DATA AND ITS APPLICATION IN HYDROGRAPHY

BENENGUEYE MBATIA Aurelien

October /2023

Advisor: CC Leonardo Gomes de Araujo

Department: Hydrography Course for Officers

The bathymetric analysis of seabed and riverbeds, crucial for understanding these environments, is now enhanced by the inclusion of water column data. These insights surpass traditional depth measurements, offering crucial perspectives on marine ecosystems and oceanic processes. This innovation unlocks doors to various applications, such as precise school of fish detection and submerged object identification. However, this evolution does not come without technical challenges, underscoring the need for practical studies to effectively integrate this data into hydrographic analysis. The potential of these data is vast, spanning diverse domains and revealing significant patterns, including marine organism distribution, or the presence of gas flares. A notable advantage lies in a deeper understanding of oceanic dynamics, encompassing currents and marine ecology.

Yet, the richness of this data also presents complex challenges, including the management and processing of substantial volumes of data that can strain storage and analysis infrastructures. Advanced strategies, like acoustic filtering, are vital to refine and interpret this intricate data, as exemplified in the practical study conducted using CARIS HIPS and SIPS 11.4 software. Case studies involving the shipwrecks CT Paraíba and HMCS Mackenzie provide tangible insights into the impacts and limitations of water column data. In the case of CT Paraíba, integrating this data unveiled details of the shipwreck not discernible solely through bathymetric data, emphasizing the importance of water column data to produce the most reliable information on nautical charts. Conversely, HMCS Mackenzie revealed minor discrepancies in depths between bathymetric and water column data, highlighting the granularity of details these data can provide.

In summary, the inclusion of water column data in hydrographic analysis represents a significant advancement in understanding oceans and their ecosystems. Despite technical challenges, this approach offers a wide array of opportunities to enrich our marine knowledge. Practical studies underscore the need for multidisciplinary approaches to address these challenges and fully explore the potential of these innovative data, as we progress toward sustainable marine resource management and enhance our comprehension of the oceans.

Keywords: Hydrographic Analysis, Water Column Data, Aquatic Ecosystems, Oceanic Processes, Acoustic Filtering, Practical Study, Nautical Charts, Data Updates, Maritime Navigation.

Lista de figuras

Figura 1 - Processo de detecção.	17
Figura 2 - Tipos de dados do ecobatímetro multifeixe.....	20
Figura 3 - Exemplos de alvos acústicos identificáveis na imagem da coluna de água.....	21
Figura 4 - Sedimentos em suspensão.....	23
Figura 5 - “Flares” no Golfo do México.	24
Figura 6 - Exemplo de alvos que podem ser detectados no meio da coluna de água.....	25
Figura 7 - Detecções falhas em cascos soçobrados	26
Figura 8 - Exemplo de processamento levando em conta as informações de coluna de água.	32
Figura 9 – Imagem do CT Paraíba.....	34
Figura 10 - Posição do casco do CT Paraíba	34
Figura 11 – Imagem do HMCS Mackenzie.....	35
Figura 12 - Posição do casco do HMCS Mackenzie	35
Figura 13 - Região ensonificada representada no Software	37
Figura 14 - Área Selecionada no Software para avaliação	38
Figura 15 - Visão inicial dos dados de coluna de água	39
Figura 16 - Dados de coluna de água dos “pings” selecionados.	40
Figura 17 - Exibição dos dados filtrados	41
Figura 18 - Subset Editor.....	42
Figura 19 - Representação 3D após execução do Subset Editor	43
Figura 20 - Superfície com dados batimétricos e dados inseridos da coluna de água.....	44
Figura 21 - Comparação de uma foto do CT Paraíba e a superfície unicamente com dados batimétricos	46
Figura 22 - Seleção de sondagens (CT Paraíba) - Apenas batimetria	46
Figura 23 - Superfície com dados batimétricos e dados inseridos da coluna de água.....	47
Figura 24 - Seleção de sondagens (CT Paraíba) - Batimetria e WCD	47

Figura 25 - Comparação de uma foto real do HMCS Mackenzie e a superfície unicamente com dados batimétricos	48
Figura 26 - Seleção de sondagens (HMCS Mackenzie) - Apenas batimetria	49
Figura 27 - Comparação da superfície unicamente com dados batimétricos e com WCD	50
Figura 28 - Seleção de sondagens (HMCS Mackenzie) - Batimetria e WCD.....	50

Lista de tabelas

Tabela 1 - Comparação das profundidades mínimas.....	30
Tabela 2 - Comparação geral das profundidades.....	55

Lista de abreviaturas e siglas

CHP	Civil Hydrography Programme
CSL	Canadian Survey Launch
CT	Contra-Torpedeiro
CTD	Conductivity, Temperature, and Depth
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
EL	Echo Level
GPS	Global Positioning System
HMCS	Her Majesty's Canadian Ship
MBES	Multibeam Echosounder
NPqHo	Navio de Pesquisa Hidroceanográfico
OHI	Organização Hidrográfica Internacional
pH	Potencial hidrogeniônico
SL	Source Level
TL	Transmission Loss
TS	Target Strength
WCD	Water Column Data

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1. Princípio de funcionamento e tipos de dados registrados.....	17
2.1.1. Princípio de funcionamento.....	17
2.1.2. Ecobatímetro multifeixe e seus principais dados.....	18
2.2. Dados da coluna de água e sua utilização.....	20
2.2.1. Utilização em geologia: sedimentos em suspensão.....	22
2.2.2. Detecção de gás natural.....	24
2.2.3. Rastreamento dos alvos no meio da coluna de água.....	25
2.2.4. Destroços de navios.....	26
2.3. Dificuldades relacionadas ao uso de dados da coluna d'água.....	27
2.3.1. Volume de dados.....	27
2.3.2. Desafios do processamento e análise de dados de coluna de água.....	28
2.4. Profundidades mínimas obtidas por diferentes equipamentos.....	29
3. METODOLOGIA – MOTIVAÇÃO, PROCEDIMENTOS E EMPREGO EM DADOS REAIS.....	32
3.1. Motivação.....	32
3.2. Dados utilizados.....	33
3.2.1. Informações sobre a linha do ex-CT Paraíba.....	33
3.2.2. Informações sobre a linha do ex-HMCS Mackenzie.....	35
3.3. Regras estabelecidas e passos iniciais.....	36
3.3.1. Coleta de dados.....	36
3.3.2. Programa utilizado.....	36
3.3.3. Passos iniciais com o processamento tradicional.....	36
3.4. Procedimentos para o processamento de dados de coluna de água.....	37
3.4.1. Delimitar a área de estudo.....	37
3.4.2. Uso do editor de varredura (Swath Editor).....	38
3.4.2.1. Visão inicial dos dados de coluna de água.....	38
3.4.2.2. Agrupamento dos pings.....	39
3.4.2.3. Filtragem.....	40
3.4.3. Subset Editor.....	41
4. RESULTADOS.....	44
4.1. Caso do ex-CT Paraíba.....	44
4.1.1. Resultados com dados batimétricos.....	44
4.1.2. Resultados com dados da coluna de água.....	46
4.2. Caso do HMCS Mackenzie.....	47
4.2.1. Resultados com dados batimétricos.....	47
4.2.2. Resultados com dados da coluna de água.....	48
5. DISCUSSÕES.....	51
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	53
7. CONCLUSÕES.....	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Durante um longo período, a coleta de informações batimétricas do leito marinho foi realizada de forma manual, utilizando instrumentos simples como o prumo-de-mão, que consistia em um peso preso a um cabo (OHI, 2005)^[14]. A profundidade era estimada medindo-se o comprimento do cabo necessário para que o peso alcançasse o fundo. Esse processo exigia esforço físico significativo para lançar e recolher o cabo.

No início do século XX, durante a Primeira Guerra Mundial, e com a evolução da guerra anti-submarina (Katzir, 2012)^[22], a exploração dos fenômenos acústicos submarinos trouxe um avanço significativo no estudo da morfologia do fundo marinho. Os ecobatímetros surgiram como resultado desse avanço, inicialmente com um único feixe, derivados dos sonares militares, e se tornaram a principal fonte de informações batimétricas, substituindo gradativamente as medições manuais por medições eletrônicas (OHI, 2005)^[14]. Ao longo do tempo, os ecobatímetros passaram por constantes melhorias, e no final da década de 90 (VILMING, 1998)^[10], versões comerciais com múltiplos feixes se tornaram disponíveis. Esses sistemas multifeixe são reconhecidos pela sua qualidade e alta resolução, sendo considerados os mais precisos para medições batimétricas (Hughes Clarke et al., 1996)^[9]. Apesar de todo embasamento teórico e da existência de algoritmos de detecção altamente precisos nos ecobatímetros multifeixe (SEABEAM, 2000)^[11], sabe-se que problemas de detecção podem ocorrer na presença de alguns alvos de características peculiares, como os mastros de navios naufragados. Tal problema pode resultar na falha do registro das profundidades mínimas, valores esses que são considerados como críticos para a segurança da navegação.

Em continuidade ao já citado processo de melhoria constante, os ecobatímetros multifeixe, além de registrarem informações batimétricas do fundo marinho, também passaram a disponibilizar as informações registradas ao longo de toda a trajetória do pulso sonoro na água, desde o transdutor até o fundo (Colbo et al., 2014)^[25], conhecidas como “dados de coluna de água” (“Water Column Data”). Inicialmente disponibilizados por demanda da indústria pesqueira, que visava aprimorar a detecção de cardumes e a categorização dos peixes, por meio da resposta acústica de sua morfologia aos sinais emitidos (Hughes Clarke, 2006)^[15], os dados de coluna de água se mostraram versáteis, extrapolando as necessidades associadas à pesca, e passaram a permitir o reconhecimento de regiões de escape de gases, bem como a identificação de mastros e destroços de navios, além de objetos flutuantes perigosos, tais como minas explosivas. Em outras palavras, o emprego de dados de coluna de água na obtenção de

informações complementares aos registros batimétricos passou a ser uma nova realidade. Em que pese a contrapartida de ocupar espaço em disco maior, seu emprego traz diversas vantagens no ramo da hidrografia, indo desde uma avaliação mais assertiva sobre um dado espúrio até a definição de profundidade mínima de feições com formato peculiar.

Atualmente, a utilização desses dados se tornou ferramenta padronizada em alguns serviços hidrográficos, fornecendo incremento de segurança na definição de profundidades críticas. No entanto, algumas dificuldades associadas ainda restringem a propagação de seu uso no âmbito da DHN. Há limitações para ter acesso a esses dados, incluindo restrições do software de aquisição e do software de processamento, existe o desafio do tamanho dos arquivos e o espaço disponível em disco, tanto na aquisição quanto na gravação para a entrega dos dados, além da necessidade de computadores dotados de elevada capacidade de processamento e exibição de dados gráficos. Assim, considerando as limitações de emprego dentro da DHN, é possível que existam hidrógrafos que ainda não tiveram a oportunidade de trabalhar com este tipo de dados e, conseqüentemente, não entendem sua importância ou não sabem como extrair informações deles.

Neste contexto, o presente estudo se apresenta como uma alternativa para aqueles hidrógrafos que não puderam ampliar seus conhecimentos neste assunto. Assim, o estudo desenvolvido tem objetivo duplo. Em primeiro lugar, promover uma compilação teórica, que leve o leitor a compreender a importância dos dados de coluna de água, expondo os conceitos envolvidos, citando suas desvantagens e explorando suas vantagens. Em segundo lugar, expor os passos necessários no processamento desses dados para se chegar até um produto final, de modo a permitir exemplificar os pontos fortes, com base em dados reais, adquiridos em levantamentos hidrográficos, e permitir avaliar se sua adoção traz ganhos para os Serviços Hidrográficos.

Com o contexto anterior, as questões formuladas que norteiam os objetivos deste estudo são as seguintes:

- 1) Quais as vantagens do emprego dos dados de coluna de água em hidrografia?
- 2) As vantagens superam os desafios relacionados ao seu emprego?
- 3) Como esses dados devem ser processados?
- 4) Existe incremento real na segurança da navegação, que justifique sua adoção pelos Serviços Hidrográficos?

2. REFERENCIAL TEÓRICO

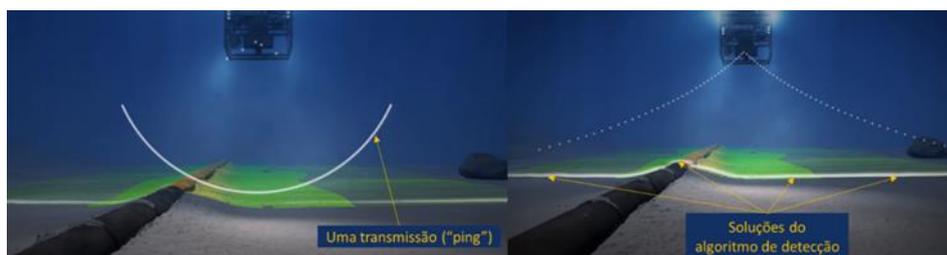
2.1. Princípio de funcionamento e tipos de dados registrados

2.1.1. Princípio de funcionamento

Os ecobatímetros são sistemas utilizados no campo da acústica submarina para obter informações detalhadas sobre o ambiente subaquático. Seu funcionamento é baseado nos princípios da propagação das ondas sonoras na água. Esses sistemas emitem pulsos sonoros, conhecidos como "ping", na água, que interagem com as camadas de água, objetos e o fundo do mar. As ondas sonoras retroespalhadas são captadas por receptores, chamados transdutores, e o sinal recebido é analisado, visando extrair informações sobre o ambiente subaquático.

Através da análise do sinal retroespalhado, os ecobatímetros fornecem uma ampla variedade de informações sobre o ambiente subaquático. Dessas informações pode-se derivar estimativas das características geomorfológicas do fundo marinho, como a topografia e a rugosidade do leito. Além disso, os ecobatímetros podem detectar a presença de objetos em movimento, como embarcações ou animais marinhos, bem como identificar cardumes de peixes. Sob o ponto de vista hidrográfico, um dos principais dados obtidos por esses sistemas é o valor da profundidade do local em que estão sendo utilizados. Esse valor é obtido por meio de algoritmos de detecção, que analisam o sinal retroespalhado, conforme exemplificado na **Figura 1**.

Figura 1 - Processo de detecção.



Fonte: Adaptado de www.teledynemarine.com/odom-hydrographic

A **Figura 1** ilustra o funcionamento dos algoritmos de detecção para obter o valor da profundidade. À esquerda, um pulso sonoro é transmitido e se propaga pela coluna de água até interagir com um alvo. À direita, o sinal resultante da interação é recebido pelo transdutor e avaliado pelos algoritmos de detecção, que fornecem a profundidade do local.

É importante ressaltar que o funcionamento dos ecobatímetros é altamente dependente das propriedades acústicas da água e do ambiente subaquático. As ondas sonoras emitidas pelos

ecobatímetros podem ser absorvidas, refratadas, refletidas ou dispersas pelas diferentes camadas de água, objetos ou pelo fundo do mar, impactando a qualidade do sinal retroespalhado captado pelos transdutores. Além disso, características da massa d'água, como pH, temperatura, salinidade e pressão, podem influenciar a velocidade do som e a atenuação do sinal, afetando as detecções realizadas pelos ecobatímetros (François e Garrison, 1982^[5], Urick, 1983^[6]). A velocidade do som na água é influenciada principalmente pela temperatura, salinidade e pressão. Variações nessas propriedades podem resultar em mudanças na velocidade de propagação das ondas sonoras. Por exemplo, o aumento da temperatura da água geralmente leva a um aumento na velocidade do som, enquanto o aumento da salinidade tende a aumentar a velocidade do som, mas em menor grau. A pressão também pode ter um efeito significativo na velocidade do som, especialmente em grandes profundidades onde a pressão é alta.

O sinal acústico retroespalhado é frequentemente descrito usando a equação sonar, que pode ser escrita, em decibéis, como sendo (Urick, 1983)^[6]:

$$EL = SL - 2TL + TS \quad (1)$$

Onde:

- EL é o nível do sinal medido no receptor;
- SL é o nível da fonte transmissora;
- TL é a perda, devido à propagação na coluna de água, da energia transmitida; e
- TS é o retorno de energia de retroespalhamento, de acordo com as características do alvo.

Existem outros fatores além das características físicas da água que podem afetar a propagação do som no ambiente aquático. Um desses fatores são os zooplânctons e microorganismos presentes na água (Maclennan e Simmonds, 1992)^[8]. Esses organismos têm a capacidade de absorver ou refletir as ondas sonoras, o que pode causar perturbações na sua propagação. Esta análise biológica não será ampliada nesta pesquisa, por não alterar os objetivos do trabalho e não incluir parâmetros para os dados de coluna de água.

2.1.2. Ecobatímetro multifeixe e seus principais dados

Um dos primeiros sistemas acústicos desenvolvidos na área da batimetria foi o ecobatímetro monofeixe. Sua principal função é estimar a profundidade da coluna de água, utilizando referências como a quilha do navio, o próprio transdutor ou, mais comumente, a linha d'água. O ecobatímetro monofeixe, como o próprio nome já induz, emite um único feixe sonoro em direção ao fundo do mar. A partir da medição do tempo de retorno do sinal combinada com

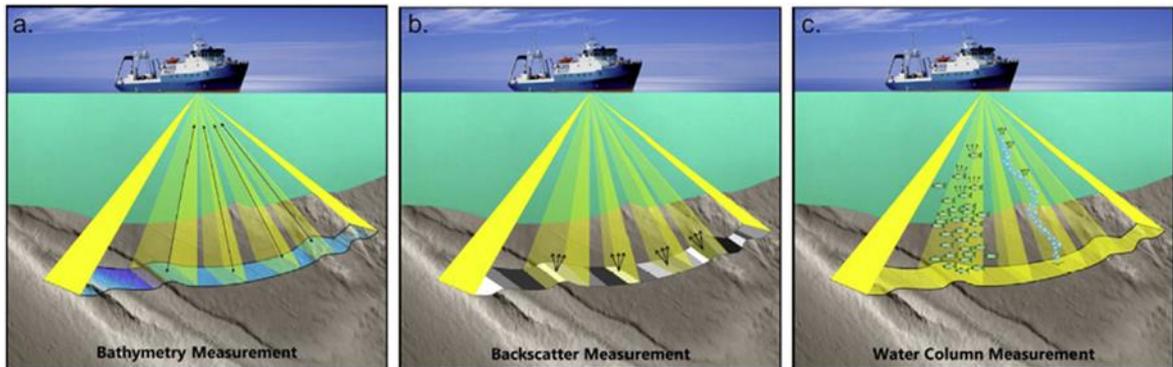
o conhecimento da velocidade do som no local, é possível determinar a profundidade (Lurton, 2002)^[13]. No entanto, devido às características de seu feixe e à sua limitada abertura angular, a cobertura batimétrica do ecobatímetro monofeixe se restringe aos dados obtidos no nadir das linhas percorridas pelo navio durante o levantamento hidrográfico.

Diferentemente do caso anterior, os ecobatímetros multifeixe se destacam por sua cobertura batimétrica, que, ao invés de obter informações por linhas, registram dados por áreas. Desde sua introdução na década de 1970 (Renard e Allenou, 1979^[4]), os ecobatímetros multifeixe passaram por significativas evoluções, sendo amplamente utilizados em diversas aplicações hidrográficas. Um ecobatímetro multifeixe típico é composto por um conjunto de transdutores, que emitem e recebem sinais acústicos, e por um conjunto de elementos eletrônicos, responsáveis pela geração, transmissão, recepção, digitalização e análise desses sinais, separando os dados em diferentes feixes distribuídos por toda a varredura. O sistema também inclui uma interface para o usuário e alguns elementos auxiliares, para receber informações de posição (exemplo: GPS), registrar os movimentos (atitude) aos quais a embarcação está sujeita, e para medir e perfilar a velocidade do som (Lurton, 2002^[13]). O conjunto de transdutores de emissão e de recepção pode variar em forma e frequência, dependendo de seu fabricante e da aplicação específica para a qual foi desenvolvido, sendo a configuração “Mills Cross” (Mills e Little, 1953^[1]; Lurton, 2002^[13]) a mais comumente utilizada. Trata-se de uma maneira de dispor o par de transdutores de transmissão e de recepção em forma de “T” ou de “L”, de modo a obter feixes estreitos, possibilitando maior discriminação do fundo. Maiores detalhes podem ser encontrados na referência citada.

O ecobatímetro multifeixe pode ser considerado como uma evolução do ecobatímetro monofeixe, operando de maneira semelhante a centenas de ecobatímetros monofeixe funcionando simultaneamente. Como introduzido anteriormente, esse sistema possui uma cobertura batimétrica definida por áreas e é capaz de mapear completamente o leito marinho, isto é, prover uma ensonificação total do fundo. Além de analisar o sinal recebido para registrar dados batimétricos, por meio dos algoritmos de detecção, o ecobatímetro multifeixe também registra os valores de intensidade do sinal que retorna dos locais ensonificados. Esses registros possibilitam a realização de análises que podem levar à classificação do tipo de material presente no fundo do mar. Com base nas intensidades, chamadas de “backscatter”, e com emprego de várias correções cuja definição foge ao escopo deste trabalho, é possível inferir características do substrato, como a presença de rochas, sedimentos ou outros tipos de materiais.

Atualmente, os ecobatímetros multifeixe também têm a capacidade de registrar o retorno do sinal ao longo de toda a coluna de água. Isso fornece informações adicionais sobre a estrutura vertical do ambiente subaquático, permitindo análises mais detalhadas e abrindo um novo campo a ser explorado. A **Figura 2** ilustra e diferencia os três tipos de dados que podem ser registrados por um ecobatímetro multifeixe.

Figura 2 - Tipos de dados do ecobatímetro multifeixe



Fonte: Adaptado de Lurton (2002)^[13]

Na imagem (**Figura 2**), a parte esquerda apresenta informações de batimetria, revelando as profundidades do ambiente aquático. No centro, são exibidos os dados de retroespalhamento ("backscatter"), que possibilitam inferir o tipo de fundo existente. Na parte direita, estão representados os dados relativos à coluna de água, fornecendo detalhes acerca das características presentes na vertical do corpo d'água, tais como cardumes ou escape de gases.

Uma vez apresentados os dados de coluna de água, segue-se uma série de exemplos que exploram os diferentes campos nos quais eles podem ser utilizados.

2.2. Dados da coluna de água e sua utilização

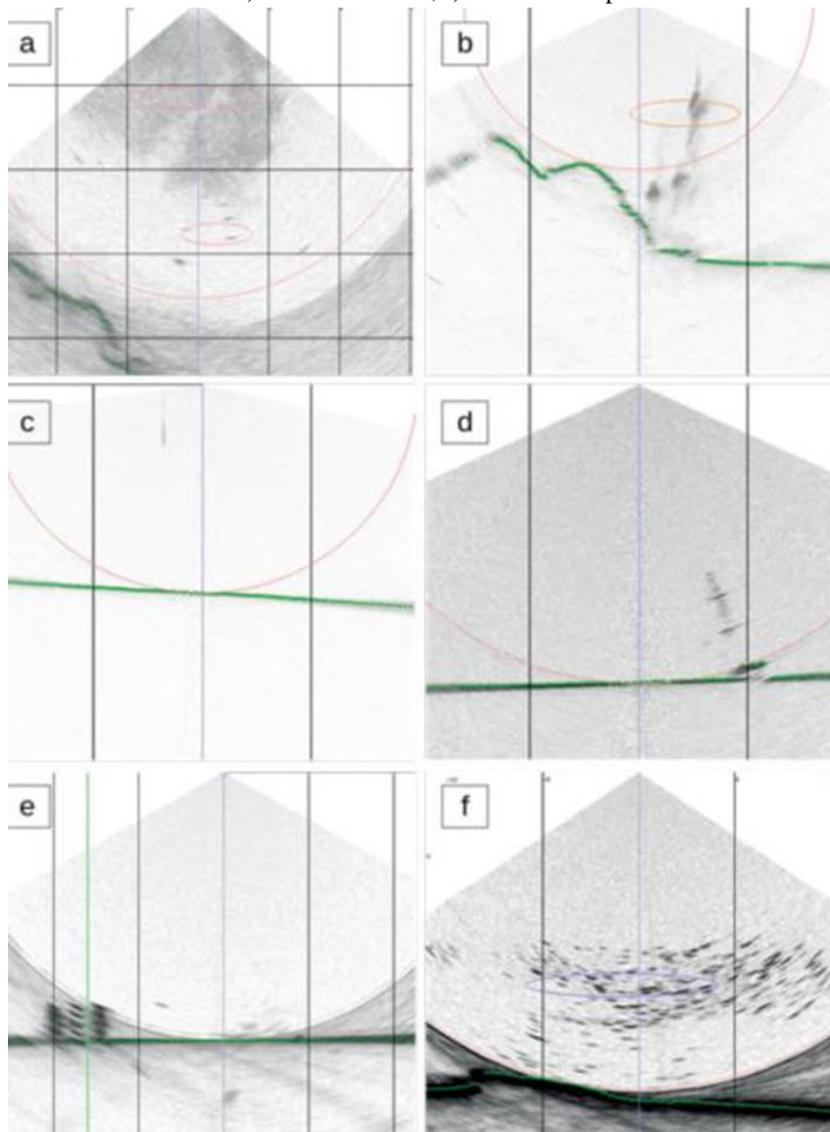
O uso dos ecobatímetros multifeixe remonta aos anos 1960, quando os primeiros modelos foram desenvolvidos para mapeamento do fundo do mar (Gardner et al., 1969)^[2]. Através dos sistemas MBES (Multibeam Echosounders), é possível obter mapas detalhados da topografia do leito marinho, revelando informações geomorfológicas importantes, como montanhas submarinas, vales e desfiladeiros. Esses dados também são utilizados para detectar e identificar estruturas submarinas, como recifes de corais, rochas submersas e bancos de areia, que podem representar riscos à navegação.

Em que pese a importância dos exemplos supracitados, o registro adicional das informações de coluna de água ampliou em muito o seu emprego. Além da utilização clássica, os dados da coluna de água obtidos por sistemas MBES são amplamente utilizados em diversas áreas, como hidrografia, geologia e oceanografia, e fornecem informações valiosas para várias aplicações relacionadas ao ambiente marinho.

Neste contexto, esses dados têm sido essenciais para mapear o fundo do mar, identificar estruturas e feições submarinas, caracterizar habitats marinhos, estudar processos sedimentares e monitorar mudanças no ambiente ao longo do tempo (Kostoglidis et al., 2002)^[12].

Figura 3 - Exemplos de alvos acústicos identificáveis na imagem da coluna de água.

- a) Esteira de navio; b) Bolhas de mergulhadores; c) Boia; d) Casco de veleiro;
e) Recife artificial; f) Cardume de peixes.



Fonte: adaptado de Abadie e Viala (2018)^[30]

A análise dos dados da coluna de água é fundamental para várias aplicações relacionadas ao ambiente marinho. Uma dessas aplicações significativas é a caracterização dos habitats marinhos, que permite avaliar a distribuição e cobertura de ecossistemas como recifes de coral, pradarias de algas e leitos de ervas marinhas. Esses dados desempenham um papel crucial na conservação e no manejo desses habitats, fornecendo informações essenciais para entender as dinâmicas desses ecossistemas. Além disso, os dados da coluna de água oferecem insights valiosos sobre processos sedimentares, como transporte de sedimentos, deposição e erosão. Eles ajudam a identificar áreas propensas a esses processos, analisar a granulometria dos sedimentos e detectar eventos de suspensão sedimentar.

Essas informações são essenciais para monitorar as mudanças no ambiente marinho ao longo do tempo, possibilitando o acompanhamento de variações na profundidade do leito marinho, movimentação de sedimentos e alterações na distribuição dos habitats marinhos. Esse acompanhamento contínuo fornece dados fundamentais para estudos e pesquisas relacionados ao meio ambiente marinho, contribuindo significativamente para nossa compreensão dos ecossistemas marinhos.

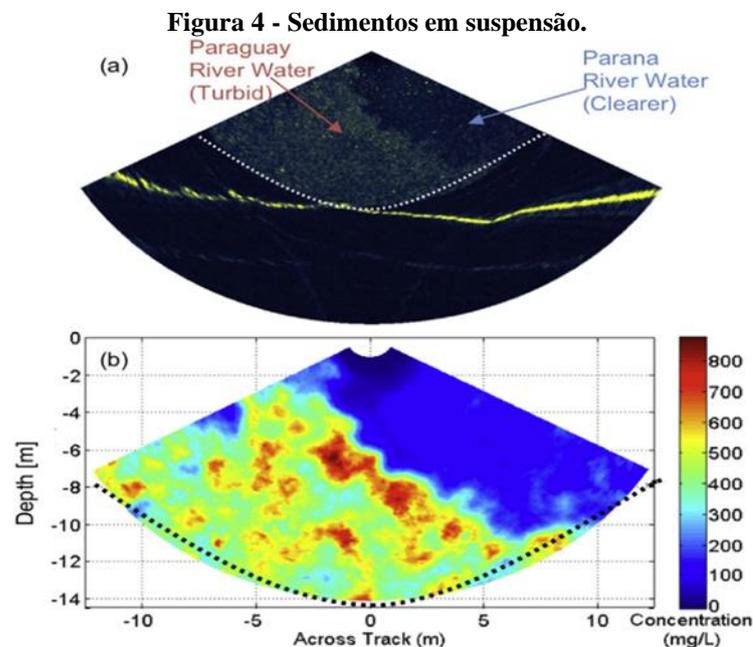
Além disso, esses dados são aplicáveis na área da hidrografia, com foco especial na detecção da profundidade mínima da coluna de água. Essas informações hidrográficas são valiosas para a navegação segura, proporcionando dados precisos sobre as condições do fundo do mar, o que é essencial para a segurança das operações marítimas. Em resumo, a análise dos dados da coluna de água desempenha um papel multifacetado, não apenas na compreensão dos habitats marinhos e processos sedimentares, mas também na segurança e eficiência da navegação marítima.

Algumas aplicações são apresentadas com mais detalhes nos próximos tópicos.

2.2.1. Utilização em geologia: sedimentos em suspensão

Os dados da coluna de água coletados pelos ecobatímetros multifeixe podem ser usados para estimar o tamanho das partículas de sedimentos em suspensão na água (Kostoglidis et al., 2002)^[12]. A análise dos sinais acústicos refletidos permite não apenas a identificação e caracterização das partículas de sedimentos, mas também fornece informações sobre a distribuição espacial e a concentração dessas partículas na coluna de água.

De acordo com Simmons (2010)^[19], a interface entre as águas dos rios Paraná e Paraguai pode ser facilmente visualizada usando dados da coluna de água coletados a partir de um pequeno barco fundeado na confluência dos rios, como exemplificado na **Figura 4**.



Superior: Diferença de coloração nos dados de coluna de água, ressaltando a turbidez do Rio Paraguai em comparação com o Rio Paraná. Inferior: Imagem ressaltando por código de cores a densidade, em mg/L, exibindo a transição entre as massas de água dos dois rios.

Fonte: Adaptado de Simmons (2010)

Na **Figura 4**, na seção superior, é perceptível uma variação de coloração nos dados que representam a coluna de água, destacando de forma evidente a maior turbidez presente no Rio Paraguai quando comparado ao Rio Paraná. Na parte inferior, uma imagem codificada por cores é utilizada para realçar as diferenças de densidade, expressas em miligramas por litro (mg/L), o que facilita a visualização da transição entre as massas de água provenientes dos dois rios distintos.

A capacidade de estimar o tamanho das partículas de sedimentos e mapear sua distribuição é fundamental para compreender os processos de transporte de sedimentos e a dinâmica dos ambientes aquáticos. Isso tem aplicações significativas em estudos de sedimentologia, monitoramento ambiental, análise de processos costeiros e estudos de impacto ambiental.

2.2.2. Detecção de gás natural

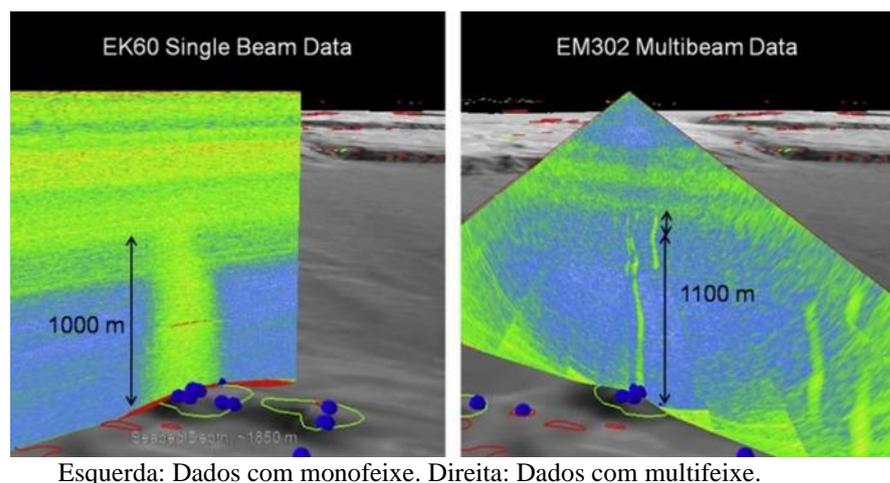
A detecção e caracterização de bolhas de gás provenientes de zonas de bacias sedimentares ricas em hidrocarbonetos têm sido uma área de estudo importante para os

cientistas. Ecobatímetros instalados em navios têm sido utilizados há muito tempo para observar essas bolhas, também conhecidas como "flares" (Watkins e Worzel, 1978^[5]; Merewether et al., 1985^[7]).

Na década de 1970, foi desenvolvido o primeiro sistema acústico comercial para detecção de gás no mar, chamado SEABEAM (SEABEAM, 2000)^[11]. Esse sistema empregava emissores e receptores acústicos para medir as características das ondas sonoras refletidas pelos gases presentes na coluna de água. No entanto, com o avanço dos sistemas multifeixe, tornou-se possível mapear os "flares" com maior precisão (Schneider von Deimling et al., 2007)^[17]. Os sistemas multifeixe oferecem uma melhor resolução horizontal e reduzem o "aliasing" temporal, permitindo uma visualização mais precisa das bolhas de gás (Lindsay et al., 2012)^[24].

Além da detecção de bolhas de gás, os dados da coluna de água coletados pelos ecobatímetros multifeixe também são úteis para o estudo de processos geoquímicos relacionados às emissões de gases naturais no mar. Por exemplo, é possível investigar a dissolução e dispersão de gases na água, fornecendo informações sobre a distribuição e o comportamento desses gases (Garcia et al., 2015)^[27]. A **Figura 5** exemplifica a constatação da existência de bolhas subindo de exalações de gás no Golfo do México, com registros feitos simultaneamente por sistemas monofeixe e multifeixe com uso dos dados da coluna de água.

Figura 5 - "Flares" no Golfo do México.



Fonte: Adaptado de Lindsay et al. (2012)

2.2.3. Rastreamento dos alvos no meio da coluna de água

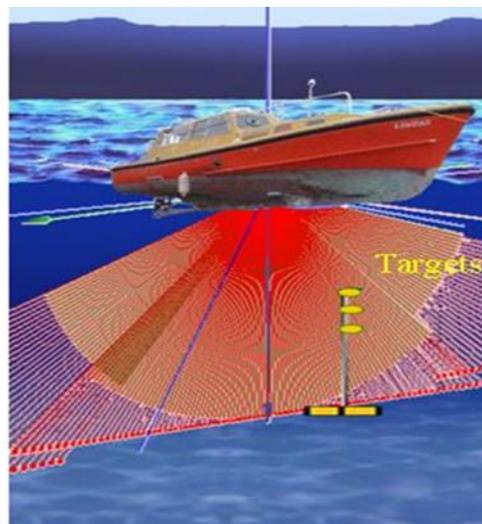
A detecção de alvos ou estruturas em águas intermediárias é geralmente usada em áreas como pesquisa oceanográfica, monitoramento ambiental e pesca, incluindo a detecção de

mamíferos marinhos, caracterização da distribuição de plâncton e detecção de detritos no mar (Kloser et al., 2009^[18]; Manderson et al., 2014^[26]; Robert et al., 2020^[31]).

A detecção manual de objetos na coluna d'água é um processo demorado e cansativo, que exige atenção constante e minuciosa por parte do operador. Ele precisa examinar a nuvem de pontos de dados coletados pelo sonar, procurando por características ou padrões que correspondam ao objeto em questão. Essa tarefa pode se tornar ainda mais desafiadora quando se trata de objetos em movimento ou em posições desconhecidas, pois o operador precisa acompanhar o objeto ao longo do tempo ou realizar uma busca abrangente em uma área ampla (Rubrio et al, 2012)^[23].

No entanto, com o avanço da tecnologia, surgiram abordagens automatizadas para o rastreamento e detecção de objetos na coluna d'água. Essa técnica é possível graças ao uso de sonares multifeixe que emitem sinais acústicos que podem ser refletidos pelos alvos em suspensão na coluna d'água, como exemplificado na **Figura 6**, fornecendo informações sobre sua posição, tamanho e características acústicas.

Figura 6 - Exemplo de alvos que podem ser detectados no meio da coluna de água



Fonte: Adaptado de Rubrio et al (2012)

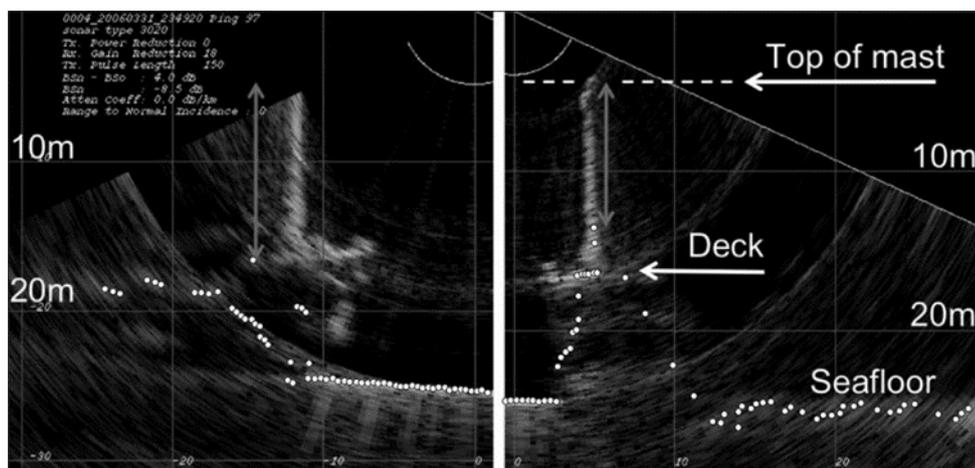
Entretanto, é importante ressaltar que a detecção automatizada de objetos na coluna d'água ainda apresenta desafios, como a distinção entre objetos reais e ruídos, a variabilidade das condições ambientais e a necessidade de calibração e ajuste dos algoritmos (Rubrio et al, 2012)^[23].

2.2.4. Destroços de navios

A determinação da profundidade mínima das feições é crucial para garantir a segurança da navegação. Antes do surgimento dos ecobatímetros multifeixe, essa tarefa era especialmente desafiadora quando o fundo do mar apresentava obstáculos irregulares e de pequenas dimensões. Em realidade, tal desafio se mostra mais presente na detecção de objetos descontínuos de pequeno porte, como mastros e estruturas pontiagudas de cascos soçobrados. Embora sejam de pequeno tamanho, esses alvos são de grande importância em hidrografia, pois muitas vezes determinam o calado máximo dos navios que podem circular na região.

A utilização de dados de coluna de água dos ecobatímetros multifeixe representa um avanço notável na detecção de objetos de pequenas dimensões no fundo do mar. Estes sistemas oferecem uma resolução espacial aprimorada e uma cobertura de área mais extensa, o que amplia consideravelmente a probabilidade de identificar objetos discretos no leito marinho. Além disso, os ecobatímetros multifeixe fornecem informações detalhadas sobre a profundidade do fundo do mar, permitindo uma avaliação precisa da presença de obstáculos e suas características, mesmo que sejam de pequeno porte.

Figura 7 - Detecções falhas em cascos soçobrados



Esquerda: Mastro completamente ignorado pelos algoritmos de detecção.

Direita: Mastro detectado parcialmente (base).

Fonte: Adaptado de Hughes Clarke et al (2006)

Neste contexto, a **Figura 7** exhibe algumas das falhas dos algoritmos de detecção tradicionais. Os pontos brancos são as soluções dos algoritmos de detecção. Note que em

nenhum dos casos o topo do mastro foi reconhecido. Sem dados de coluna de água, as menores profundidades seriam desconhecidas e haveria risco para o navegante.

2.3. Dificuldades relacionadas ao uso de dados da coluna d'água

Embora muitas qualidades e avanços tenham sido apresentados até o presente momento, é preciso indicar que existem dificuldades associadas ao seu emprego e análise. As principais dificuldades estão relacionadas ao volume de dados e à capacidade de processamento dos computadores e softwares utilizados.

2.3.1. Volume de dados

As informações geradas pela coleta de dados da coluna de água usando sonares multifeixe podem ser muito volumosas e exigir um grande espaço de armazenamento (Brown et al., 2011)^[21]. Os sonares multifeixe têm a capacidade de amostrar uma grande parte da coluna de água e coletar dados sobre uma área extensa. Isso pode resultar na geração de arquivos de dados muito grandes. De acordo com Brown et al. (2011), os arquivos de dados da coluna de água podem atingir tamanhos de até 50 gigabytes em uma única pesquisa de pequenas dimensões.

Os desafios relacionados ao armazenamento e gerenciamento de dados da coluna de água coletados por sonares multifeixe são significativos, especialmente para organizações que lidam com grandes volumes de dados. Para enfrentar esses desafios, é necessário ter uma infraestrutura adequada e sistemas de armazenamento de dados robustos. Armazenar grandes quantidades de dados requer capacidade de armazenamento suficiente para acomodar os arquivos de dados da coluna de água. Isso pode envolver a utilização de servidores de alto desempenho, sistemas de armazenamento em nuvem ou outras soluções de armazenamento em massa.

Para garantir a integridade, acessibilidade e utilidade dos dados coletados, o gerenciamento eficiente dessas informações é crucial, além do próprio armazenamento. Isso implica estabelecer procedimentos e estratégias para organizar, catalogar e indexar os dados de maneira adequada. A atribuição de metadados relevantes, como informações sobre localização, data, parâmetros medidos e detalhes do equipamento utilizado, desempenha um papel essencial nesse processo. Esses metadados facilitam não apenas a recuperação, mas também a análise posterior dos dados.

A pesquisa e o desenvolvimento de ferramentas e técnicas de gerenciamento de dados estão em constante evolução para enfrentar os desafios específicos do armazenamento e gerenciamento de dados da coluna de água. Isso inclui o progresso contínuo em áreas como o desenvolvimento de bancos de dados especializados, sistemas de busca avançados, algoritmos de compressão de dados e técnicas de processamento em lote. Todas essas inovações são essenciais para lidar de forma eficaz com grandes volumes de dados, garantindo a eficiência na análise e na utilização dessas informações preciosas.

A abordagem adequada para o armazenamento e gerenciamento de dados da coluna de água é essencial para garantir que esses dados sejam aproveitados ao máximo e possam ser compartilhados e utilizados por pesquisadores, cientistas, hidrógrafos e profissionais que trabalham nessa área.

2.3.2. Desafios do processamento e análise de dados de coluna de água

Os sonares multifeixe mais recentes têm a capacidade de registrar séries temporais para cada feixe, permitindo a geração de imagens da coluna de água ensonificada. Essa nova capacidade abre caminho para novas aplicações para os sonares multifeixe, como o imageamento direto de peixes e mamíferos marinhos, a localização de alvos em águas navegáveis e uma ampla gama de processos físico-oceanográficos. Para explorar esses dados, é necessário ter um meio eficaz de leitura, processamento e análise dos dados (L. Gee et al., 2017)^[28].

Os dados de coluna d'água coletados por meio de sonares multifeixe apresentam desafios significativos em termos de tempo e poder computacional necessários para seu processamento e análise. Um estudo realizado por Lavery et al. (2010)^[20] ressalta essa questão. Esses dados podem prover uma grande quantidade de informações, como a profundidade do local, temperatura, salinidade e distribuição de organismos. Esses parâmetros exigem uma análise detalhada para obter compreensão significativa sobre as características do ambiente marinho.

No estudo de Lavery et al. (2010), foi observado que o processamento dos dados de coluna d'água obtidos por sonares multifeixe pode levar várias horas, ou, até mesmo, dias, dependendo do tamanho da pesquisa e da complexidade da análise. Isso se deve à quantidade volumosa de dados gerados pelos sonares multifeixe e à necessidade de aplicar algoritmos e técnicas avançadas para extrair informações relevantes.

Além disso, a análise dos dados de coluna d'água muitas vezes requer o uso de softwares especializados e técnicas como modelagem numérica, que podem ser demoradas e exigir recursos computacionais significativos. Essa complexidade é evidenciada em estudos como o de Johnson et al. (2018)^[29], que investigou os desafios da análise de dados de coluna d'água no contexto da cartografia náutica.

Portanto, a gestão e a análise de dados de coluna d'água provenientes de sonares multifeixe são tarefas que demandam habilidades especializadas e recursos adequados para garantir resultados precisos e significativos.

2.4. Profundidades mínimas obtidas por diferentes equipamentos

No contexto da aplicação dos dados de coluna de água no campo da hidrografia, um estudo merece destaque, por servir de elemento impulsionador do emprego destes dados em diversos serviços hidrográficos e por fomentar as comparações desenvolvidas no presente trabalho.

Foi realizado um experimento de campo em colaboração com a empresa contratada CHP (Fugro OSAE, UK Civil Hydrography Programme) para comparar os resultados obtidos por diferentes métodos, incluindo a batimetria multifeixe, varredura lateral, varredura por cabo e processamento da coluna d'água. O objetivo era verificar se a combinação dos dados da coluna d'água com os dados convencionais de detecção do fundo do mar poderia atender aos requisitos de levantamento de naufrágios. Foram utilizados três sonares multifeixe: Kongsberg EM3002, Kongsberg EM 710 e Reson SeaBat 7125. Vinte e um alvos foram analisados usando cada um dos métodos acústicos disponíveis, sendo que cinco desses alvos também foram varridos mecanicamente por cabo.

Tabela 1 - Comparação das profundidades mínimas

No.	Wreck-Name	General depth [m]	MBES least depth [m]	WCD least depth [m]	SSS least depth [m]	Wire sweep cleared depth [m]	Difference from Next Shoalest [m]
1	Hellopes Boiler	34.00	28.6	28.6	28.6	-	0.0
2	T-FG-009	37.30	36.0	35.9	36.0	-	0.1
3	T-FG-014	34.20	30.3	30.1	30.3	-	0.2
4	T-FG-016	37.00	29.6	29.6	29.6	-	0.0
5	T-HB-018	43.00	38.2	38.0	38.2	-	0.2
6	T-VH-003	41.00	35.6	35.6	35.3	-	0.3
7	W-16309	40.00	31.6	31.8	31.8	-	0.2
10	W-16400	28.90	20.3	20.4	20.8	-	0.1
11	W-16445	40.00	34.3	32.6	34.3	-	1.7
12	W-16515	39.00	32.3	32.2	32.3	-	0.2
14	W-17789	33.00	27.4	24.8	27.3	-	2.6
16	W-16439	35.00	30.2	30.2	30.2	-	0.0
17	Hellopes N	33.60	27.1	27.8	26.6	27.3	0.5
18	Hellopes S	34.00	30.0	30.0	30.0	29.5	0.5
19	W-73522	42.40	35.4	35.7	35.9	34.9	0.5
20	W-73523	39.00	35.9	35.8	36.0	35.4	0.1
21	EM710-Frame	18.80	18.8*	15.2	-	15.6	0.3

Fonte: UK Hydrographic Office and Maritime and Coastguard Agency

Observou-se que em 12 alvos, isto é, em 57% dos casos, a menor profundidade mínima foi identificada pelos dados de coluna d'água, sendo que em 4 casos os valores obtidos foram iguais aos demais métodos e em 8 casos apresentaram dados de menor valor (destacados pela cor amarela na tabela 1). Dentre estes casos, dois desses exibiram resultados de grande importância (cor vermelha na tabela 1), com uma diferença de até 2,6 metros em relação à detecção convencional do fundo do mar. Um dos alvos era uma haste vertical de 3 metros no leito marinho, que não foi detectado pelos sonares multifeixe na detecção convencional, mas que era claramente visível nos dados da coluna d'água.

Após realizar este teste, foi constatado que, em geral, todos os demais sistemas forneceram resultados semelhantes na maioria dos casos, levando em consideração a incerteza associada a cada método. No entanto, os dados da coluna de água se destacaram ao serem capazes de detectar elementos que não foram identificados nos outros conjuntos de dados acústicos, especialmente em relação a características específicas. Foi observado também que, mesmo utilizando equipamentos de excelente qualidade, obter uma repetibilidade satisfatória com o sistema de varredura por fio era uma tarefa desafiadora.

Com base nessas conclusões, a especificação da CHP agora exige que os executantes colem dados da coluna de água usando sonares multifeixe durante todas as investigações de naufrágios. Esses dados devem ser posteriormente analisados em conjunto com a detecção em tempo real do fundo do mar. Caso sejam identificadas características de naufrágios em

profundidades menores nos dados da coluna de água, o hidrógrafo deverá selecionar uma nova profundidade com base nessas informações e incorporá-la ao conjunto de dados.

Essas medidas visam melhorar a precisão e a confiabilidade das investigações de naufrágios, permitindo a detecção de elementos não detectados anteriormente e garantindo a inclusão de informações relevantes no conjunto de dados.

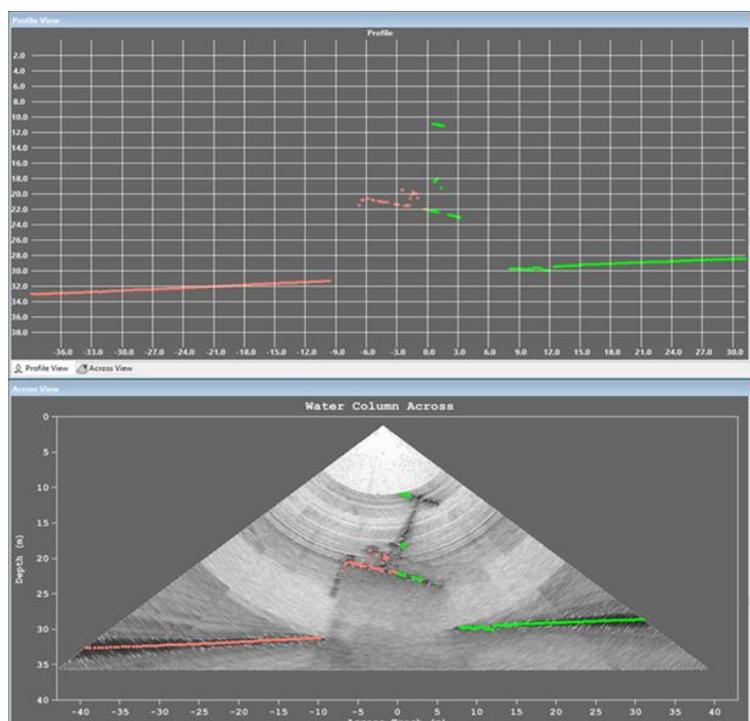
3. METODOLOGIA – MOTIVAÇÃO, PROCEDIMENTOS E EMPREGO EM DADOS REAIS

O presente tópico visa expor a metodologia adotada no presente estudo, iniciando-se pela motivação que levou ao tema da pesquisa e ao emprego da metodologia de análise de dados, sendo seguida pela apresentação dos dados utilizados e dos procedimentos necessários para se promover o processamento de dados de coluna de água, com emprego de dados reais, obtidos junto à Seção de Análise do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM).

3.1. Motivação

Visualizando-se dados reais com ferramentas presentes no software CARIS HIPS and SIPS 11.4, como indicado na figura 8, nota-se a possibilidade de diferentes interpretações para um mesmo caso. Na ausência de mais detalhes, considerando apenas o conteúdo da parte superior da imagem, um hidrógrafo poderia rejeitar os dados de menores profundidades que estão no centro da figura, por acreditar que se referem a um cardume ou algum acontecimento ocorrido na coluna de água no instante da detecção, considerando-o como dado espúrio.

Figura 8 - Exemplo de processamento levando em conta as informações de coluna de água.



Fonte: Autor (2023)

Nesta figura, a parte superior apresenta dados puramente batimétricos. No entanto, a natureza discreta do objeto detectado gera incertezas quanto à sua autenticidade, levantando questionamentos se a detecção é genuína ou resultante de informações errôneas. Já na parte

inferior, ao visualizar o mesmo conjunto de dados batimétricos juntamente com a representação visual dos dados da coluna de água, a complexidade do cenário se simplifica, proporcionando uma compreensão clara da situação e eliminando quaisquer dúvidas relacionadas à integridade dos dados. Assim, a dúvida sobre a existência ou não de dados espúrios é sanada e a conclusão de que os valores mínimos se referem ao topo de um mastro de um casco soçobrado é praticamente imediata.

Tal simplificação na conclusão, aliada aos resultados obtidos em estudo anterior, ressaltado no item 2.4 do presente trabalho, indicou o potencial do emprego dos dados de coluna de água na hidrografia. Tal fator, aliado às limitadas oportunidades de seu emprego no âmbito da DHN, se tornou uma oportunidade de divulgar os possíveis ganhos de qualidade, bem como de estabelecer uma rotina a ser seguida por aqueles hidrógrafos que estão dando seus primeiros passos no processamento desses dados.

3.2. Dados utilizados

Como forma de enfatizar a importância dos dados da coluna de água na identificação de objetos ou na sua conclusão como dados espúrios, foram analisados dois conjuntos de dados obtidos em diferentes levantamentos hidrográficos. O primeiro caso refere-se a um levantamento realizado com o ecobatímetro multifeixe EM 710, em região onde se encontra o casco soçobrado do ex-CT Paraíba, no Rio de Janeiro, Brasil. O segundo caso envolveu o uso do ecobatímetro multifeixe portátil EM2040P, na região onde se encontra o casco soçobrado do HMCS Mackenzie, em British Columbia, Canadá. Maiores detalhes sobre cada conjunto de dados são apresentados a seguir.

3.2.1. Informações sobre a linha do ex-CT Paraíba

Dados brutos, em extensão .ALL e .WCD, de um levantamento batimétrico realizado no casco soçobrado do ex-Contra-Torpedeiro Paraíba, nas proximidades da posição 23°05'44"S 042°59'44"W, no Rio de Janeiro, Brasil, realizado em 12/SET/2022.

Figura 9 – Imagem do CT Paraíba

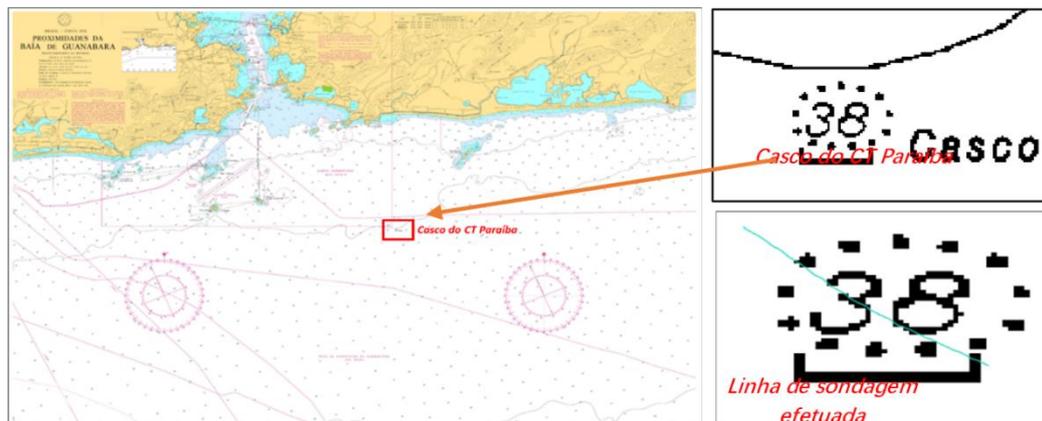


Fonte: Adaptado de www.naval.com.br

Equipamentos utilizados na aquisição:

- Sistema de aquisição: SIS 4.3.2, da Kongsberg
- Posicionador: Kongsberg Seatex SeaPath 300 com MRU-5
- Correções diferenciais: DGNSS 3610 Fugro
- Ecobatímetro: EM 710 (Multifeixe)
- Perfilador de velocidade do som: CTD Seabird 9 plus
- Medidor de velocidade do som no transdutor: AML Micro X
- Embarcação: Navio de Pesquisa Hidroceanográfico (NPqHo) Vital de Oliveira
- Tamanho do arquivo bruto com dados batimétricos (.ALL): 37.3MB
- Tamanho do arquivo bruto com dados de coluna de água (.WCD): 251.0MB

Figura 10 - Posição do casco do CT Paraíba



Fonte: Autor (2023)

3.2.2. Informações sobre a linha do ex-HMCS Mackenzie

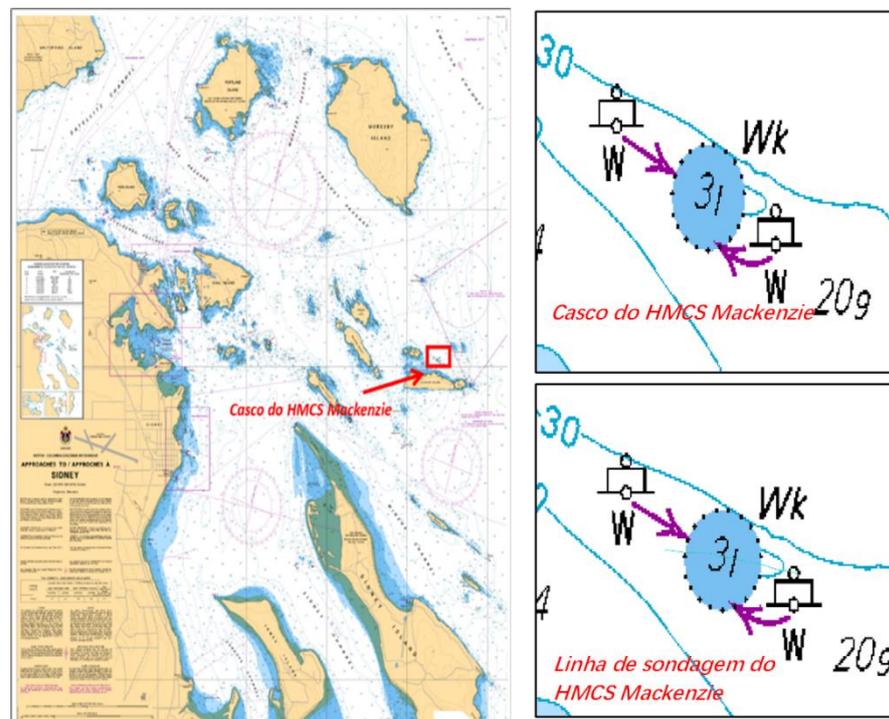
Dados brutos, em extensão .KMALL e .KMWCD, de um levantamento batimétrico realizado no casco soçobrado do ex-HMCS Mackenzie, nas proximidades da posição $48^{\circ}40'06''N$ $123^{\circ}17'17''W$, em British Columbia, Canadá, realizado em 08/OUT/2019.

Figura 11 – Imagem do HMCS Mackenzie



Fonte: Adaptado de www.readyayeready.com

Figura 12 - Posição do casco do HMCS Mackenzie



Fonte: Autor (2023)

Equipamentos utilizados na aquisição:

- Sistema de aquisição: SIS 5.2, da Kongsberg
- Posicionador: Applanix PosMV 320 V4
- Correções diferenciais: RTG C-NAV 2050M
- Ecobatímetro: EM 2040P (Multifeixe)
- Perfilador de velocidade do som: MVP 30
- Medidor de velocidade do som no transdutor: AML Smart SV&P
- Embarcação: Canadian Survey Launch (CSL) HERON
- Tamanho do arquivo bruto com dados batimétricos (.KMALL): 41.8MB
- Tamanho do arquivo bruto com dados de coluna de água (.KMWCD): 808.0MB

3.3. Regras estabelecidas e passos iniciais

3.3.1. Coleta de dados

Reforça-se que o escopo do presente trabalho visa indicar os procedimentos necessários para o processamento de dados da coluna de água. Neste contexto, não serão abordados os procedimentos gerais relacionados à coleta de dados.

3.3.2. Programa utilizado

Visando fácil aplicação aos diversos meios hidrográficos subordinados tecnicamente à DHN, foi adotado o software CARIS HIPS and SIPS, na versão mais recente disponível no momento da execução do presente estudo, isto é, versão 11.4.

3.3.3. Passos iniciais com o processamento tradicional

O processamento dos dados de coluna de água é antecedido pelo processamento clássico dos dados multifeixe. Em que pese tenham sido omitidos do presente estudo, haja vista que correspondem ao fluxo padronizado de dados batimétricos multifeixe e por fugirem ao escopo deste trabalho, um Analista com grande experiência na Seção de Análise do CHM executou todo o processamento inicial, clássico, em ambos os conjuntos de dados.

Tal apoio foi realizado visando evitar que falsas conclusões fossem obtidas por falhas no processamento tradicional ocasionadas pela inexperiência do presente autor, uma vez que uma comparação entre os dados com batimetria adicional proveniente da coluna de água e os dados com apenas as informações tradicionais faz parte do presente estudo. Assim, como parte

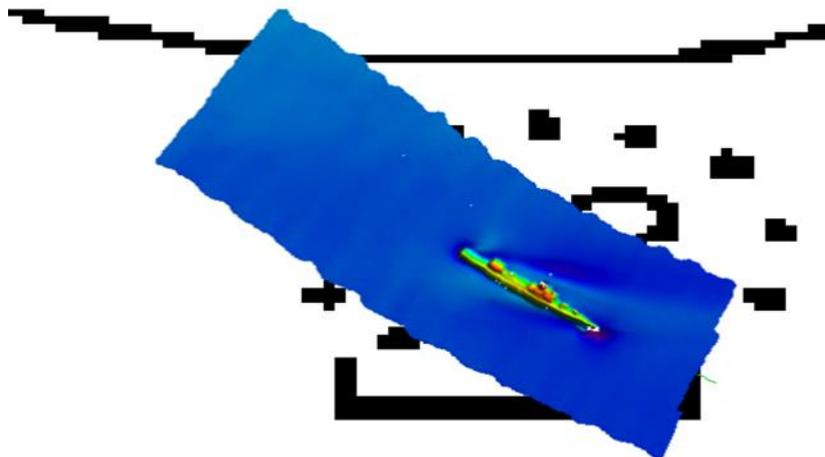
da metodologia, existe a certeza de que os dados puramente batimétricos utilizados para comparação estão dentro dos padrões de qualidade existentes no CHM.

Por fim, cabe ressaltar que a comparação foi feita apenas entre os valores verticais registrados entre os dados puramente batimétricos e aqueles derivados da coluna de água, sem a inclusão de informações maregráficas. Como os levantamentos são de períodos passados, o acesso à essas informações para ambos os casos foi penoso, não ocorrendo dentro do prazo estipulado para a análise dos dados no cronograma de desenvolvimento do presente trabalho. Uma vez que apenas uma única linha foi analisada em cada caso, os dados de maré não possuem influência de relevância na comparação, haja vista que os dados são igualmente transladados na vertical sob seu efeito. Assim, a ausência de seu emprego não prejudica o estudo ou os objetivos propostos.

3.4. Procedimentos para o processamento de dados de coluna de água

Os dados brutos utilizados nas imagens de exemplificação deste procedimento são provenientes do levantamento hidrográfico relativo ao casco do ex-CT Paraíba.

Figura 13 - Região ensonificada representada no Software



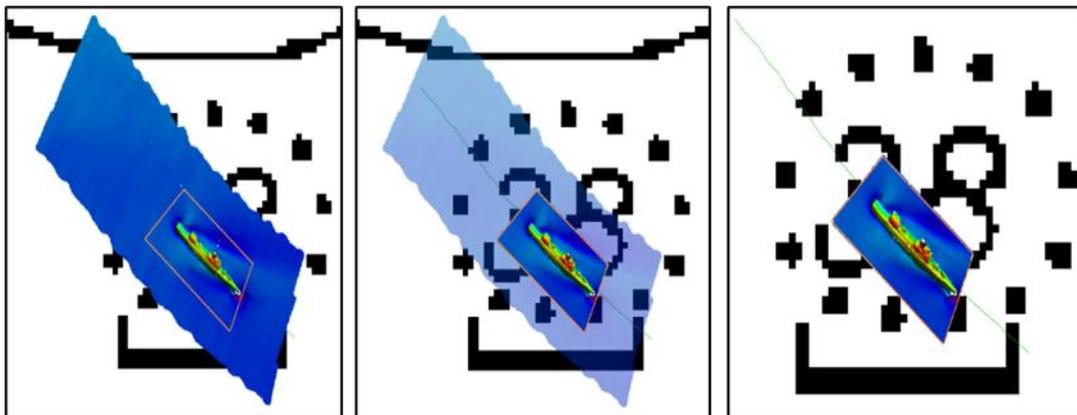
Fonte: Autor (2023)

A **Figura 13** exhibe a totalidade da região que foi sondada nas proximidades do casco. Os passos adotados para o processamento são os seguintes:

3.4.1. Delimitar a área de estudo

Nesta etapa específica, o processo consiste em realizar uma delimitação da área de interesse, dentro da totalidade que foi sondada pelo navio durante o levantamento hidrográfico. A **Figura 14** mostra inicialmente a região total que foi ensonificada pelo multifeixe, abrangendo uma grande área. No entanto, para fins de análise e interpretação dos dados da coluna de água, uma simplificação se faz necessária. Restringir a área de interesse apenas à região onde o navio foi efetivamente localizado no fundo do mar auxilia a reduzir a quantidade de pontos a serem exibidos, reduzindo o volume de dados e possibilitando melhor desempenho do software de processamento.

Figura 14 - Área Selecionada no Software para avaliação



Fonte: Autor (2023)

3.4.2. Uso do editor de varredura (Swath Editor)

Uma vez reduzida a área de pesquisa, é preciso investigar a linha de sondagem, para obter informações a serem usadas como um filtro dos dados de coluna de água. Assim, o "Swath Editor" se apresenta como um recurso valioso para efetuar edições com base nas linhas, uma vez que ele possibilita visualizar simultaneamente os dados provenientes dos algoritmos de detecção e a imagem gerada pelos dados de coluna de água, permitindo comparar as diferentes profundidades registradas em cada emissão ("ping") presente na linha do levantamento hidrográfico (Water Column Processing, CARIS HIPS and SIPS 11.4)^[32]

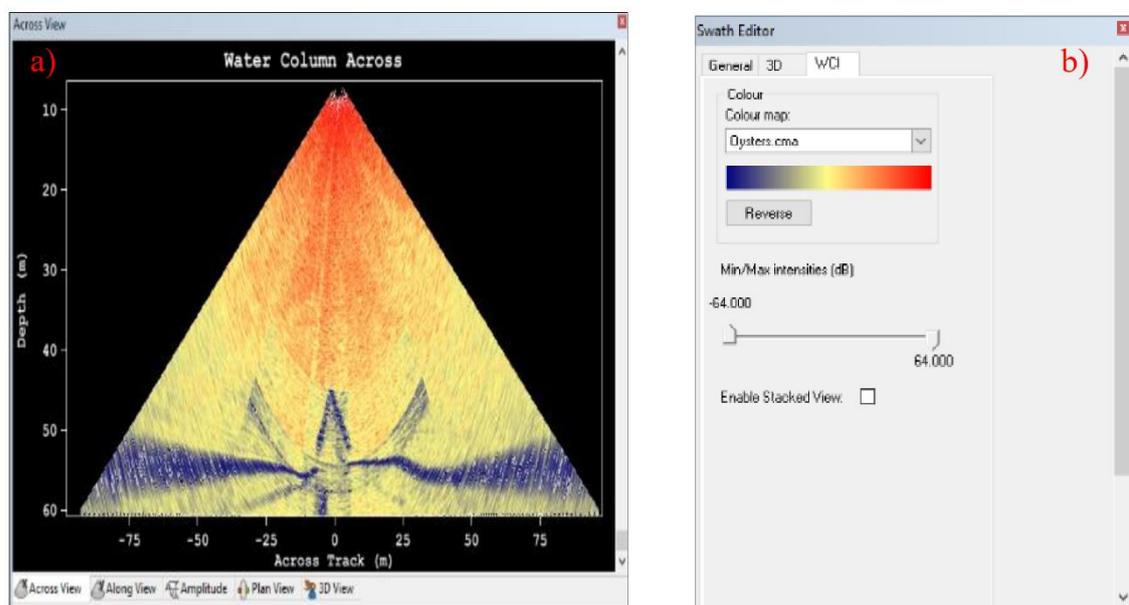
3.4.2.1. Visão inicial dos dados de coluna de água

Essa etapa consiste em visualizar individualmente os dados da coluna de água contidos em um único ping do Sonar, utilizando a ferramenta Swath Editor do software. A **Figura 15** mostra, à esquerda (**a**), um exemplo de visualização da coluna de água ("Across track view") e,

à direita **(b)**, o painel de controle do Swath Editor. Nessa visualização, é possível observar as estruturas e alvos presentes na coluna d'água.

Além disso, o Swath Editor permite uma análise mais detalhada e interativa dos dados. Com essa ferramenta, é possível editar e selecionar regiões específicas da coluna de água para análise mais aprofundada. Por exemplo, é possível destacar áreas de interesse ou remover dados espúrios.

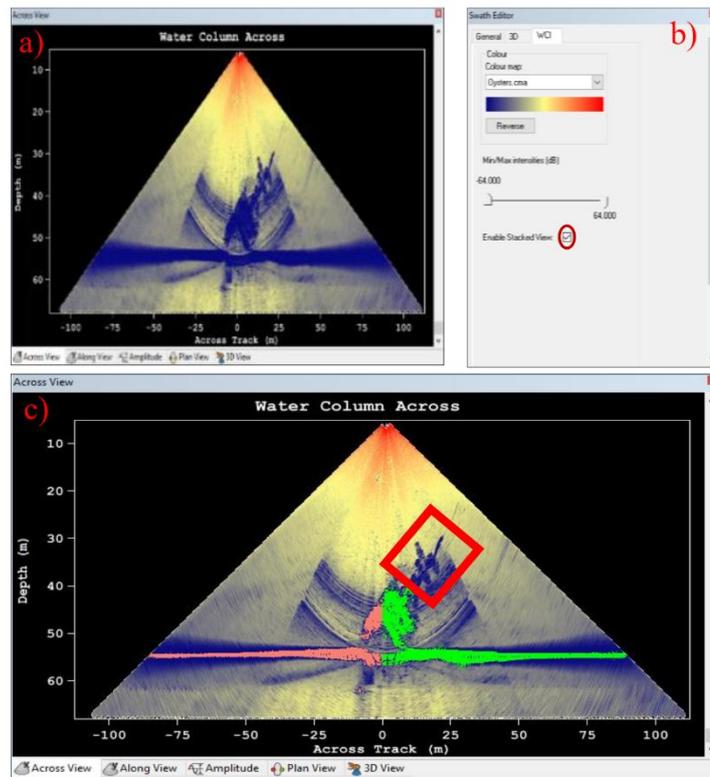
Figura 15 - Visão inicial dos dados de coluna de água



Fonte: Autor (2023)

3.4.2.2. Agrupamento dos pings

Figura 16 - Dados de coluna de água dos “pings” selecionados.



Fonte: Autor (2023)

O Swath Editor, com a opção “Enable Stacked View” (Figura 16-b), permite combinar um conjunto de diferentes pings do Sonar para visualizar suas informações de maneira simultânea, com imagens sobrepostas. Essa função combina os dados de vários pings em uma única visualização para uma análise mais completa.

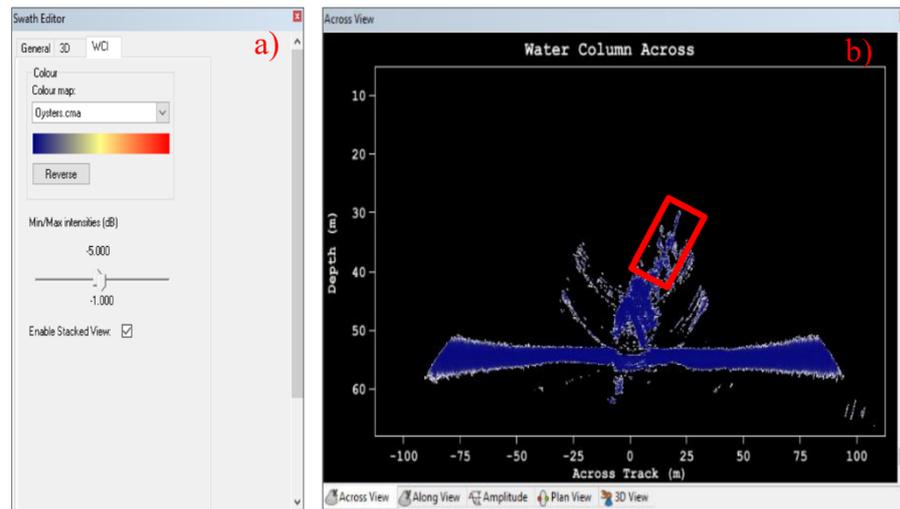
Na Figura 16-c, as cores verde (boreste) e vermelha (bombordo) representam os dados batimétricos registrados pelo algoritmo de detecção do Sonar. Esses dados indicam as variações de profundidade do leito marinho na área varrida pelo Sonar. A área destacada na figura parece corresponder à silhueta do mastro do navio, que não foi encontrada pelo algoritmo de detecção.

3.4.2.3. Filtragem

A terceira e última ação no Swath Editor consiste em filtrar os dados da coluna d'água para manter, da forma mais precisa possível, as informações relevantes para a análise da profundidade mínima, removendo o excesso de informação apresentada. O filtro adotado no exemplo tem limites de [-5 dB; -1 dB] (Figura 17-a). É importante ressaltar que esses valores não são fixos. Eles variam de acordo com o levantamento realizado, e são obtidos por meio de

testes, até que a apresentação dos dados esteja adequada, removendo informações sem relevâncias e mantendo a imagem das estruturas de interesse.

Figura 17 - Exibição dos dados filtrados



Fonte: Autor (2023)

Após a aplicação do filtro, pode haver feições importantes que não foram detectadas pelo algoritmo de detecção do sonar, isto é, que não foram considerados inicialmente pelo registro puro de batimetria. Esses dados adicionais são exemplificados pelo quadro vermelho na Figura 17-b. Para determinar a profundidade mínima de forma mais abrangente, esses dados ausentes devem ser incluídos como "batimetria adicional". Isso permite que a análise leve em conta toda a coluna d'água, incluindo informações relevantes que possam não ter sido capturadas pelo algoritmo de detecção original.

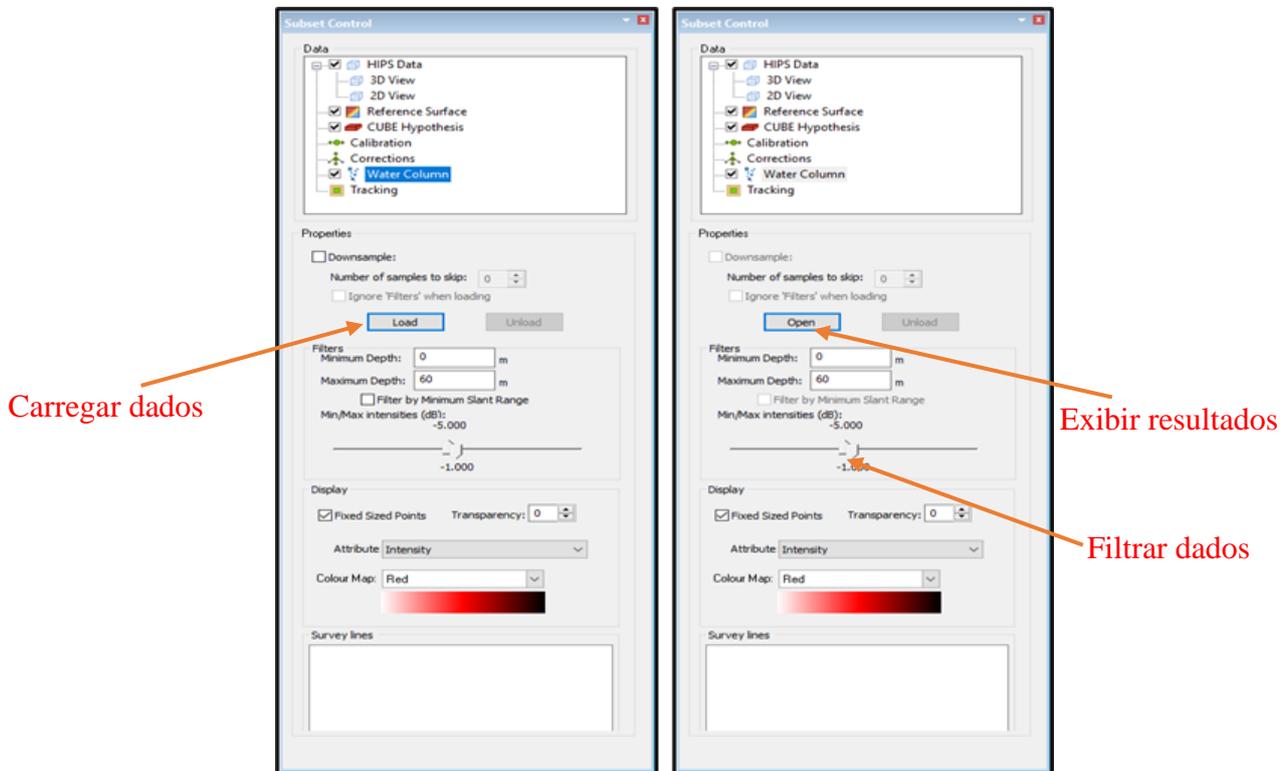
3.4.3. Subset Editor

Após aplicar um filtro apropriado no Swath Editor, o próximo passo é exibir e selecionar os dados considerados úteis da coluna d'água utilizando a ferramenta "subset editor", que permite escolher e agrupar os dados que são considerados importantes para a análise em questão.

Nesse contexto, o termo "subset" refere-se a um subconjunto específico de dados que foram selecionados para fins de análise mais aprofundada. Ele indica que a visualização dos dados é feita por áreas, podendo englobar diferentes linhas de sondagens, em posição ao swath editor, que exibe apenas uma única linha por vez. Assim, o "subset editor" permite visualizar,

editar e manipular um conjunto de dados maior, exibindo a nuvem de pontos da área selecionada de maneira mais detalhada, com opções de visualização em 2D e em 3D.

Figura 18 - Subset Editor



Fonte : Autor (2023)

As etapas a serem executadas (**Figura 18**) envolvem carregar os dados da coluna d'água, modificar a cor ou transparência do resultado, ajustar o filtro acústico e aplicar um intervalo de profundidade. A **Figura 18** mostra o fluxo de trabalho e as ações necessárias dentro do processo. Detalhando cada etapa:

- Carregar dados da coluna d'água: nesta etapa, os dados da coluna d'água, que foram previamente adquiridos e processados, são carregados no software de análise. Apenas os dados que não foram filtrados pelos parâmetros definidos no swath editor são exibidos.
- Modificar cor ou transparência: uma vez que os dados são carregados, é possível modificar a cor ou a transparência das representações gráficas geradas pelo software. Isso pode ajudar a realçar certos detalhes ou a melhorar a visualização dos dados em diferentes contextos, permitindo comparações com os dados puramente batimétricos.
- Ajustar o filtro acústico: para selecionar os dados que são mais relevantes para a análise em curso. Trata-se do mesmo filtro de decibéis aplicado no Swath Editor. No entanto, possui maior abrangência, por contemplar toda uma área, possibilitando um ajuste mais

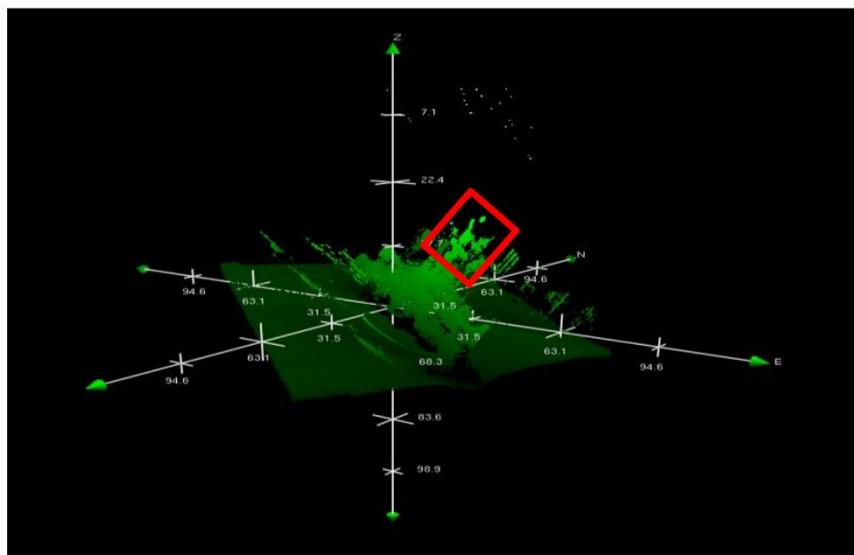
fino, permitindo remover informações de menor relevância, e manter apenas os retornos mais fortes, que contém dados da feição de interesse, destacando tais alvos.

- Aplicar um intervalo de profundidade: Usado para selecionar um intervalo específico de profundidade para análise. Isso pode ser necessário quando existem muitas informações de valor alto nas proximidades da linha d'água, poluindo com dados espúrios a parte superior da área selecionada. Também pode remover valores referentes a profundidades muito altas, incoerentes com a região, mas que pode indicar detecção de múltiplas camadas na coluna de água. A análise se concentrará apenas nas informações dentro desse intervalo de profundidade, o que pode ser importante para estudos específicos ou para isolar certas características na coluna d'água. A **Figura 19** exhibe o resultado obtido após a execução de todos esses passos.

A etapa final envolve a incorporação dos dados da coluna d'água considerados relevantes à batimetria inicial (retângulo vermelho na **Figura 19**).

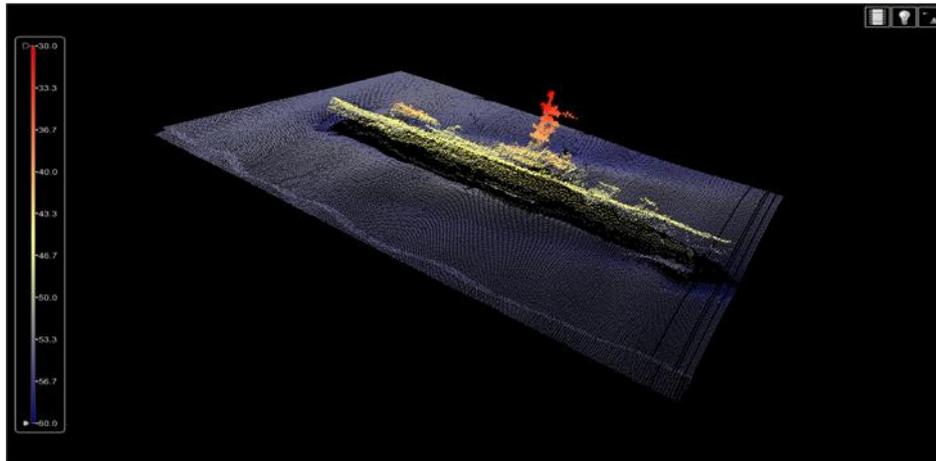
Por sua vez, a **Figura 20** ilustra o resultado final alcançado, incluindo as informações adicionais da coluna d'água dentro do quadro vermelho.

Figura 19 - Representação 3D após execução do Subset Editor



Fonte: Autor (2023)

Figura 20 - Superfície com dados batimétricos e dados inseridos da coluna de água



Fonte : Autor (2023)

Todo o procedimento descrito no presente tópico foi aplicado aos dois conjuntos de dados, ressaltando feições que não haviam sido registradas pelo algoritmo de detecção, mas que puderam ser incorporados aos cascos soçobrados por meio da inclusão dos dados de coluna de água na nuvem de pontos do projeto feito no Caris Hips. Os resultados obtidos em cada um dos cascos é exibido no próximo tópico.

4. RESULTADOS

A presente seção promove uma comparação entre os resultados obtidos exclusivamente a partir dos dados batimétricos e aqueles obtidos após a integração dos dados da coluna de água. Essa comparação é detalhadamente realizada para as duas áreas de interesse: os cascos do ex-CT Paraíba e do ex-HMCS Mackenzie.

O propósito central da análise é efetuar uma comparação abrangente entre os resultados provenientes da análise que utiliza somente os dados batimétricos e aqueles resultados que emergem da incorporação dos dados da coluna de água. Através dessa avaliação comparativa, almeja-se avaliar de maneira precisa os impactos da inclusão dos dados da coluna de água nos produtos finais gerados, à luz da segurança da navegação.

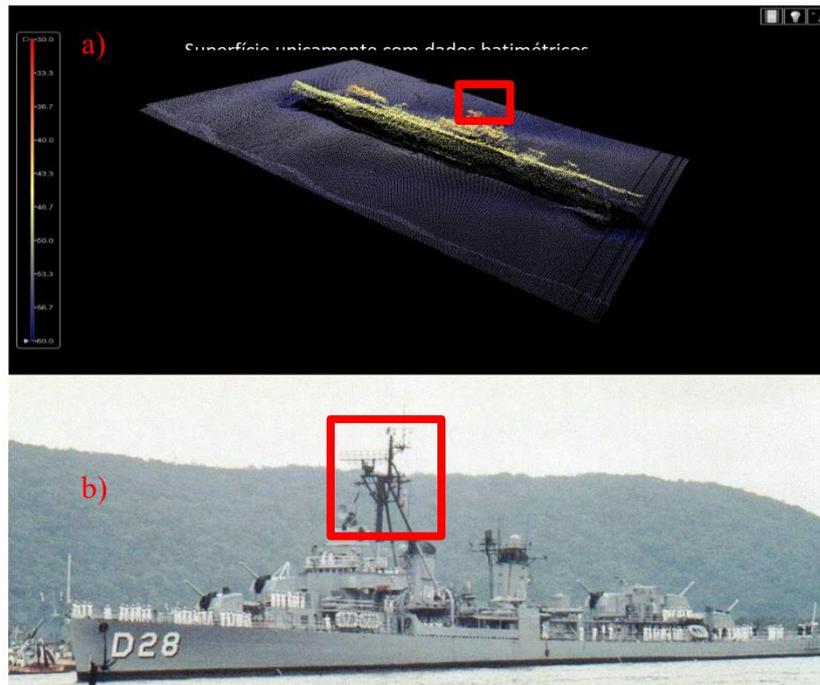
4.1. Caso do ex-CT Paraíba

4.1.1. Resultados com dados batimétricos

A profundidade mínima registrada na carta náutica que contém o registro do naufrágio do CT Paraíba é de 38 metros, conforme já apresentado na figura 10. Tal valor foi confrontado com os dados coletados durante o novo levantamento hidrográfico feito na área do casco do CT Paraíba. Uma nuvem de pontos representativa do navio foi gerada com os dados puramente batimétricos, como visto na **Figura 21-a**.

Nota-se que essa representação apresenta uma discrepância em relação à imagem real da embarcação (**Figura 21-b**). Sendo específico, percebe-se a ausência de uma parte do mastro do navio. A comparação entre a representação gerada e a imagem real do navio é relevante para avaliar a precisão da análise. Essas discrepâncias podem ter implicações significativas em várias situações, incluindo investigações de acidentes marítimos e o aprimoramento da segurança da navegação. No entanto, a simples ausência de parte do mastro não é suficiente para promover críticas ao algoritmo de detecção, uma vez que a parte não exibida na nuvem de pontos poderia ter sido avariada ou se partido no momento do naufrágio, não estando mais na mesma posição em que estava quando o navio estava na ativa.

Figura 21 - Comparação de uma foto do CT Paraíba e a superfície unicamente com dados batimétricos

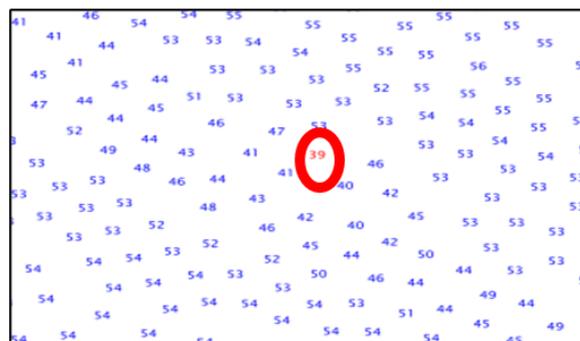


Fonte : Autor (2023)

Essa comparação inicial entre as representações pode, por vezes, sugerir que a profundidade derivada dos dados batimétricos não é suficientemente precisa. No entanto, é importante considerar que essa análise preliminar pode ser simplista, visto que as diferenças entre a representação e a imagem real podem ter diversas origens e interpretações.

No cenário específico examinado, a profundidade mínima obtida por meio do software CARIS HIPS é de 39 metros (**Figura 22**). Vale ressaltar que essa profundidade difere um pouco do valor cartografado em razão do presente estudo não aplicar a redução de marés. Uma vez que o objetivo é a comparação relativa entre os dados com coluna de água e os sem este complemento, os dados maregráficos seriam irrelevantes, uma vez que proporcionam translados verticais fixos em ambos os dados, não alterando a diferença relativa entre eles.

Figura 22 - Seleção de sondagens (CT Paraíba) - Apenas batimetria



Fonte : Autor (2023)

4.1.2. Resultados com dados da coluna de água

Ao utilizar os dados da coluna d'água obtidos durante o levantamento hidrográfico e seguindo meticulosamente o procedimento informado, com parâmetros apropriados de filtro acústico em decibéis, a representação gráfica da nuvem de pontos do navio (**Figura 23**) agora passa a apresentar o mastro por completo, algo que não estava visível na representação gerada apenas com os dados batimétricos.

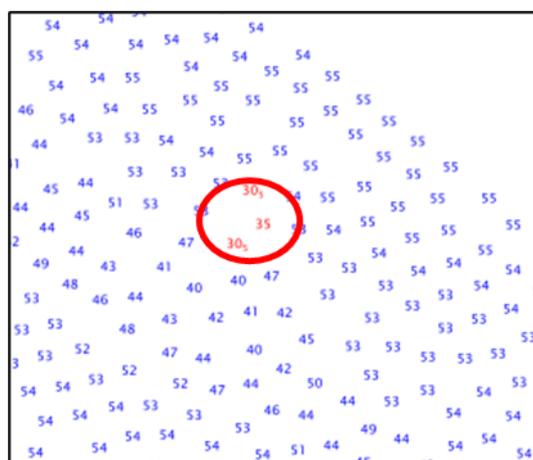
Figura 23 - Superfície com dados batimétricos e dados inseridos da coluna de água



Fonte : Autor (2023)

A visualização do navio adquire maior detalhe e fidelidade à realidade, possibilitando a identificação de características que anteriormente não eram discerníveis apenas com base nos dados batimétricos. Na verdade, a discrepância nas profundidades é bastante significativa nesse contexto (**Figura 24**), com uma diferença de aproximadamente 8 metros em comparação com o valor registrado na carta náutica.

Figura 24 - Seleção de sondagens (CT Paraíba) - Batimetria e WCD



Fonte : Autor (2023)

Esse achado pode, de fato, fornecer um ponto de partida para a atualização da carta náutica, especialmente na região em questão. A consideração dessa diferença de profundidade realça a importância de constantemente revisar e aprimorar as informações cartográficas utilizadas na navegação. Essa atualização pode contribuir para uma maior precisão na determinação de rotas seguras e para evitar situações de risco. Dessa forma, o uso integrado de tecnologias de mapeamento e análise hidrográfica como aquelas empregadas nesse estudo pode ter implicações práticas relevantes para a navegação marítima.

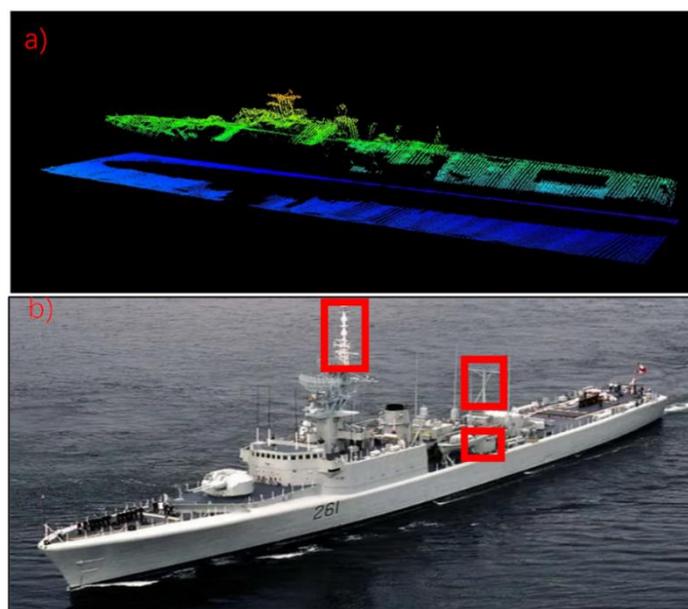
4.2. Caso do HMCS Mackenzie

4.2.1. Resultados com dados batimétricos

A menor profundidade registrada na carta náutica canadense na localização do casco do HMS Mackenzie é de 3,1 metros. Essa indicação de profundidade foi obtida por meio de um levantamento batimétrico anterior na região, como apresentado na **Figura 12**.

Tal qual no caso anterior, uma representação do navio foi criada utilizando o CARIS HIPS and SIPS (**Figura 25-a**). No entanto, é crucial observar uma discrepância notável entre essa representação e a imagem real da embarcação (**Figura 25-b**). Especificamente, percebe-se a omissão de uma parte do segundo mastro do navio, bem como a ausência de detalhes na parte de ré da embarcação.

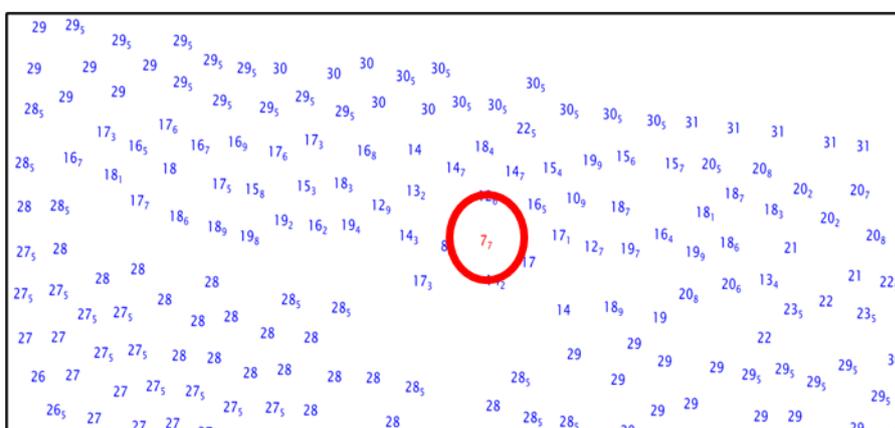
Figura 25 - Comparação de uma foto real do HMCS Mackenzie e a superfície unicamente com dados batimétricos



Fonte: Autor (2023)

Neste contexto, a profundidade mínima determinada usando o software CARIS é de 7,7 metros (**Figura 26**). É importante destacar que essa medição de profundidade difere significativamente do valor indicado na carta náutica, que é de 3,1 metros. Essa discrepância substancial se deve novamente à ausência de redução dos dados batimétricos com a aplicação dos valores de marés. Novamente, reforça-se que foi considerado irrelevante o esforço em obter os registros maregráficos desse levantamento, por já não estar mais disponível no site canadense que armazena esses dados, e pelo fato da comparação desejada no presente estudo ser apenas relativa, baseando-se nas diferenças entre os dados puramente batimétricos e aqueles incrementados pelos dados de coluna de água.

Figura 26 - Seleção de sondagens (HMCS Mackenzie) - Apenas batimetria

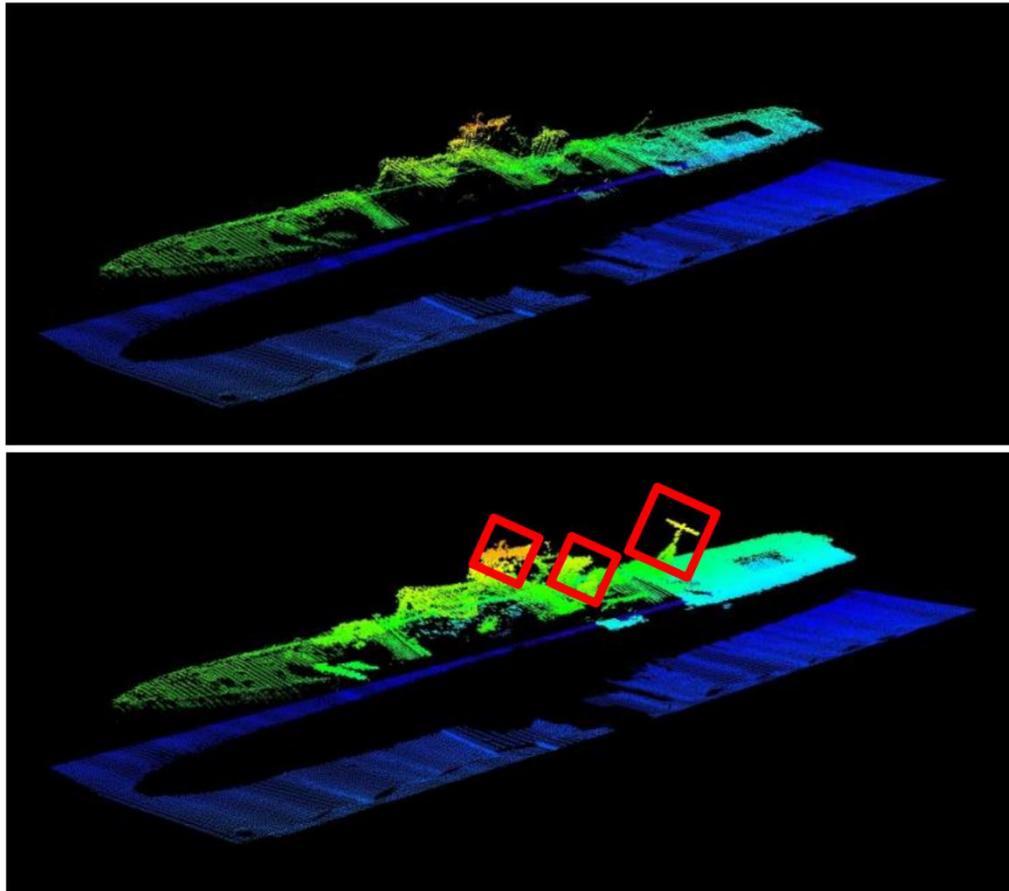


Fonte: Autor (2023)

4.2.2. Resultados com dados da coluna de água

Ao empregar os dados provenientes da coluna d'água adquiridos durante o levantamento hidrográfico e ao rigorosamente seguir o passo-a-passo criado, juntamente com os parâmetros adequados de filtragem acústica, a representação gráfica do navio (**Figura 27**) agora incorpora o segundo mastro e apresenta uma maior quantidade de detalhes. Esses elementos não eram previamente visíveis na representação produzida exclusivamente com base nos dados batimétricos.

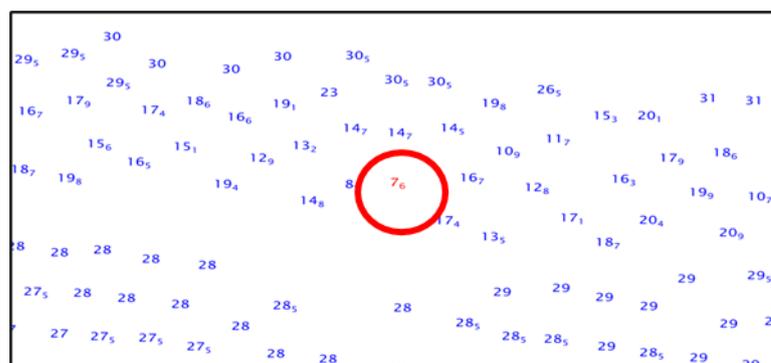
Figura 27 - Comparação da superfície unicamente com dados batimétricos e com WCD



Fonte: Autor (2023)

A visualização do navio adquire maior detalhe e fidelidade à realidade, possibilitando a identificação de características que anteriormente não eram discerníveis apenas com base nos dados batimétricos. Nesse caso, ao contrário do caso anterior do ex-CT Paraíba, a profundidade mínima obtida no software usando os dados da coluna d'água não apresenta uma diferença significativa com a profundidade obtida somente com os dados batimétricos (**Figura 28**).

Figura 28 - Seleção de sondagens (HMCS Mackenzie) - Batimetria e WCD



Fonte: Autor (2023)

Esse aprimoramento na representação resulta da integração das informações da coluna d'água, o que proporciona uma visão mais completa e precisa da estrutura da embarcação. A aplicação cuidadosa dos parâmetros de filtragem contribui para a nitidez e a autenticidade da representação, possibilitando uma visualização mais fiel da realidade. Isso destaca como a incorporação de novas fontes de dados pode enriquecer consideravelmente as análises hidrográficas, proporcionando informações mais detalhadas e abrangentes.

5. DISCUSSÕES

O processamento de dados de coluna de água se mostrou como uma ferramenta essencial para emprego nos serviços hidrográficos. Observou-se, na revisão bibliográfica, que há ampla gama de aplicações dos dados de coluna de água, indo além da sua aplicação em hidrografia, possuindo emprego na indústria pesqueira, na detecção de sedimentos, de gases, ou na identificação de habitats marinhos.

Sendo específico na área de hidrografia, e revisitando os objetivos propostos, tem-se:

- 1) Quais as vantagens do emprego dos dados de coluna de água em hidrografia?

Tais dados possibilitam uma definição mais assertiva sobre a existência de dados espúrios, bem como permitem a detecção de objetos pontiagudos, em posição oblíqua ou vertical no fundo do mar, fato este que pode não ocorrer com os dados puramente batimétricos. Além disso, sua capacidade de indicar a menor profundidade, à luz da segurança da navegação, traz a maior vantagem desejada pelos serviços hidrográficos.

- 2) As vantagens superam os desafios relacionados ao seu emprego?

Como visto, o tamanho dos arquivos é grande. Para a linha do CT Paraíba, o arquivo puramente batimétrico (.ALL) possui 37.3MB. Já seu complemento com dados de coluna de água (.WCD) apresenta 251.0MB. Isto representa um incremento de 6.73 vezes o tamanho do arquivo original.

Para a linha do HMCS Mackenzie, a comparação é ainda mais relevante. Os dados puramente batimétricos (.KMALL) possuem 41.8MB. Seu complemento de coluna de água (.KMWCD) engloba consideráveis 808.0MB. Isso representa um incremento assustador de 19.3 vezes o tamanho original do arquivo.

Há, também, que se considerar, que ambos os casos se referem a trechos pequenos de linhas, cujas dimensões são poucas vezes maiores que os cascos soçobrados ensonificados. Em outras palavras, o registro dos dados de coluna de água em linhas de longa duração pode utilizar rapidamente todo o espaço disponível em disco do computador utilizado na coleta de dados. O volume de dados adquiridos pode variar de 5 a 20 vezes o valor obtido nos levantamentos multifeixe tradicionais.

Por outro lado, observando especificamente o caso do ex-CT Paraíba, onde uma variação de quase 10 metros foi encontrada, a vantagem obtida com o processamento desses dados se torna inquestionável. Neste contexto, considerando que a segurança da navegação está associada a salvar vidas, e, em casos menos extremos, contribui para evitar acidentes ambientais, prejuízos de patrimônio, atrasos na cadeia logística, e, conseqüentemente contribui para o desenvolvimento econômico do país, o preço de gerenciar este volumoso conjunto de dados se torna um esforço justo a ser realizado.

Ainda neste contexto, os desafios associados à capacidade de processamento podem ser mitigados com a redução da área de interesse e o emprego adequado de filtros no processamento, permitindo avaliar menor conjunto de dados, e efetuar os processamentos com maior fluidez. Assim, entende-se que suas vantagens superam os desafios associados.

3) Como esses dados devem ser processados?

Um passo-a-passo foi apresentado no presente trabalho, visando orientar futuros hidrógrafos sobre como proceder com a análise. Trata-se de procedimento simples, que superficialmente pode ser reduzido à definição dos valores de filtragem (ajuste de decibéis), identificação de trechos críticos, e seleção e inclusão dos trechos escolhidos como batimetria adicional.

4) Existe incremento real na segurança da navegação, que justifique sua adoção pelos Serviços Hidrográficos?

Revisitando os exemplos estudados, pode-se ver que o caso do HMCS Mackenzie não indicou incremento significativo em termos de profundidade mínima, mas possibilitou identificar feições, tal como o mastro de ré do navio, que não estavam visíveis com dados puramente batimétricos. Por outro lado, no exemplo do ex-CT Paraíba, houve redução de quase 10m na profundidade mínima, provendo elevado ganho de segurança. Cabe ressaltar que a avaliação feita no presente trabalho ocasionou a emissão de um Aviso-Rádio Náutico para a região de interesse, acarretando futura atualização do produto cartográfico. Este simples exemplo já é suficiente para justificar a adoção desses dados nos Serviços Hidrográficos.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Considerando algumas das limitações presentes neste estudo, recomenda-se que trabalhos futuros empreguem os dados maregráficos, promovendo assim a redução das sondagens, de modo a possibilitar uma comparação mais fidedigna com as cartas náuticas.

Além disso, sugere-se que o estudo seja ampliado para outras situações diferentes, não exclusivas a cascos soçobrados, possibilitando a análise dos dados de coluna de água em outras configurações. Também acredita-se ser importante explorar os diferentes métodos de detecção (por amplitude, fase, alta densidade, etc.), bem como outras características presentes em modelos modernos de ecobatímetros multifeixe, como detecção multisetorial e dupla emissão, de modo a comparar se tais ferramentas novas podem suprir a ausência dos dados de coluna de água, ou se a detecção, mesmo com tais recursos, ainda segue apresentando falhas, com desafios ainda não superados.

Por fim, considerando todo o processo manual realizado no processamento de dados de coluna de água, com interferência do usuário na definição dos filtros de decibéis a serem aplicados aos dados, bem como na seleção da nuvem de pontos que deve ser incluída como batimetria adicional, sugere-se que futuros trabalhos se concentrem no desenvolvimento de métodos automáticos de processamento de dados de coluna de água, que venham a permitir a inclusão da batimetria adicional com menor dependência do usuário ou de sua experiência, simplificando o processo e tornando-o mais acessível para os hidrógrafos.

7. CONCLUSÕES

A análise hidrográfica, que mapeia o leito marinho e as águas adjacentes, é uma disciplina crucial para a navegação segura, a exploração oceânica e a compreensão dos ecossistemas marinhos. Com o advento de tecnologias avançadas como os sonares multifeixe, os hidrógrafos têm obtido dados cada vez mais precisos sobre as características do fundo do mar. No entanto, para uma análise completa e confiável, os dados da coluna de água, capturados por esses sonares, desempenham um papel fundamental.

A coluna d'água, a porção vertical de água que se estende desde a superfície até o leito marinho, abriga informações vitais que vão além da topografia do leito. Os dados da coluna de água fornecem um retrato detalhado da estrutura e dos objetos presentes na água acima do leito, incluindo peixes, cardumes, mamíferos marinhos e obstáculos subaquáticos. A análise desses dados amplia a compreensão do ambiente marinho e fornece insights cruciais para a navegação segura, pesquisa oceanográfica e exploração submarina. Apesar da riqueza de informações que os dados da coluna de água podem oferecer, a utilização eficaz desses dados não é isenta de desafios. A quantidade massiva de informações coletadas exige infraestrutura robusta de armazenamento e processamento. A manipulação adequada desses dados, desde a filtragem até a incorporação na análise, é um processo complexo que exige expertise técnica e ferramentas especializadas, como o software CARIS HIPS and SIPS 11.4, capaz de visualizar, filtrar e compilar esses dados de maneira precisa.

Dois estudos de caso concretos ilustram vividamente os benefícios da integração dos dados da coluna de água na análise hidrográfica. No caso do CT Paraíba, a representação de um navio naufragado foi substancialmente melhorada ao incorporar dados da coluna de água, tornando visíveis detalhes antes ocultos. Isso destaca como as informações da coluna de água podem enriquecer a interpretação do ambiente subaquático, resultando em representações mais fidedignas e confiáveis. A diferença nas profundidades registradas também destaca a importância da precisão dos dados para atualizações de cartas náuticas. Já no contexto do HMCS Mackenzie, a representação do casco soçobrado foi refinada com a inclusão dos dados da coluna de água, embora as diferenças nas profundidades não tenham sido tão acentuadas.

Esse exemplo enfatiza como mesmo pequenas melhorias na representação podem levar a uma análise mais detalhada e uma compreensão mais precisa do ambiente subaquático. Além disso, esse caso ressalta que a integração dos dados da coluna de água é uma abordagem versátil e aplicável em diferentes contextos de análise.

Tabela 2 - Comparação geral das profundidades

Navio	Carta náutica	Profundidade com dados batimétricos	Profundidade com dados da coluna de água
CT Paraíba	38	39	30
HMCS Mackenzie	3,1	7,7	7,6

Fonte: Autor (2023)

Essas diferenças podem ter ramificações práticas, como a delimitação de rotas seguras e a prevenção de possíveis colisões ou acidentes. A correção dessas discrepâncias pode ser fundamental para garantir que os dados utilizados na navegação sejam verdadeiramente confiáveis e fidedignos. As informações sobre as diferentes profundidades em metros são apresentadas na Tabela 2. Cabe, novamente, reforçar que os dados apresentados não estão reduzidos dos efeitos de marés, como previamente explicado.

Em resumo, os dados da coluna de água são uma peça essencial no quebra-cabeça da análise hidrográfica. Eles expandem a análise além da topografia do leito, possibilitando a detecção de objetos e estruturas que podem passar despercebidos. A integração criteriosa desses dados requer uma abordagem multidisciplinar, envolvendo conhecimento técnico, ferramentas avançadas e protocolos de análise específicos. A utilização de dados da coluna de água não apenas aprimora a precisão das análises hidrográficas, mas também contribui para uma navegação mais segura e uma compreensão mais completa dos oceanos e mares do mundo.

Neste contexto, releva salientar que a revisão bibliográfica promovida indicou uma ampla gama de aplicações dos dados de coluna de água, indo além da sua aplicação em hidrografia. Foi visto que há grande ganho em cascos soçobrados, na determinação das profundidades mínimas, com vantagem considerável em relação a outros métodos acústicos ou mecânicos. Esses dados também promovem definição mais assertiva sobre a existência de dados espúrios, e possibilitam a detecção de objetos pontiagudos, em posição oblíqua ou vertical no fundo do mar, mesmo quando não observados nos dados puramente batimétricos. Por fim, nas situações apresentadas, é nítido para o presente autor que o emprego desses dados traz grandes benefícios para os Serviços Hidrográficos que os adotam.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Mills, G. A., & Little, J. L. A Four-Microphone Directional Sonar System. *Journal of the Acoustical Society of America*, 25(6), 1069-1079, 1953.
- [2] Gardner, J.V., J.M. Lawrence, and J.L. Klump, The SEA-BEAM, a new measuring system for ocean depths. *Marine Geology* 7:347-359, 1969
- [3] Watkins, D., & Worzel, W., Serendipity Gas Seep Area, South Texas Offshore, 1978
- [4] Renard, P., & Allenou, J. P. Multibeam echo sounding system. Patent No. US4155099A, (1979).
- [5] R. E. FRANCOIS, G. R. GARRISON Sound absorption based on ocean measurements. Part II: Boric acid contribution and equation for total absorption, 1982
- [6] URICK, R.J., *Principles of Underwater Sound*. 3rd Edition, McGraw-Hill, New York, 1983
- [7] Ray Merewether, Mark S. Olsson, Peter Lonsdale, Acoustically detected hydrocarbon plumes rising from 2-km depths in Guaymas Basin, Gulf of California, 1985
- [8] David M. MACLENNAN, John SIMMONDS, *Fishing Acoustic*, 1992
- [9] Hughes CLARKE, Larry A. MAYER & David E. WELLS, Shallow-water imaging multibeam sonars: A new tool for investigating seafloor processes in the coastal zone and on the continental shelf, 1996
- [10] Stale VILMING, The development of the multibeam echosounder: An historical account, Acoustics Group, Department of Telecommunications Norwegian University of Science and Technology, 1998
- [11] SEABEAM, *Multibeam Sonar Theory of Operation*. Washington Street, East Walpole, MA 02032-1155, 2000
- [12] Kostoglidis, S., G. Sommeria, and P. Astruc, Application of multibeam sonar for sediment transport study. *Marine Geology* 186:237-256, 2002
- [13] Lurton, X., *An Introduction to Underwater Acoustics: Principles and Applications*. Springer, 2002
- [14] ORGANIZAÇÃO HIDROGRÁFICA INTERNACIONAL, *Manual de Hidrografia – Publicação C-13 (1ª Edição)*. Versão traduzida para o português. *International Hydrographic Bureau*, Mônaco, 2005

- [15] Hughes CLARKE, Applications of multibeam water column imaging for hydrographic survey, University of New Brunswick, 2006
- [16] Hughes CLARKE, LAMPLUGH and CZOTTER, Multibeam Water Column Imaging: Improved Wreck Least-Depth Determination, 2006
- [17] J. Schneider von Deimling, J. Brockhoff, J. Greinert, Flare imaging with multibeam systems: Data processing for bubble detection at seeps, 2007
- [18] Kloser, R. J., Keith, G., & Buxton, C. D, The use of multibeam sonar to detect and classify fish schools. Fisheries Research, 96(1), 1-9, 2009
- [19] Stephen M. SIMMONS, Monitoring Suspended Sediment Dynamics Using MBES, 2010
- [20] Lavery, A.C., Cunha, M.R., Rogers, A.D., et al., Benthic biological sampling in the abyssal Clarion-Clipperton Zone: Pilot testing of the large epibenthic sled. Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 57(2), 196-212, 2010
- [21] Brown, C. J., Blondel, P., Caillaud, M., Colombié, G., Gressin, A., Guérin, C., ... & Seube, V., Mapping benthic habitats in the presence of hard bottom substrates using multispectral high-resolution imagery from towed underwater cameras. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 92(1), 60-68, 2011
- [22] Shaul KATZIR, Who knew piezoelectricity? Rutherford and Langevin on submarine detection and the invention of sonar. Notes Rec. R. Soc. rsnr20110049, 2012
- [23] Carlos RUBRIO MARQUES & Hughes CLARKE, Automatic Mid-Water Target Tracking using Multibeam Water Column, Niagara Falls, Canada, 2012
- [24] Gee LINDSAY, Doucet MAURICE, Parker DAVID, Weber TOM and Beaudoin JONATHAN, Is Multibeam Water Column Data Really Worth the Disk Space?, 2012
- [25] Keir COLBO, Tetjana ROSS, Craig BROWN, Tom WEBER, A review of oceanographic applications of water column data from multibeam echosounders, 2014
- [26] Manderson, J. P., Kuguru, B., Delory, E., & Kloser, R. J, Echotraces from cetaceans and other large marine fauna recorded with a multibeam echosounder. Marine Mammal Science, 30(4), 1484-1494, 2014
- [27] Garcia, R., Garcia-Mojica, J., & Boetius, A., Methane seepage detection by high-resolution water column sampling and its application for target selection for ROV, 2015
- [28] Gee, L., D'Spain, G. L., MacPherson, K., & Demer, D. A. Is multibeam water column data really worth the disk space? ICES Journal of Marine Science, 74(3), 790-801, 2017

- [29] Johnson, P.D., McHugh, C.M., Beaudoin, J., et al., Developing a framework for optimal data usage in marine spatial planning. *Marine Policy*, 94, 132-141, 2018
- [30] Arnaud Abadie, Viala Christophe., *Le sondeur multifaisceaux en hydrographie : utilisations actuelles et futures*. 2018
- [31] Robert, K., Pedersen, G., & Løkkeborg, S., Detection of marine debris using multibeam sonar. *Marine Pollution Bulletin*, 156, 111201, 2020
- [32] *Water Column Processing, CARIS HIPS and SIPS 11.4*