



MARINHA DO BRASIL

CENTRO DE INSTRUÇÃO E ADESTRAMENTO ALMIRANTE RADLER DE AQUINO

CURSO DE APERFEIÇOAMENTO EM HIDROGRAFIA PARA OFICIAIS

1º Ten Monick Serge
AKAMBA

USO DO BACKSCATTER PARA IDENTIFICAR ÁREAS DO FUNDO MARINHO COM
O MESMO SEDIMENTO

NITERÓI, RJ

Brasil

2022

AKAMBA MONICK SERGE

USO DO BACKSCATTER PARA IDENTIFICAR ÁREAS DO FUNDO MARINHO COM
O MESMO SEDIMENTO

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 IVAN BODRA GUIMARÃES

NITERÓI
2022

AKAMBA, Monick Serge.

Uso Do Backscatter Para Identificar Áreas Do Fundo Marinho
Com O Mesmo Sedimento/ Monick Serge Akamba. – Rio de
Janeiro: MB/CIAARA, 2022.

xxii, 40 f.: 15 il.; 29,7 cm.

Orientador: CC Ivan Bodra Guimarães

Monografia – MB/CIAARA Curso de Aperfeiçoamento em
Hidrografia para Oficiais, 2022.

Referências Bibliográficas: p. 39-40.

1. Retroespalhamento. 2. Acústica. 3. Classificação do
fundo. I. Guimarães, Ivan Bodra. II. Centro de Instrução e
Adestramento Almirante Radler de Aquino, CIAARA, Curso de
Aperfeiçoamento em Hidrografia para Oficiais. III. Título.

USO DO BACKSCATTER PARA IDENTIFICAR ÁREAS DO FUNDO MARINHO COM
O MESMO SEDIMENTO

AKAMBA Monick Serge

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 Ivan Bodra Guimarães

Capitão de Corveta (T-RM3) Gabriela Nery Mendes

1º Tenente (T-RM2) Adriano Guilherme da Silva

NITERÓI, RJ BRASIL

OUTUBRO DE 2022

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao Senhor, Deus Todo-Poderoso, por este ano excepcional que me permitiu passar com saúde e paz.

Obrigado a toda a minha hierarquia militar, pela marca de confiança que depositou na minha pessoa ao nomear-me para a realização deste curso bem como pelo seu acompanhamento.

Que me seja permitido em particular, agradecer ao meu chefe, o **Contra-Almirante MENDOUA Jean**, sem o qual este projeto certamente não teria se concretizado. Obrigado Almirante, por todo o apoio multifacetado que sempre me deu. Eu sempre serei eternamente grato a você.

Obrigado, a toda minha família, por todas as palavras de incentivo e principalmente por sempre acreditarem em mim. Obrigado, especialmente à Sra. YAMELI Marie-Bernard.

Dez mil agradecimentos a NOAH NOAH Cynthia Pamela, minha companheira, e secretária de meio período, bem como à nossa sublime filha Enora Marie. Obrigado, por nunca ter deixado de acreditar em mim, pelos conselhos e toda a ajuda psicológica, intelectual e outras que me deu.

Agradeço o meu orientador o Capitão de Corveta IVAN BODRA GUIMARÃES, por toda a liberdade que me concedeu na realização e o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço todos os quadros do CIAARA, a administração, e todos os instrutores em particular o instrutor de Hidrografia, o Capitão de corveta Bruno Neves pela disponibilidade.

" Há apenas uma maneira de evitar críticas: não falar, não fazer e não ser nada". (Aristóteles)

USO DO BACKSCATTER PARA IDENTIFICAR ÁREAS DO FUNDO MARINHO COM O MESMO SEDIMENTO

AKAMBA Monick Serge

Outubro/2022

Orientador: CC Ivan Bodra Guimarães

Programa: Curso de Aperfeiçoamento em Hidrografia

De acordo com a norma S-32, que é o dicionário de referência da Organização Hidrográfica Internacional (2022), a Hidrografia é um ramo das ciências aplicadas, vocacionado principalmente para a segurança da navegação. Como resultado, destaca-se naturalmente por fornecer aos navegadores a descrição mais fiel dos diferentes espaços navegáveis (oceanos, mares, rios, lagos, zonas costeiras). Entre outras informações disponibilizadas aos navegantes nas cartas marítimas fica a natureza do fundo do mar, cujo o método de obtenção mais usada consiste na coleta de amostras *in situ*, para análise visual e laboratorial. No entanto, além da logística necessária à execução desta tarefa, a principal limitação deste método prende-se com a extrapolação da natureza do ponto de recolha para as áreas vizinhas. Um método subsidiário consiste em analisar a intensidade dos pulsos acústicos de retorno (*backscatter*) registrados após a ensonificação do fundo durante levantamentos batimétricos com ecobatímetro multifeixe e desenvolver critérios de classificação em relação à natureza deste fundo a partir de parâmetros julgados representativos. Contudo, beneficiaria de ser normalizado ou padronizado (dependendo abusivamente do operador para a eliminação das dependências angulares, a escolha dos parâmetros a serem utilizados para o desenvolvimento dos critérios de classificação, a definição desses critérios de classificação, a definição e caracterização dos tipos de solo de acordo com os parâmetros escolhidos, resoluções das superfícies a serem utilizadas, etc.), para que nas mesmas condições se passamos sempre chegar aos mesmos resultados. Entretanto, verificou-se neste trabalho que em relação à caracterização da natureza de uma superfície ensonificada, se adotarmos como

parâmetros, a intensidade de retorno dos pulsos acústicos após a ensonificação, seus ângulos de incidência no fundo e a profundidade (batimetria), conseguimos encontrar a natureza dessa superfície (dura, média ou macia). São esses parâmetros que foram escolhidos na análise do retroespalhamento da área da ilha de ITACURUÇA, cujo os resultados sobre a natureza do fundo obtidos numericamente foram confrontados com satisfação com amostras coletadas no local. Foram utilizados neste estudo, três critérios de classificação (configurações) diferentes, todos elaborados a partir dos parâmetros escolhidos anteriormente. A escolha de valores dos parâmetros diferentes foi realizada com finalidade de ter uma ideia da influência da variação deles no resultado final, ou seja, sobre a natureza que será atribuída à zona em estudo. O método usado para desenvolver esses critérios foi escolhê-los de forma gradualmente restritiva, ou seja, afastando-se gradualmente (afastada de um desvio padrão, dois e três) dos valores médios dos parâmetros adotados para seu desenvolvimento. Por fim, verificou-se após análise dos resultados obtidos em cada uma das configurações que a metodologia utilizada na definição dos critérios pode ser um excelente meio para aumentar a fiabilidade no que respeita à atribuição da natureza de uma área. Inclusive, a introdução da análise do *backscatter* nos procedimentos em vigora (instruções técnicas) na diretoria da hidrografia e da navegação do Brasil em nos diferentes serviços hidrográficos, poderia num primeiro tempo, melhorar a capacidade de escolher os pontos de interesse onde deve ser coletados as amostras do fundo já que essa atividade é mandatório durante os levantamentos hidroceanográficos. Num segundo tempo, assim que este método será mais padronizado, poderia ser usada como método de identificação principal das áreas do fundo marinho com mesmos sedimentos.

Palavras-chave: Parâmetro; critério; configuração; desvio padrão; natureza; impulso acústica; *backscatter*.

USE OF BACKSCATTER TO IDENTIFY SEABED AREAS WITH THE SAME SEDIMENT

AKAMBA Monick Serge

October/2022

Advisor: Lt.Cdr Ivan Bodra Guimarães

Department: Hydrography Course for Officers

According to the Standard S-32, which is the reference dictionary of the International Hydrographic Organization (2022), Hydrography is a branch of applied sciences, mainly focused on safety of navigation. Thereby, it is naturally interested in providing browsers with the most faithful description of the different navigability spaces (oceans, seas, rivers, lakes, coastal areas). Among the information made available to navigators on the sea charts, is the nature of the seabed whose most widespread method of obtaining consists of collecting samples “in situ”, for visual and laboratory analysis. Apart from the logistics required to complete this task, the main limitation of this method is linked to the extrapolation of the nature of the collection point to the areas neighboring it. A subsidiary method consists in analyzing the intensity of the return acoustic pulses (*backscatter*) recording after insonification of the bottom during bathymetric surveys with multibeam sounders and to develop classification criteria in relation to the nature of this bottom from parameters considered representative. However, it would benefit from being normalized or standardized (abusively dependent on the operator for the elimination of dependencies angles, the choice of the parameters to be used for developing the classification criteria, the definition of these classification criteria, the definition and characterization of soil types in depending on the parameters chosen, resolutions of the areas to be used, etc.), so that under the same conditions, we can always achieve the same results. Nevertheless, it has been found that in relation to the characterization of the nature of an insonified surface, if we adopt the return intensity of the acoustic pulse after insonification, its angle of incidence on the bottom and the depth (bathymetry) as parameters, we manage to find the nature of the said area (hard,

medium or soft). These are the parameters which have been chosen in the analysis of the backscatter of the area of the island of ITACURUÇA, whose results on the nature of the bottom obtained numerically were confronted with satisfaction with samples collected on the site. Three different classifications criteria (configurations), developed from the chosen parameters were used in this study in order to have an idea of their influence on the result, example giving, the nature allocated to the zone. The method used to develop these criteria was to choose them in the gradually restrictive form, or gradually moved away (away from one standard deviation, two and then three) from the average values of the parameters adopted for their elaboration. Finally, it appeared after analysis of the results obtained in each of the configurations that the methodology used in defining the criteria can be an excellent way to increase the reliability as to the attribution of the nature of an area. Also, the introduction of backscatter analysis in the procedures in force (technical instructions) in the hydrography and navigation directorate of Brazil and in the different hydrographic services, could, at first, improve the ability to choose the points of interest where samples from the bottom should be collected as this activity is mandatory during hydro oceanographic surveys. In a second time, as soon as this method will be more standardized, it could be used as the main method of identification of seabed areas with the same sediments.

Key-words: Parameter; criteria; configuration; standard deviation; nature; impulse acoustic; backscatter.

Lista de ilustrações

Figura 1 - Apresentação esquemática de três tipos de ecobatímetro (A: Ecobatímetro monofeixe; B: Sonar de varredura lateral; C: Ecobatímetro multifeixe).	16
Figura 2 - Propagação de um pulso acústico (a), intensidade do pulso de retorno registrado (b).	17
Figura 3 - Parâmetros envolvidos na equação sonar em dB. RL : Nível do eco recebido, SL : Nível da fonte, TL : perda de transmissão, BS : retroespalhamento, DT e DR : índices de diretividades na transmissão e recepção, SH : Sensibilidade do receptor, GR : Ganho de recepção.	18
Figura 4 - Cadeia de correções na determinação do <i>Backscatter</i>	20
Figura 5 - Exemplo de calibração com imageamento de um fundo do mar homogêneo (equipamentos Kongsberg Maritime EM300, profundidade: 1050m, <i>swath</i> : 3400m).....	23
Figura 6 - Exemplo de mosaico georreferenciado com dependências angulares (a) e normalizado (b).....	24
Figura 7 - Expressão dos critérios fundo duro, médio e mole.	28
Figura 8 - Critério de classificação colocado no software pela configuração 1σ	29
Figura 9 - Diagrama de fluxo de trabalho HIPS and SIPS para um equipamento multifeixe. .	30
Figura 10 - Mosaico com dependências angulares antes e depois as correções.....	31
Figura 11 - Mosaico corrigido com o modelo padrão de feixe usado.	32
Figura 12 - Resultados classificação configuração 1σ	33
Figura 13 - Superfície da batimetria com zonas 6 e 7 que têm um relevo abrupto.	34
Figura 14 - Resultados classificação configuração 2σ	34
Figura 15 - Resultados classificação configuração 3σ	35

Lista de tabelas

Tabela 1 - variações dos parâmetros no mosaico e desvios usados.....	29
Tabela 2 - configuração 1σ	29
Tabela 3 - configuração 2σ	30
Tabela 4 - configuração 3σ	30

Lista de abreviaturas e siglas

DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
OHI	Organização Hidrográfica Internacional
CorGR	Correções de ganhos de recepção
CorWL	Correção de efeitos de propagação através a coluna d'água
CorMT	Correções relacionadas com propriedades mecânicas dos transdutores
T°	Temperatura
CTD	<i>Conductivity, temperature and depth</i>
pH	<i>Potential of hydrogen</i>
SL	Nível da fonte
DT	Índice de diretividade na transmissão
DR	Índice de diretividade na recepção
SH	Sensibilidade do receptor
GR	Ganho de recepção
TL	Perda de transmissão
BS	Retroespalhamento
RL	Nível do eco recebido
BL ₀	<i>Backscatter level 0</i>
BL ₁	<i>Backscatter level 1</i>
BL ₂	<i>Backscatter level 2</i>
BL ₃	<i>Backscatter level 3</i>
BL ₄	<i>Backscatter level 4</i>
BL ₅	<i>Backscatter level 5</i>
BL ₆	<i>Backscatter level 6</i>
BS _{θ-freq}	<i>Backscatter</i> normalizado com o ângulo θ e a frequência freq
LH	Levantamento hidroceanográfico

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 Breve evolução temporal	16
2.2 Descrição da física do processo de emissão-recepção de um pulso acústico	17
2.3 Determinação do <i>Backscatter</i> a partir do sinal registrado	20
3. OBJETIVOS.....	26
4. METODOLOGIA	27
4.1 Dados	27
4.2 Processo	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1 Apresentação do mosaico final	31
5.2 Resultados da classificação para cada configuração.....	32
5.2.1 Configuração 1σ : menos restritivo	32
5.2.2 Configuração 2σ : restritivo.....	34
5.2.3 Configuração 3σ : mais restritivo	35
6. CONCLUSÃO	37
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1. INTRODUÇÃO

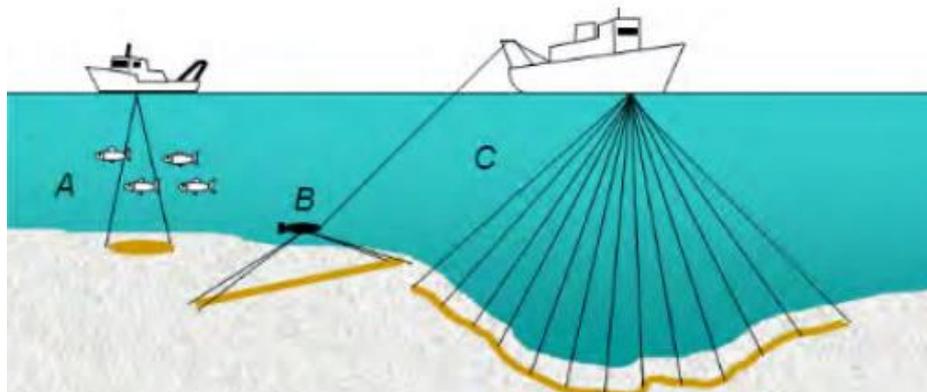
Um dos principais objetivos da Hidrografia é a segurança da navegação. Fornecer aos navegadores as cartas mais precisas possíveis é uma obrigação. Nestas cartas, além dos dados batimétricos, podemos encontrar indicações sobre a natureza do fundo que podem ser úteis em várias situações (fundeio, manobras de emergência, navegação costeira). Um dos métodos convencionais mais utilizados para obter essas informações sobre a natureza do fundo consiste a coletar *in situ* amostras do fundo para análise visual ou laboratorial. As limitações diretas desse método residem na quantidade pequena de amostras além dos aspectos logísticos envolvidos para a coleta e o fato de que ao extrapolar que a natureza sedimentar da área de interesse seja uniforme pode ser um equívoco arriscado, visto que não há fundamentos para atribuir para toda a área uma única coleta de sedimentos. No entanto, com as técnicas atuais de levantamentos hidroceanográficos que envolvem ecobatímetros multifeixes, temos uma grande quantidade de dados do fundo do mar que são registrados. Dentre eles, a energia de retroespalhamento (*Backscatter*) que é a energia de retorno de um pulso acústico emitido pelo ecobatímetro após sua interação com o fundo do mar, pode ter uma importância mais relevante na caracterização do fundo. Como a intensidade dessa energia está intimamente relacionada ao tipo de fundo ensonificado, podemos usar essa informação, para ajudar a determinar sua natureza.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Breve evolução temporal

A história da acústica submarina é muito antiga, teria suas origens em meados do século XV quando Nikola Coussa inventou um ecobatímetro baseado nas variações da pressão de uma coluna de água (WU, Z. et al., 2021, p. 1). A parte moderna de sua ascensão começa durante a 1ª Guerra Mundial com o desenvolvimento por Paul Langevin de um transdutor piezoelétrico para detecção acústica ativa de submarinos (KATZIR, 2012). Após a Segunda Guerra Mundial, surgiram novas necessidades nos temas da prospecção do fundo do mar para a busca de recursos naturais e a segurança da navegação (LURTON, 2002). Em particular, a necessidade de conhecimento do fundo marinho relaciona-se com questões ambientais como a conservação de *habitats* e a avaliação dos recursos haliêuticos (ANDERSON et al., 2008). Assim, com base nessa característica piezoelétrica possuída por determinados materiais, o desenvolvimento da informática e o posicionamento por satélite, foi observado o desenvolvimento desses equipamentos. Hoje, existem principalmente três ramos usados para sensoriamento remoto do fundo oceânico (LURTON, 2015): Ecobatímetro monofeixe, multifeixe e sonar de varredura lateral (Figura 1). Graças à sua alta resolução e sua capacidade de cobrir totalmente o fundo, o ecobatímetro multifeixe é o que melhor responde aos problemas de mapeamento do fundo oceânico (ZHOU, X. et al., 2015), e portanto, é o mais utilizado.

Figura 1 - Apresentação esquemática de três tipos de ecobatímetro (A: Ecobatímetro monofeixe; B: Sonar de varredura lateral; C: Ecobatímetro multifeixe).

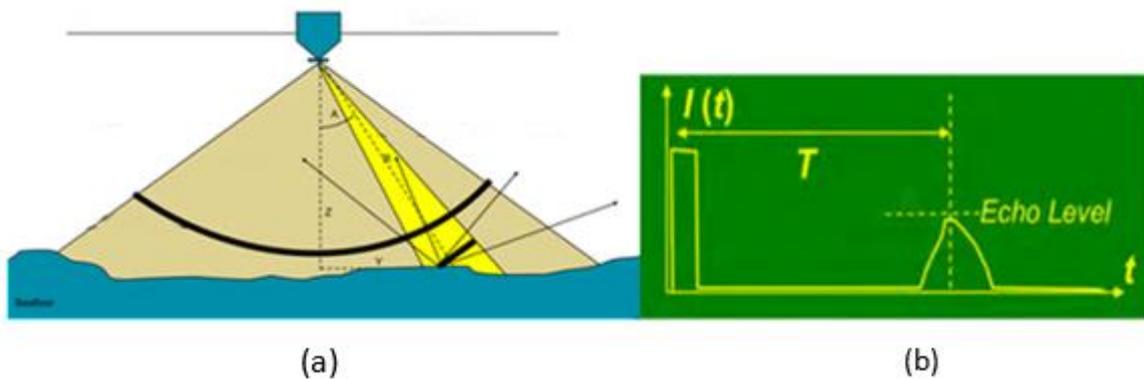


Fonte: Lurton (2015).

2.2 Descrição da física do processo de emissão-recepção de um pulso acústico

Um ecobatímetro funciona basicamente com o princípio de emissão de um pulso acústico e da análise de sinal de retorno desse pulso. Para que haja um sinal de retorno de intensidade suficiente para ser analisado, a onda acústica emitida deve possuir inicialmente uma energia suficiente para atravessar todo o meio de propagação. Posteriormente, sofrerá uma reflexão no fundo antes de retornar ao ecobatímetro (Figura 2.a). Durante todo o processo de emissão-recepção, além dos parâmetros intrínsecos à emissão (ângulo de emissão, potência e frequência) o ecobatímetro irá registrar, a duração do percurso da onda e a sua intensidade de retorno de acordo com vários ângulos de chegada bem determinados (Figura 2.b). Uma vez que o perfil da velocidade do som é conhecido podemos determinar a geometria do local (batimetria) que representa o primeiro passo neste processo de identificação.

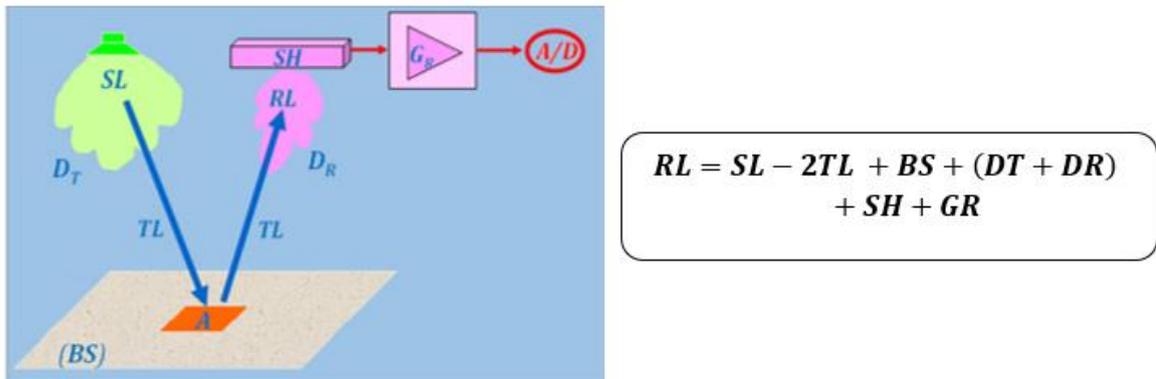
Figura 2 - Propagação de um pulso acústico (a), intensidade do pulso de retorno registrado (b).



Fonte: adaptado de Lurton (2015).

É importante notar que a interação do pulso acústico com o fundo depende da natureza deste último, ou seja, a natureza mineralógica, a geometria e o tamanho dos sedimentos condicionarão a quantidade de energia de retorno para o ecobatímetro. Em geral, quanto mais rígido for um fundo, maior será a intensidade da onda acústica após a reflexão. Por outro lado, um solo poroso tenderá a absorver mais energia das ondas do que reflete (LURTON, 2015). Genericamente, para avaliar ou modelar as interações que o pulso acústico pode sofrer com seu meio de propagação, define-se uma equação chamada “equação sonar”, cuja utilização permitirá completar o processo de identificação do fundo do mar (Figura 3).

Figura 3 - Parâmetros envolvidos na equação sonar em dB. **RL**: Nível do eco recebido, **SL**: Nível da fonte, **TL**: perda de transmissão, **BS**: retroespalhamento, **DT e DR**: índices de diretividades na transmissão e recepção, **SH**: Sensibilidade do receptor, **GR**: Ganho de recepção.



Fonte: adaptado de Lurton (2015).

RL (Nível do eco recebido em dB): É a variável que representa a intensidade do pulso acústico na recepção após todas as perdas sofridas durante sua propagação. Essa variável é registrada para análise posterior no arquivo de backup do equipamento (*Raw Data*) e servirá de base para o nosso trabalho. Ele é o resultado da equação sonar (Eq. 1).

$$RL = SL - 2TL + BS + (DT + DR) + SH + GR \quad (\text{Eq.1})$$

SL (Nível da fonte em dB): É a intensidade de emissão do sinal, ela é obtida pela Eq. 2 que é a razão entre a pressão acústica da fonte (P), e a pressão de referência (P_{ref}).

$$SL = 20 \log\left(\frac{P}{P_{ref}}\right) \quad (\text{Eq.2})$$

TL (Perda de transmissão em dB): São as perdas de transmissão durante a propagação do sinal, são de duas ordens.

- Perdas esféricas: Elas são relacionadas à geometria de propagação das ondas e calculadas via a Eq. 3 usando o raio esférico (R) da fonte durante a propagação.

$$20 \log(R) \quad (\text{Eq.3})$$

- Perdas por amortecimento: O meio de propagação é dissipativo e absorve parte da energia da onda sonora, que é dissipada por viscosidade ou por reação química. Essas perdas são calculadas via a Eq. 4, a partir do raio esférico R e do coeficiente de atenuação (α) que é mais dependente da frequência de uso dos equipamentos.

$$TL = 20 \log(R) + \alpha \cdot R \quad (\text{Eq.4})$$

BS (Retroespalhamento ou *Backscatter* em dB): Representa a intensidade do retroespalhamento e é o elemento que será utilizado para determinar a energia acústica refletida pelo fundo do mar. Naturalmente, $BS = 10 \log(bs)$, onde bs = Seção transversal de retroespalhamento (LURTON, 2001). BS , depende do ângulo de incidência (β), bem como da frequência (f). Se considerarmos que um pulso acústico irá ensonificar uma superfície A do fundo, então a energia do retroespalhamento pode ser determinada via a Eq. 5. Ela é a contribuição total naquela superfície A da seção transversal de retroespalhamento bs afetando um pequeno elemento dA e modulada pelas diretividades na emissão bp_T e recepção bp_R (HELLEQUIN et al., 2003).

$$BS = 10 \log \int_A bs_f(\beta) \cdot bp_T(\theta) \cdot bp_R(\theta) dA \quad (\text{Eq.5})$$

Na prática, a aproximação comum é considerar : $BS = BS_f(\beta) + 10 \log(A)$ onde o termo $BS_f(\beta)$ é aquele que nos interessará ao longo do processo.

DT e DR (Índice de diretividade na emissão e na recepção em dB): Representa o ganho espacial de energia obtido com o uso da antena (transdutor), tanto mais elevado quanto razão entre as dimensões da antena e o comprimento de onda. Na recepção (DR), esse índice reflete a diminuição do ruído percebido pelo receptor devido à diretividade da antena (assumindo ruído ambiente angularmente isotrópico) e na emissão (DT), reflete o aumento da intensidade acústica devido à concentração de energia em um setor angular privilegiado. Pode ser calculado pela Eq. 6 onde L é o comprimento do transdutor e λ o comprimento de onda.

$$DI = 10 \log \left(\frac{2L}{\lambda} \right) \quad (\text{Eq.6})$$

SH (Sensibilidade do receptor em dB, referência $1 \text{ V}/\mu\text{Pa}$): É calculada via a Eq. 7 e representa a sensibilidade do receptor, ou seja, a tensão em volt no receptor (V) devido a uma variação de pressão de $1 \mu\text{Pa}$ (V_{ref}).

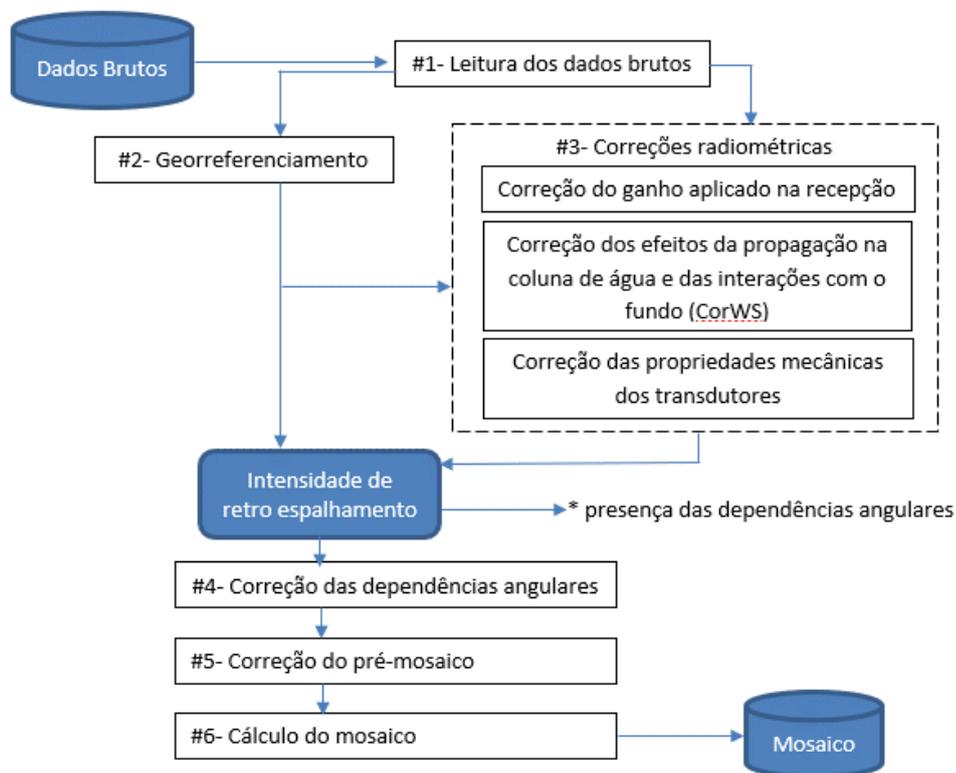
$$SH = 20 \log \left(\frac{V}{V_{ref}} \right) \quad (\text{Eq.7})$$

GR (Ganho de recepção em dB): Representa o ganho introduzido pela eletrônica para a transição do analógico para o digital (A/D). Ou seja, desde a recepção do sinal até a gravação nos arquivos de dados.

2.3 Determinação do *Backscatter* a partir do sinal registrado

O objetivo desta parte é de apresentar a teoria envolvida através a determinação do *backscatter* a partir do sinal registrado. Para determinar essa energia de retroespalhamento, é necessária fazer uma série de correções no nível sonoro recebido (RL) para deduzir o termo de interesse $BS_f(\beta)$ e representar o mosaico (representação espacial das intensidades de retroespalhamento normalizadas). Essas correções são baseadas no entendimento da equação sonar, pois foi ela que guiou o processo até a gravação. De fato, os níveis do sinal gravado no arquivo *Raw Data* geralmente não são diretamente utilizáveis, porque o pulso sonoro originalmente transmitido foi consideravelmente modificado por sua interação com a coluna de água, o fundo do mar, bem como os diferentes equipamentos ou *software* do sistema de sonar (Figura 3). De forma sintética podemos contar seis passos a serem realizados desde a obtenção do arquivo de dados brutos (*Raw Data*) até o mosaico (Figura 4). Na continuação do trabalho adotaremos a seguinte notação BL_n para designar o resultado do processamento após a n -ésima correção (Exemplo: BL_0 representa os dados intactos como foram recebidos, ou seja, ainda não houve modificações na estrutura deles).

Figura 4 - Cadeia de correções na determinação do *Backscatter*.



Fonte: Adaptado de Lurton (2015).

Etapa 1: Decodificação do arquivo *Raw Data* (BL_0)

Essa etapa consiste em descobrir como os dados do arquivo são criptografados, quais são todas as variáveis ali representadas, as unidades, toda a descrição desses dados. Esta é uma etapa de apropriação de arquivos mais do que qualquer outra, pois a codificação dos dados não está padronizada e, portanto, cada fabricante terá sua própria receita.

Etapa 2: Georreferenciamento (BL_0)

Nesta etapa, trata-se de garantir que cada dado do arquivo seja georreferenciado, ou seja, que cada superfície ensonificada cuja a energia de retroespalhamento tenha sido registrada tenha uma posição geográfica bem determinada. Este pré-requisito é geralmente verificado porque é também uma condição necessária na fase da batimetria que precede aquela de *Backscatter*. De qualquer forma, se um dado está faltando, pode-se calculá-lo com precisão, pois temos todos os elementos para fazê-lo. Estes são, por exemplo: as posições do navio, os ângulos de emissão, posições dos sensores no navio, geometria do navio, atitude do navio durante a transmissão (pitch, yaw, heave), a velocidade de propagação do som na coluna de água.

Etapa 3: Correções radiométricas (BL_3)

É nesta etapa, que começam realmente as interações com os dados iniciais (BL_0) para obter $BS_f(\beta)$. O objetivo será realizar uma série de correções ditas "radiométricas", que podem ser agrupadas em três grandes grupos: Correções de ganhos de recepção (CorGR), correção de efeitos de propagação através a coluna d'água (CorWL) e correções relacionadas com propriedades mecânicas dos transdutores (CorMT).

- **CorGR:** Consiste em compensar as alterações feitas no nível BL_0 durante a passagem do analógico para o digital antes da gravação no arquivo. Esse ganho é uma função do tempo e se aplica em toda a recepção. Pode ser estático ou variável e, em princípio, a documentação do fornecedor do equipamento deve descrevê-lo. A função abaixo é uma maneira simples de abordá-la, $GR(t) = K_1 \log(t) + K_2 t + K_3$, (CHIMEL, J. et al., 2018). ou $t = \text{tempo de recepção}$, K_1, K_2 e K_3 são constantes aplicadas permanentemente pelo equipamento ou modificado pelo operador. Ao final desta etapa, todas as compensações de ganhos de recepção realizadas, obtemos BL_1 via a Eq. 8:

$$BL_1 = (BL_0 - GR) = SL - 2TL + BS + (DT + DR) + SH \quad (\text{Eq.8})$$

- **CorWL:** O objetivo desta etapa é compensar as perdas de transmissão e aquelas relacionadas à superfície ensonificada A. Como lembrete, $TL = 20 \log(R) + \alpha(R)$ onde $R = ct/2$, pode ser calculado usando a velocidade de propagação do som (c) e o tempo de emissão - recepção (t), ambos pré-requisitos da batimetria, portanto, medidos e registrados. O coeficiente α depende da frequência de uso, que é conhecida, mas não exclusivamente. Ele é também uma função da Temperatura (T°), da Salinidade, da Pressão e do pH (*potential of hydrogen*), que variam com a profundidade. Seus valores podem ser aproximados com boa precisão graças ao uso de um CTD (dispositivo que mede a T° , a pressão, a condutividade para deduzir a Salinidade e tudo isso de acordo com a profundidade). Caso contrário, seus valores também podem ser aproximados usando somente o perfil de variação da velocidade do som com a profundidade (Fazendo uma dedução do perfil T° a partir dele) que é, como já foi apresentado, um pré-requisito da batimetria (LURTON, 2015). Relativamente à compensação ligada com a superfície A, o conhecimento das atitudes do navio, o formato do feixe, a frequência de uso, os dados de construção do transdutor bem como os ângulos de incidência no fundo permitem por construção geométrica determinar esta área e, portanto, fazer as correções necessárias. Ao final desta etapa, após realizar todas as compensações, obtemos BL_2 através da Eq. 9.

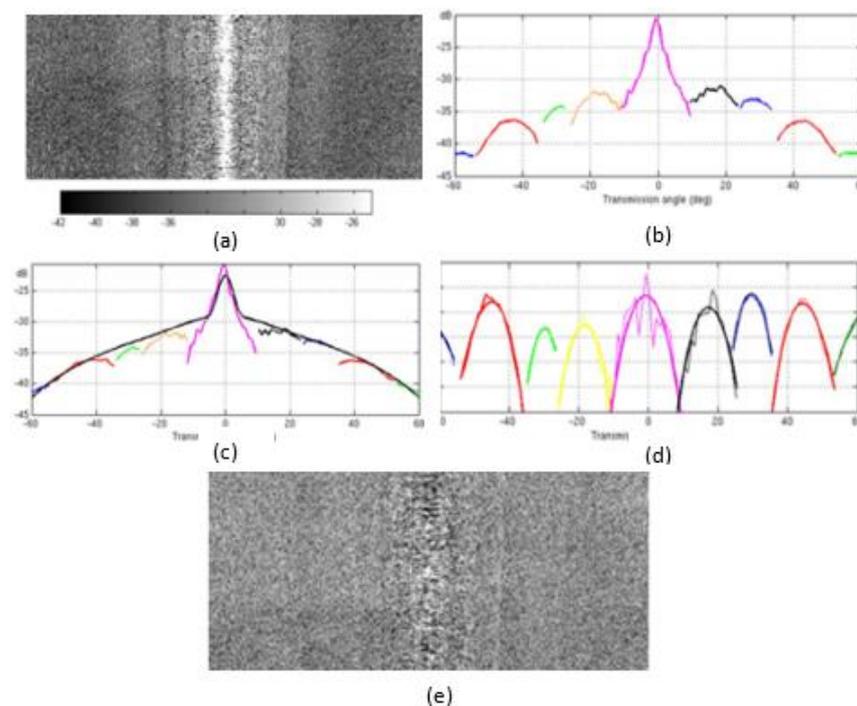
$$BL_2 = [BL_1 - (-2TL + 10\log(A))] = SL + BS_f(\beta) + (DT + DR) + SH \quad (\text{Eq.9})$$

- **CorMT:** São as compensações ligadas com as características mecânicas dos sensores (transmissão e recepção). Mais precisamente, tratar-se-á de trazer as compensações relativas aos termos: **SL, DT, DR et SH**. Todos esses termos são fornecidos pelo fabricante ou calculados (seção 2.2 da revisão bibliográfica) e devem ser estimados antes de cada utilização do equipamento e para cada modo de operação. De fato, essa calibração é essencial porque para um mesmo fabricante, dois equipamentos do mesmo modelo mal calibrado podem dar resultados completamente diferentes (GUIMARÃES, 2020). As técnicas são várias para realizar esta calibração, temos por exemplo uma técnica chamada de “calibração da esfera” onde o objetivo será de ensonificar uma esfera com características supostamente conhecidas antes de ensonificar o fundo. Então, usando a diferença entre o valor medido e aquele esperado da esfera de referência, podemos calibrar os equipamentos. Um outro método é de imagear um fundo do mar suposto homogêneo (Figura 5.a) e registrar a energia de

retroespalhamento. Por causa da recepção seguindo determinados setores angulares e da distribuição desigual da energia de emissão, o perfil de intensidade obtido não será uniforme (Figura 5.b) mas normalmente deveria ser porque o solo foi suposto homogêneo. A ideia será então usar um modelo (preferencialmente que leve em consideração reflexões especulares e lambertianas) para uniformizar o perfil (Figura 5.c) e a diferença entre o perfil obtido e o inicial fornecerá uma referência de correção (Figura 5.d). O modelo de correção assim obtido será utilizado para corrigir a aquisição inicial (Figura 5.e). Sua consistência deve, no entanto, ser verificada para diferentes tipos de solo. Depois de todas essas compensações, temos $BL_3 = BS_f(\beta)$ via a Eq. 10.

$$BL_3 = (BL_2 - SL - (DT + DR) - SH) = BS_f(\beta) \quad (\text{Eq.10})$$

Figura 5 - Exemplo de calibração com imageamento de um fundo do mar homogêneo (equipamentos Kongsberg Maritime EM300, profundidade: 1050m, *swath*: 3400m).



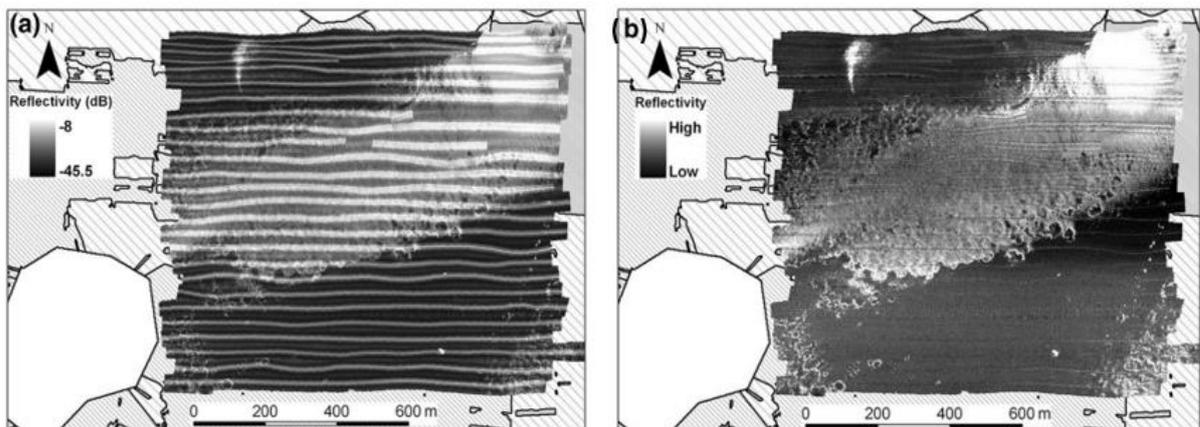
Fonte: Adaptado de Lurton (2015).

Etapa 4: Removendo dependências angulares ($BL_4 = BS_{\theta\text{-freq}}$)

Nesta etapa já temos a intensidade de retroespalhamento para elementos do fundo do mar georreferenciados. Aquela energia varia de acordo com os ângulos de incidências e da frequência utilizada ($BS_f(\beta)$). O problema é que a dependência da intensidade de retroespalhamento aos ângulos de incidências não é interessante para ter uma representação

visual coerente porque ela esconde a relação direta entre o tipo de fundo e a energia de retroespalhamento (Figura 6.a). O princípio da correção será de escolher uma referência angular (ângulo ou intervalo angular) e de nivelar todos os valores de acordo com essa referência (Figura 6.b). A escolha desse ângulo de referência também é importante, pois influenciará bastante na representação do mosaico. No entanto, não existe um padrão para isso. FONSECA et al. (2009) recomendaram o uso de uma faixa angular relativamente ampla de $20^\circ - 60^\circ$, no *software* Caris HIPS & SIPS é usado $30^\circ - 60^\circ$ (LEBLANC; FOSTER, 2015). Além de normalizar os valores, este processo permitirá de terminar com as correções radiométricas iniciadas na etapa 3 e ao final, o resultado não é mais realmente a energia devolvida pelo fundo do mar, mas um artefato introduzido para ajudar na visualização. Notá-lo-emos $BS_{\theta-freq}$ para dizer BS normalizado ao valor θ e à frequência de uso f (exemplo: $BS_{45^\circ-100kHz}$ = energia de retroespalhamento normalizada a 45° e à frequência de uso 100 khz).

Figura 6 - Exemplo de mosaico georreferenciado com dependências angulares (a) e normalizado (b).



Fonte: adaptado de Lurton (2015).

Etapa 5: De-speckling e anti-aliasing correções (BL₅)

Esta quinta etapa de processamento consiste em operações aplicadas ao nível de retroespalhamento normalizado ($BS_{\theta-freq}$) e visando melhorar a qualidade visual da imagem final, principalmente correções do *speckle* e *aliasing*. Embora muitos operadores prefiram não aplicar nenhum aprimoramento neste nível, há vantagens em fazer essas operações aqui antes do mosaico. Pois os dados neste ponto ainda estão na sua melhor resolução espacial, o que fornece maior flexibilidade. Podemos usar uma subamostragem da imagem para trazê-la para a resolução desejada ou usar um filtro passa-baixa para se livrar dos efeitos de *speckle*.

Etapa 6: Criação do mosaico (BL₆)

Esta etapa é a última e consiste na criação do mosaico que é uma imagem georreferenciada da resposta energética do fundo do mar, normalizada (etapa 4) e possivelmente filtrada (etapa 5). Para gerar este mosaico, o operador deve definir cada um dos seguintes parâmetros:

- Resolução da grade : Sua implicação direta será a proximidade espacial entre duas amostras. Idealmente deve ser escolhido de forma que cada célula da grade possua informações.
- Escala de cores (Número de *bits*): O mosaico é uma imagem representada em nível de cinza, ou a cada nível de cinza associaremos uma intensidade em dB. Trata-se aqui de definir o número de *bits* utilizados para esta representação. A consideração padrão é usar 8 *bits* (valor cinza entre 0 e 255) como a escala de cinza.

3. OBJETIVOS

Durante as comissões, a parte de batimetria já possui rotinas bem elaboradas e organizadas conforme à Norma S-44 da OHI (2020). Com apoio de equipamentos como o ecobatímetro multifeixe, podemos garantir a cobertura total do fundo com uma precisão das profundidades que pode ser da ordem de 0,1 m (BISQUAY, 2006). Em relação à caracterização do fundo, mesmo que atualmente não exista uma norma da OHI sobre o assunto, na maioria dos casos procede-se por métodos de coleta direta com grade na área de interesse.

O objetivo geral deste trabalho é trazer uma contribuição para a construção do uso de métodos indiretos via *Backscatter*. Mesmo se a coleta *in situ* permanecerá essencial para a confirmação dos resultados numéricos, o emprego controlado desse método pode trazer muitas vantagens como: reduzir consideravelmente o número de elementos da malha e amostras, garantir uma melhor uniformidade na classificação das zonas em relação aos métodos diretos, dispensa de equipamentos adicionais, dados diretamente disponíveis após o processamento da batimetria.

De forma mais específica, o objetivo do nosso trabalho foi conseguir aplicar a técnica de *Backscatter* em uma área já hidrografada para determinar numericamente os grandes grupos sedimentares ali encontrados e comparar os resultados obtidos com amostras de fundo disponíveis para esta área. Para melhorar o processo, todos os fatores limitantes encontrados durante o trabalho foram também identificados e destacados. A área escolhida para nosso estudo foi a zona sul da ilha de ITACURUÇÁ pela disponibilidade de dados de levantamentos hidroceanográficos e pela presença de informações sobre algumas amostras de fundo.

4. METODOLOGIA

4.1 Dados

- Dados brutos (*Raw Data*) do levantamento batimétrico multifeixe da zona sul da ilha de ITACURUÇÁ (Linhas de sondagem ao torno da posição 22°57'45''S 043°54'36''W) realizado durante o período do 12/11 a 04/12/2014.
- Equipamentos utilizados:
 - Sistema de aquisição: SIS da Kongsberg
 - Posicionador: RTG C-NAV 2050
 - Ecobatímetro: EM 3000
 - Perfilador de velocidade do som: DIGIBAR-PRO
 - Velocidade do som na altura do transdutor: Micro SV da AML
 - Sensor de movimento: Kongsberg Series AS
 - Sistema inercial de navegação: Seapath 200
- Posições e natureza de algumas amostras do fundo
- Modelo numérica da embarcação com posições dos diferentes sensores
- Dados de maré
- *Software* usado pelo trabalho: CARIS HIPS AND SIPS 10.4

4.2 Processo

A metodologia aplicada para realizar corretamente o trabalho foi apresentada de modo teórico na revisão bibliográfica e é retomada de forma prática pelo *software* usado. Portanto, seguimos as diferentes etapas descritas no manual de processamento do retroespalhamento do fabricante (CARIS HIPS and SIPS, 2018), até a geração do mosaico. O resumo das principais ações que foram realizadas no *software* é apresentado na figura 8.

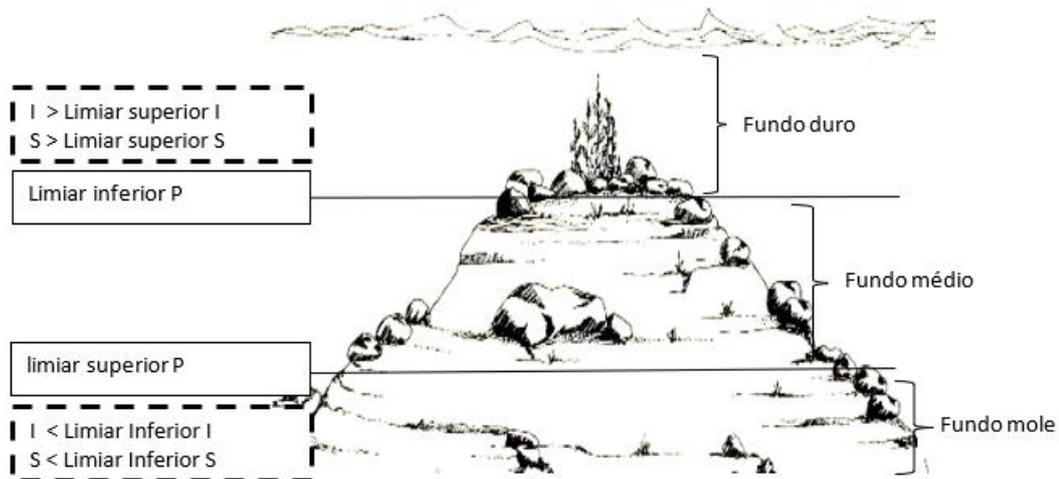
No momento, ainda não existe um método que classifique independentemente o fundo do mar. Por conta disso, o método de classificação usado foi um método supervisionado, ou seja, os critérios de separação de cada área foram colocados pelo operador para gerar os grupos sedimentares.

Com base no fato de que as amostras coletadas são de natureza sólida, média ou mole, decidimos fazer uma classificação de acordo com três categorias. Para isso, foram escolhidos três parâmetros para o desenvolvimento de nossos critérios, pois melhor caracterizam a qualidade da interação acústica com o fundo. Estes são a intensidade (I), o ângulo de incidência (S) e a profundidade (P).

As principais diretrizes que escolhemos para o desenvolvimento de nossos critérios são apresentadas a seguir (Figura 7).

- 1- **Solo duro (pedra, rocha):** É um tipo de solo obtido com um ajuste dos parâmetros I e S de forma que sejam superiores aos limiares fixados arbitrariamente e superiores às suas respectivas médias. Espera-se encontrar esse tipo de solo em profundidades abaixo de um limite escolhido, de modo que fique abaixo da profundidade média.
- 2- **Solo mole:** Obtém-se como para o tipo duro com uma configuração muito restritiva. Neste caso, os parâmetros I e S serão respectivamente inferiores aos limiares escolhidos para serem inferiores às médias. Espera-se encontrar este tipo de solo em profundidades superiores a um limiar acima da profundidade média.
- 3- **Solo médio:** É o que resta após a identificação dos dois grupos anteriores. Cujo, este tipo de fundo será, portanto, o mais inclusivo possível. Uma maneira de defini-lo seria de tomar todos os parâmetros P, S e I abaixo dos valores máximos deles.

Figura 7 - Expressão dos critérios fundo duro, médio e mole.



Fonte: Do autor (2022).

Os valores característicos dos parâmetros P, I e S que estão apresentados na tabela 1, foram obtidos do mosaico. Para podermos analisar o impacto da escolha dos limiares em nossa classificação, decidimos estudar 03 situações que podem ser consideradas como “casos limites”, à medida que os valores dos limiares estão restringidos.

Para facilitar o entendimento, chamaremos uma situação onde os valores dos limiares já estão bem definidos (escolhidos) de “configuração”. Assim será apresentada três

configurações mais em frente e cada uma dela correspondente respectivamente a uma escolha dos valores limiars para os parâmetros P, I e S. Em relação à escolha dos valores limiars, decidimos de calcular os desvios padrão (σ) de cada parâmetro a partir do mosaico e usa-se eles como limiars. Para avaliar o impacto da variação dos limiars usado no resultado final da classificação do fundo marinho da área de interesse, utiliza-se para cada uma das três configurações, limiars diferentes e gradualmente restritivos (afastados das médias). Na primeira configuração, utiliza-se como limiars os desvios padrões dos parâmetros uma vez (1σ), duas vezes (2σ) na segunda e três vezes (3σ) na última. Por exemplo, na primeira configuração ("configuração 1σ "), os desvios padrão de cada parâmetro foram usados uma vez como limiars, ou seja, para cada parâmetro a faixa de variação foi [Média - 1σ ; Média + 1σ], isso faz com que a Intensidade ficará na faixa de [-29 e -22], a profundidade na faixa de [20 e 27] e o ângulo de incidência na faixa de [30 e 50]. É o mesmo raciocínio para as configurações 2σ e 3σ . Na coluna "desvio usado" da tabela 1, temos os diferentes desvios padrão (σ) utilizados para definir esses limiars.

Tabela 1 - variações dos parâmetros no mosaico e desvios usados.

Parâmetro	Mínimo	Máximo	Média	Desvio usado (σ)
Intensidade (dB)	-58	7	-25.5	3.5
Angulo de incidência (°)	0	80	40	10
Profundidade (m)	2.5	44.5	23.5	3.5

Fonte: Do autor (2022).

As tabelas 2, 3 e 4 apresentam os valores nas configurações um dois e três desvios padrão obtidos com base nos princípios expostos acima. Na figura 8 é apresentada o critério de classificação que foi entrado no *software* em relação à configuração 1σ .

Tabela 2 - configuração 1σ .

Parâmetros	Solo duro	Solo médio	Solo mole
Intensidade (dB)	> -22	< 7	< -29
Angulo de incidência (°)	> 50	< 80	< 30
Profundidade (m)	< 20	< 44.5	> 27

Fonte: Do autor (2022).

Figura 8 - Critério de classificação colocado no software pela configuração 1 σ

if (Slope > 80) then NO_DATA else if (Intensity > -22 and Slope > 50) then 1 else if (Intensity > -22 and Depth < 20) then 1 else if (Slope < -29 and Depth > 27) then 2 else if (Intensity < -29 and Depth > 23.5) then 2 else if (Intensity < 7 and Slope < 80) then 3 else if (Intensity < 7 and Depth > 2.5) then 3 else NO_DATA

Fonte: Do autor (2022).

Tabela 3 - configuração 2 σ .

Parâmetros	Solo duro	Solo médio	Solo mole
Intensidade (dB)	> -18.5	< 7	< -32.5
Angulo de incidência (°)	> 60	< 80	< 20
Profundidade (m)	< 16.5	< 44.5	> 30.5

Fonte: Do autor (2022).

Tabela 4 - configuração 3 σ .

Parâmetros	Solo duro	Solo médio	Solo mole
Intensidade (dB)	> -15	< 7	< 36
Angulo de incidência (°)	> 70	< 80	< 10
Profundidade (m)	< 13	< 44.5	> 34

Fonte: Do autor (2022).

Figura 9 - Diagrama de fluxo de trabalho HIPS and SIPS para um equipamento multifeixe.



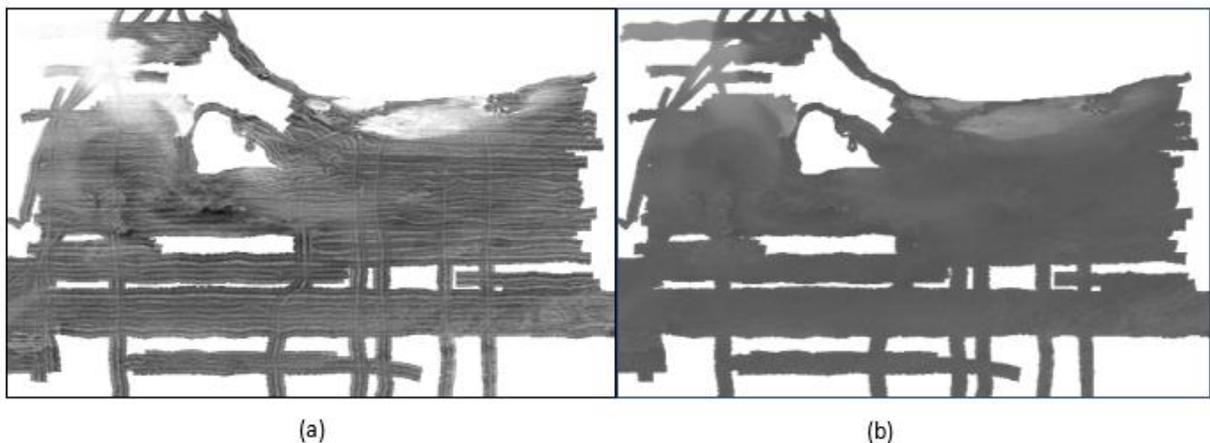
Fonte: Adaptado do manual de processamento do retroespalhamento HIPS and SIPS (2018).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Apresentação do mosaico final

Conforme descrito na seção 2.3 da revisão bibliográfica (Etapa 4), o mosaico final deve estar livre de dependências angulares. Na figura 10.a, podemos ver que para os feixes próximos ao Nadir nosso mosaico tem uma energia de retroespalhamento muito mais forte do que para os feixes mais externos. Este é um sinal de que as dependências angulares ainda estão presentes e que precisa normalizar essa energia de retorno graças à definição de um modelo de feixe (*beam pattern*) a partir das nossas linhas de sondagem (Figura 10.b). Foi Escolhido um pedaço de linha de sondagem onde julgou-se que o processo de aquisição de dados ocorreu de forma correta e que o fundo estava mais ou menos uniforme para definir o modelo de feixe que usamos para normalizar o mosaico.

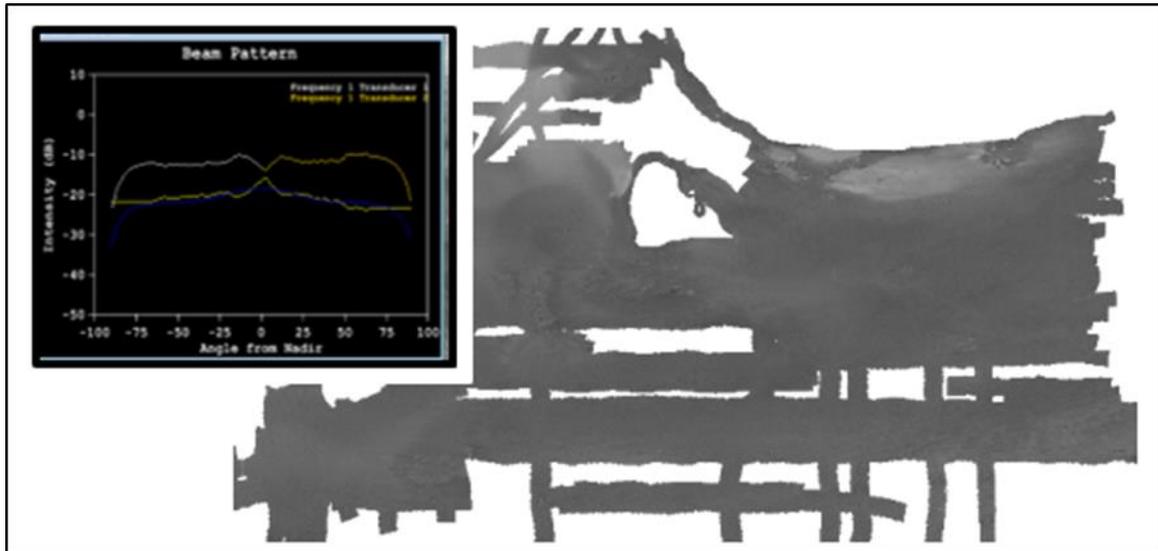
Figura 10 - Mosaico com dependências angulares antes e depois as correções.



Fonte: Do autor (2022)

A Figura 11, nos mostra o resultado alcançado após que usarmos nosso modelo de feixe. Como pode ser visto, a superfície é muito mais uniforme do que a anterior, o que está de acordo com o esperado. Além disso, nota-se também o desaparecimento total das fortes intensidades do nadir, sinal de que o trecho de linha de sondagem escolhido para extrair o feixe modelo era de excelente qualidade. Se não fosse o caso, teria uma uniformidade parcial com a presença de algumas fortes intensidades residuais próximas ao nadir.

Figura 11 - Mosaico corrigido com o modelo padrão de feixe usado.



Fonte: Do autor (2022)

5.2 Resultados da classificação para cada configuração

De acordo com o que foi lembrado na segunda seção da metodologia, ainda não existe um processo padrão pré-definido para desenvolver os critérios que possibilitem a identificação direta de fundos da mesma natureza, muito menos uma norma a ser seguida em relação a este assunto. O manual de processamento do *Backscatter* usado durante este trabalho não foi uma exceção a essa regra. Como resultado, coube a nós definir os critérios utilizados para classificar nossa área de pesquisa. Os resultados apresentados nesta seção variam, respectivamente, dos valores “menos” aos “mais” restritivos (1σ até 3σ).

Para cada um deles, o código de cores usado é o mesmo. Estes são pretos para fundos duros, verdes para áreas médias e amarelos para terrenos macios. A cor vermelha foi reservada para amostras coletadas *in situ* durante os levantamentos. Como lembrete, todos foram classificados como de natureza dura ou rochosa durante a comissão.

5.2.1 Configuração 1σ : menos restritivo

Podemos ver que com os valores dos parâmetros que foram escolhidos para serem os menos restritivos possíveis (apenas um desvio padrão das médias), o critério obtido foi capaz de detectar com sucesso todas as zonas amostradas. Em cada uma das áreas onde as amostras foram coletadas (linhas pontilhadas vermelhas) tivemos uma detecção de fundo rígido (cor preta).

Essas detecções estão perfeitamente em fase com o que era esperado. Nas zonas 1 e 2 (Figura 12), apesar de termos obtido principalmente um fundo de natureza média, tivemos também alguns pontos negros que atestam a detecção de elementos sólidos, mas de baixa intensidade acústica de retorno.

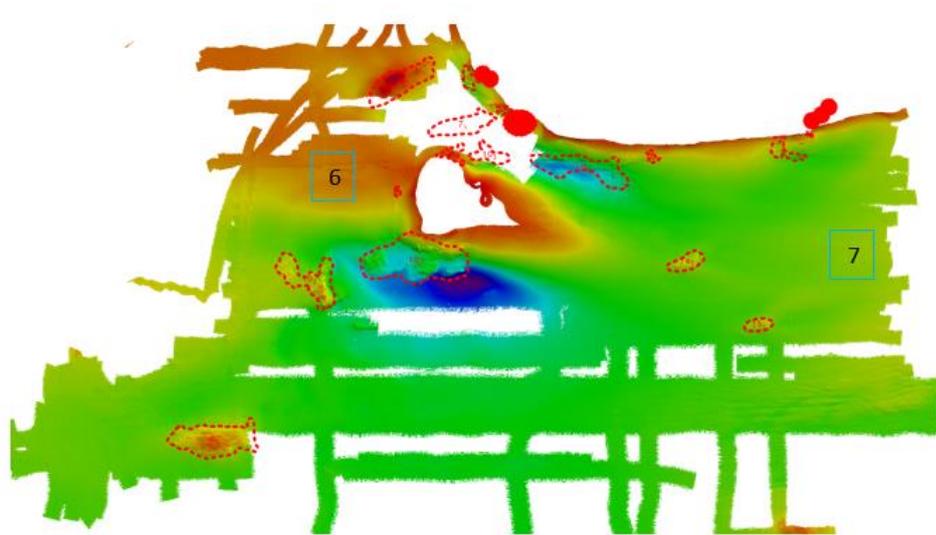
No entanto, as intensidades dos fundos duros parecem-nos excessivamente pronunciadas, o que poderia sugerir que as áreas que lhes dizem respeito não são apenas imensas, mas compostas também de um tipo único. Porém, este não é necessariamente o caso, pois devido à nossa hipótese inicial, apenas uma batimetria fortemente decrescente (profundidades em reduções) poderia levar às mesmas conclusões. Isso foi por exemplo, a situação nas zonas 6 ou 7 (Figura 12) evidenciada pela batimetria da área estudada (Figura 13).

Figura 12 - Resultados classificação configuração 1 σ .



Fonte: Do autor (2022)

Figura 13 - Superfície da batimetria com zonas 6 e 7 que têm um relevo abrupto.

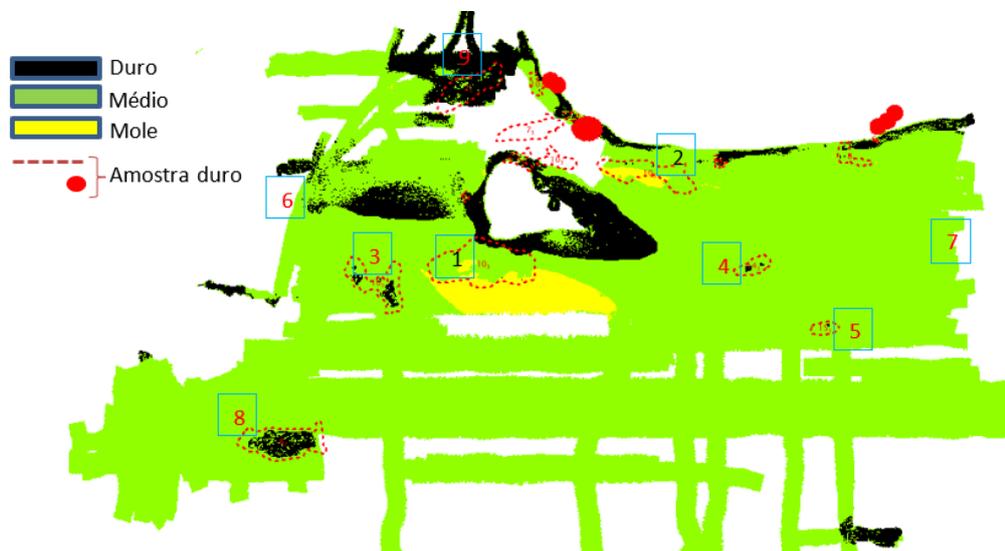


Fonte: Do autor (2022)

5.2.2 Configuração 2σ : restritivo

Para esta configuração, utiliza-se valores de parâmetros mais restritivos (02 desvios padrão das médias) em relação aos anteriores. Foi observado que todas as áreas amostradas foram classificadas corretamente. Já não existem mais as zonas com intensidade de retorno excessiva. As transições são mais suaves e os contornos menos acentuados. A batimetria não causa mais, erros na identificação. Isso significa que o critério é suficientemente restritivo para descartar esse tipo de falsa detecção ou classificação. O aspecto geral desta classificação parece-nos mais próximo da realidade do que a anterior.

Figura 14 - Resultados classificação configuração 2σ .



Fonte: Do autor (2022)

5.2.3 Configuração 3 σ : mais restritivo

Figura 15 - Resultados classificação configuração 3 σ .



Fonte: Do autor (2022)

Essa configuração corresponde à escolha dos valores dos parâmetros P, S e I bastante restritiva (03 desvios padrão das médias). Com o critério assim obtido, observa-se um quase-desaparecimento das zonas de fundo duro falsamente identificadas (zonas 6 e 7). Nem todas as áreas amostradas foram detectadas no tipo correto. Nas zonas 2, 4 e 5 por exemplo, não conseguimos detectar nenhum retorno de intensidade que pudesse ser classificado como pedra e as zonas foram classificadas como médias.

Conclusão parcial:

Graças aos resultados obtidos nessas três configurações, sabemos que a hipótese de base que foi usada para constituí-las é digna de interesse, pois conseguimos correlacionar perfeitamente as diferentes amostras feitas na área com as classificações numéricas. O critério de classificação « 1 σ » embora seja detectado todas as amostras, tem muitos casos de falsa identificação como o caso da classificação errada devido à batimetria. Com o critério « 2 σ », continuamos a ter 100% de boa detecção e os casos de falsa detecção foram bastante reduzidos para serem compensados por um alargamento das zonas médias. As transições entre cada categoria são mais naturais. Na configuração « 3 σ », o critério obtido é o mais restritivo, perdemos assim algumas áreas que foram amostradas, mas ao mesmo tempo isso é compensado pelo desaparecimento dos problemas relacionados com a batimetria.

Diante dos resultados, podemos concluir que o método de análise de retroespalhamento aplicado à nossa área de estudo foi um sucesso. A classificação resultante foi consistente, pois coincidiu com as amostras retiradas do fundo. Conseguimos assim definir sem extrapolação a natureza do fundo desta área, o que é um ponto positivo pela segurança da navegação. Seria interessante que os diversos serviços hidrográficos adotassem este método nos seus procedimentos relativos à determinação das áreas do fundo marinho com mesmo sedimento. Tomando como exemplo a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) do Brasil, é mandatório de acordo com as instruções técnicas A-02, A-03 e com as instruções especiais (IE de LH) emitidas antes de cada levantamento hidroceanográfico de determinar a natureza do fundo da área levantada. No entanto, o método atual para fazê-lo é coletando amostras do fundo, o que, como já foi mencionado, possui várias limitações. O uso da análise de retroespalhamento após uma comissão poderia, por exemplo, ser usado para definir com uma base mais sólida, áreas dignas de interesse onde futuras comissões devem coletar amostras. Na mesma linha, a metodologia empregada para elaborar as diferentes configurações neste estudo pode ser usada para ajudar os operadores a eliminar casos de detecção falsa durante a análise do retroespalhamento. Porque, de fato, se o tipo de uma zona persiste para cada uma delas, significa que há uma boa probabilidade que esse tipo seja o correto.

6. CONCLUSÃO

Os diferentes avanços científicos obtidos ao longo do tempo durante as duas grandes guerras permitiram dar saltos consideráveis na área da hidrografia e montar equipamentos inovadores como o ecobatímetro multifeixe. Graças à sua cobertura total do fundo, permite satisfazer a necessidade de mapeamento do fundo oceânico e isso com uma precisão que pode ser da ordem do centímetro. Quanto à natureza destes fundos marinhos, ainda é difícil obter os resultados parecidos. O método mais usado consiste em coletar amostras pontuais na área de sondagem e assumir que em torno de suas posições a natureza do fundo seja a mesma. O problema aqui é que a distribuição do tipo de fundo em uma área não é necessariamente linear, o que significa que esta técnica não busca a uniformidade com o rigor que gostaríamos no trabalho hidrográfico. Como método alternativo e complementar, os dados coletados durante a sondagem com ecobatímetro multifeixe, com a finalidade original de servirem para descrever a batimetria do local, também podem ser usados para determinar a natureza do fundo do mar graças a uma análise da energia de retroespalhamento (*Backscatter*). Isso teria como principal vantagem de resolver as deficiências do método atual em relação à falta de uniformidade.

Nosso trabalho consistiu, portanto, em aplicar essa técnica à zona sul da ilha de ITACURUÇA, para a qual tivemos os dados e a natureza de algumas amostras desses fundos colhidas durante uma comissão em 2014. Depois de definir os parâmetros e a hipótese a ser usada durante a classificação, observamos para certas configurações dos valores desses parâmetros uma correlação total entre as amostras e as zonas sedimentares obtidas numericamente apesar de alguns casos de falsas detecções que podem ser eliminadas tomando valores de configurações bastante restritivas.

O critério que mais nos trouxe satisfação é aquele que foi obtido na configuração « restritiva (2 desvios padrão das médias) ». É óbvio que este método ainda se beneficiaria de ser padronizado, porque muitos elementos de nosso ponto de vista importantes são deixados à apreciação exclusiva do operador sem que ele tem algumas diretrizes, restrições ou normas a respeitar. Entre os elementos que gostaríamos que fossem padronizados, podemos citar:

- A definição do feixe modelo a ser utilizado durante a normalização: Como ele deve ser escolhido? Qual é o limiar para admitir que de fato removemos todas as dependências angulares do mosaico.

- Os parâmetros necessários para uma classificação: Quais são esses parâmetros? Em nosso trabalho utilizamos intensidade, profundidade e ângulo de incidência. Mas um operador diferente poderia ter escolhido outro porque não são os únicos.
- Uma definição geral do princípio de classificação: trata-se de padronizar a definição de cada tipo de solo (pedra, lama, areia, etc.) de acordo com os parâmetros mantidos, para que os critérios não sejam apenas reutilizáveis, mas que levem ao mesmo resultados para a mesma área de pesquisa. Este não é o caso se cada critério for selecionado só pelo operador sem que seja ténue seguir uma diretriz.
- Definição das incertezas: Para julgar a qualidade do trabalho realizado, será necessário que o desenvolvimento das classes sedimentares e a disponibilização deles sejam acompanhados do cálculo das incertezas relacionadas.
- A definição da resolução: Atendendo às incertezas, importaria também de definir as resoluções das várias superfícies a utilizar durante o processo de forma a atribuir uma resolução ao trabalho final. Como notamos, a resolução final obtida após a separação dos diferentes grupos sedimentares é muito baixa, no sentido de que ainda não podemos ter uma delimitação ao centímetro entre cada grupos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ZHOU, X. et al. Seabed Mixed Sediment Classification with Multi-beam Echo Sounder Backscatter Data in Jiaozhou Bay. **Marine Georesources & Geotechnology**, v. 33, n. 1, p. 1-11, 2015.
- [2] HELLEQUIN, et al. Processing of high-frequency multibeam echo sounder data for seafloor characterization. **IEEE Journal of Oceanic Engineering**, v. 28, n. 1, p. 78 – 89, 2003.
- [3] KATZIR, Shaul. Who knew piezoelectricity? Rutherford and Langevin on submarine detection and the invention of sonar. **Notes and Records**, London, v. 66, n. 2, p. 141-157, 2012.
- [4] LURTON, Xavier. **Acoustique sous-marine: présentation et applications**. Brest: Ifremer, 2001.
- [5] FONSECA, L. et al. Angular range analysis of acoustic themes from Stanton Banks Ireland: a link between visual interpretation and multibeam echosounder angular signatures. **Applied Acoustics**, v. 70, n. 10, p. 1298–1304, 2009.
- [6] WU, Z. et al. **High-resolution Seafloor Survey and Applications**. Singapore: Springer, 2021.
- [7] LURTON, X. et al. Backscatter measurements by seafloor-mapping sonars: Guidelines and Recommendations. In: Annual GeoHab meeting, 2015, Salvador. **Report of working group**. Salvador: GeoHab, 2015.
- [8] LEBLANC, E.; FOSTER, B. New algorithm for multibeam imagery processing. **Marine technology reporter and white papers**, hydrographic edition, n. 2, p. 40–44, 2015.
- [9] LURTON, Xavier. **An Introduction to Underwater Acoustics: Principles and Applications**. 1.ed. Germany: Springer, 2002.
- [10] BISQUAY, Hervé. Sondeurs multifaisceaux: comment ça marche? In: 7èmes journées des utilisateurs du logiciel CARAIBES, 2006, Côte d’Azur. **Présentation**. Côte d’Azur: Ifremer, 2006, p. 69.
- [11] CHIMEL, J. et al. Multibeam sonar backscatter data processing. **Marine Geophysical Research**, v. 39, p. 121–137, 2018.
- [12] GUIMARÃES, I. B. **Obtaining a reference for calibrating broadband multibeam seabed backscatter**. 2020. These (Doctorate degree) - University of New Hampshire, Durham, 2020.
- [13] ANDERSON, J. et al. Acoustic seabed classification: current practice and future directions, **ICES Journal of Marine Science**, v. 65, n. 6, p. 1004–1011, 2008.

- [14] CARIS HIPS and SIPS. **HIPS and SIPS processamento de retroespalhamento**. Niterói, 2018.
- [15] ORGANISATION HYDROGRAPHIQUE INTERNATIONALE. **S-44: Normes de l'Organisation hydrographique internationale pour les levés hydrographiques**, Edition 6.0.0. Monaco, 2020.
- [16] INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION. **S-32: The International Hydrographic Dictionary**. Disponível em: URL: < <http://iho-ohi.net/S32/engView.php> >. Acesso em: 20 set. 2022.