

PROTÓTIPO DE LIBERADOR ACÚSTICO DE BAIXO CUSTO PARA APLICAÇÃO EM ÁGUAS RASAS

Low-cost acoustic release prototype for application in shallow water

André Luis Lima Silva¹ , Renato Peres Vio² 

Resumo: Liberadores acústicos são equipamentos autônomos comumente utilizados no âmbito da oceanografia como componente de linhas de fundeio. Eles auxiliam na recuperação de sensores instalados para coleta de dados ao longo da coluna d'água. Tais equipamentos são acionados remotamente por sinais acústicos que, transmitidos no meio submarino, podem percorrer longas distâncias, tornando-se assim uma maneira eficaz de acionamento remoto. Embora sejam úteis no âmbito da pesquisa e da indústria, no Brasil, estes equipamentos são comercializados a elevado custo e, geralmente, envolvem importação. A pesquisa apresentada neste artigo teve como objetivo desenvolver um protótipo de liberador acústico de baixo custo reunindo as principais características necessárias ao funcionamento confiável desse equipamento em ambientes de águas rasas. Apresenta-se uma opção construtiva para o invólucro estanque e para o mecanismo de liberação. Para compor a plataforma do dispositivo autônomo, foi desenvolvido um algoritmo de decisão, que utiliza filtragem casada para avaliar a presença do sinal de acionamento (chave). Avaliando-se os parâmetros de transmissão entre projetor e receptor, o efeito do canal marinho na propagação do sinal e incorporando o devido pré-processamento, os resultados comprovaram a viabilidade do protótipo e a possibilidade de ampliar o emprego desse equipamento em território nacional. A versão integral deste projeto foi apresentada na forma de dissertação como requisito para conclusão do curso de mestrado em Acústica Submarina no IEAPM, em Abril de 2023.

Palavras-chave: Liberador acústico. Acústica submarina. Dispositivos autônomos. Filtragem casada.

Abstract: Acoustic releasers are autonomous equipment commonly used in oceanography as a component of mooring lines. They assist in the recovery of sensors installed to collect data along the water column. This equipment is activated remotely by acoustic signals that, transmitted underwater, can travel long distances, thus becoming an effective way of remote triggering. Although they are useful in research and industry, in Brazil, these equipment are sold at a high cost, usually involving importing. The research presented in this article aimed to develop a prototype of a low-cost acoustic releaser, bringing together the main characteristics necessary for the reliable operation of this equipment in shallow water environments. A constructive option is presented for the watertight enclosure and for the release mechanism. To compose the autonomous device platform, a decision algorithm was developed, which uses matched filtering to evaluate the presence of the triggering signal (key). By evaluating the transmission parameters between projector and receiver, the effect of the marine channel on signal propagation and incorporating appropriate pre-processing, the results proved the viability of the prototype and the possibility of expanding the use of this equipment across the national territory. The full version of this project was presented in the form of a dissertation as a requirement for completing the master course in Underwater Acoustics at IEAPM, in April 2023.

Keywords: Acoustic releaser. Underwater acoustic. Standalone devices. Matched filtering.

1. Mestre em Acústica Submarina pelo Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM), Arraial do Cabo, RJ - Brasil. E-mail: luis.lima@marinha.mil.br

2. Doutor em Engenharia Acústica pela Naval Postgraduate School. Professor do Programa de Pós-graduação em Acústica Submarina e encarregado da Divisão de Engenharia Acústica do IEAPM, Arraial do Cabo, RJ - Brasil. E-mail: peres.vio@marinha.mil.br

1. INTRODUÇÃO

Em todas as áreas da pesquisa, a execução de medições *in situ* é fundamental para entender fenômenos naturais ou validar modelos numéricos que os representam (KLEIJNEN, 1995; SARGENT, 2009). No oceano, instalar e manter instrumentos de medição ao longo da coluna d'água é uma tarefa complexa, uma vez que o ambiente marinho impõe desafios. É preciso lidar, por exemplo, com a degradação causada pelas características químicas, visto que a presença de sais dissolvidos na água pode acelerar o processo de corrosão. Soma-se a isso a degradação causada pelas características físicas, tais como a variação de temperatura, pressão e ação das correntes marinhas. E, finalmente, é preciso considerar a degradação causada pelas características biológicas, devido à presença de animais e microrganismos que provocam bioincrustação (principalmente no ambiente de águas rasas).

O oceano é, sem dúvida, o ambiente mais extenso do planeta e, por isso, a tarefa de monitorá-lo depende do emprego de uma grande quantidade de sensores para que possa ser considerada eficaz ou representativa. O Brasil tem, sob sua jurisdição, 3,5 milhões de quilômetros quadrados (km²) de espaço marítimo (PEREIRA, 2019). Essa vasta área, denominada Amazônia Azul, é de interesse não só para a pesquisa oceanográfica, mas para exploração, tráfego marítimo e vigilância no âmbito de defesa.

Liberadores acústicos são atuadores largamente utilizados para recuperar equipamentos submersos ou para expor a localização de equipamentos a serem inspecionados, em um fundeio oceanográfico ou em uma estação submersa. Seu acionamento ocorre através de um comando remoto que utiliza sinal acústico (DOSITS, 2022). Opta-se pela utilização de sinais acústicos na comunicação submarina em detrimento de sinais compostos por ondas eletromagnéticas devido às características ionizantes da água. Pulsos eletromagnéticos exigiriam frequências de transmissão extremamente baixas, caso contrário, o sinal seria fortemente atenuado e limitaria seu alcance a poucos metros (LAKE, 2001).

A grande vantagem do uso de um liberador acústico é dispensar ou reduzir a necessidade de executar mergulhos, o que é particularmente interessante quando se trata de regiões cuja profundidade está acima da capacidade humana.

Conforme mencionado, um exemplo comum de utilização para um liberador acústico seria um fundeio oceanográfico.

Essa denominação se refere a um conjunto de equipamentos postos no oceano para obtenção de séries temporais, ou seja, medições de variáveis (temperatura, pressão, ruído) ao longo do tempo (VICENTINI NETO, 2022). Um fundeio é lançado com o objetivo de que permaneça em uma localização fixa. Para tal, podem ser utilizadas poitas em uma das extremidades da linha de fundeio e boias de subsuperfície na outra extremidade. Os sensores e instrumentos de medição são posicionados na profundidade desejada, em relação à coluna d'água, ao longo do cabo que liga a boia à poita.

O liberador é projetado como uma câmara estanque de forma a garantir a integridade do equipamento eletrônico no seu interior e deve permanecer submerso pelo tempo necessário para a aquisição dos dados. Daí a necessidade de que possa consumir energia otimizada, garantindo sua autonomia. A função do liberador, ao receber um sinal acústico específico, é separar (liberar) parte do conjunto fundeado para a superfície. A Figura 1 esquematiza a aplicação de um liberador acústico que, comandado pela comunicação entre um projetor acústico na embarcação e um hidrofone que o compõe, separa parte da linha de fundeio após conclusão da aquisição de dados desejada.

Diversas áreas da oceanografia e da indústria marítima se beneficiam desses equipamentos utilizando-os nessa ou em outras configurações para monitoramento ambiental, em instalações *off-shore*, monitoramento militar de tráfego submarino, entre outras (AKYILDIZ; POMPILI; MELODIA, 2006).

Em equipamentos autônomos, onde não há conexão física com a plataforma de controle, para que a comunicação seja bem sucedida o equipamento submerso precisa ser capaz de receber e interpretar um sinal recebido em meio ao ruído presente e compará-lo com um sinal predefinido através de um algoritmo de decisão embarcado, para então executar um comando específico (NONNATO, 2021).

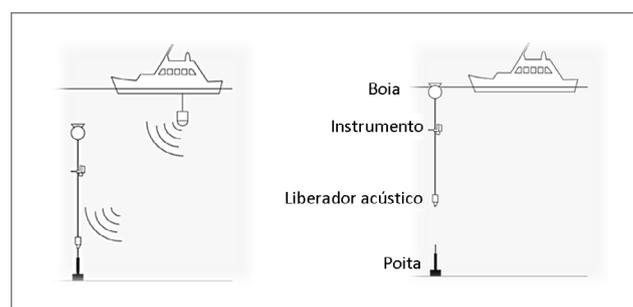


Figura 1. Esquema simplificado de operação de um liberador acústico.

O objetivo geral desta pesquisa foi desenvolver um protótipo de liberador acústico de baixo custo apresentando soluções viáveis no que diz respeito a comunicação acústica, invólucro estanque e acionamento eletromecânico.

Dessa forma, o desenvolvimento e fabricação desse equipamento envolve diversas áreas de conhecimento tais como mecânica, eletrônica, processamento de sinais e, evidentemente, acústica submarina.

2. METODOLOGIA

O desenvolvimento e fabricação de um equipamento ou dispositivo começa necessariamente pelo levantamento dos requisitos de projeto. Para esse liberador acústico, os requisitos básicos avaliados foram a resistência à pressão e a estanqueidade do invólucro, o tipo de acionamento eletromecânico adequado para a carga de tração no cabo e a adequação do sinal chave de acionamento ao conjunto projetor e hidrofone disponível. Após avaliação criteriosa desses requisitos, um algoritmo de decisão foi desenvolvido para garantir que o sinal chave fosse exclusivo para a aplicação, evitando a ocorrência de falsos acionamentos, e utilizando os modelos de propagação disponíveis, a distância máxima de acionamento do liberador foi estimada.

Seguindo o objetivo de construir um liberador acústico de baixo custo e com materiais de fácil obtenção, o invólucro do protótipo foi idealizado utilizando tubos em Policloreto de Vinila (PVC). Dentro da grande variedade de dimensões existentes, optou-se pelo tubo com diâmetro de 100 mm e cuja espessura de parede é de 2 mm.

Além do baixo custo e disponibilidade no mercado, tubos de PVC apresentam como vantagem a possibilidade de adequar o comprimento à necessidade do projeto. Em outras palavras, é possível variar o comprimento do invólucro caso seja necessário adicionar ou retirar algum componente, conferindo flexibilidade ao projeto. É possível, por exemplo, aumentar a quantidade de baterias para adequar sua autonomia ao tempo de coleta de dados. As extremidades do tubo principal foram fechadas utilizando tampões. Esses acessórios também são comumente encontrados para aquisição e possuem alojamento próprio para o uso de vedações de elastômero do tipo *o-ring*.

Adicionalmente, para permitir a passagem do eixo de dentro para fora do invólucro sem a entrada indesejada de água,

um conjunto de vedações utilizando retentores e um selo mecânico foi projetado especificamente para esse protótipo.

Por se tratar de um material de baixa resistência, adotou-se um regime de pressão positiva no interior do invólucro, permitindo assim sua utilização sob a coluna d'água.

A Figura 2 apresenta o invólucro e o sistema de vedação construídos para o protótipo. Devido ao regime de pressão positiva escolhido, tornou-se necessário utilizar dois aros nas extremidades do invólucro, os quais foram travados com barras roscadas no comprimento desejado.

O mecanismo de liberação escolhido para o protótipo foi um conjunto de eixo e porca. Esse conceito permite aplicação do liberador sob carga de tração do cabo resultante do empuxo da boia de subsuperfície e devido ao efeito das correntes. A carga de tração estimada para esse protótipo foi cerca de 1.000 N (100 kgf). O eixo é movido por um motor elétrico de corrente contínua (alimentado por um banco de baterias, cuja tensão nominal é 12V) e a porca, posicionada na parte externa do invólucro e conectada à poita, desprende-se do eixo quando esse é acionado. O princípio de funcionamento baseia-se no fato de que a porca terá seu movimento de rotação bloqueado e, por isso, se deslocará no sentido axial à medida que o eixo gira.

Para garantir o torque necessário para liberar a porca, utilizou-se uma redução composta por um trem de engrenagens planetárias entre o motor e o eixo.

O requisito central do equipamento é a comunicação acústica entre a plataforma de recuperação (navio ou embarcação

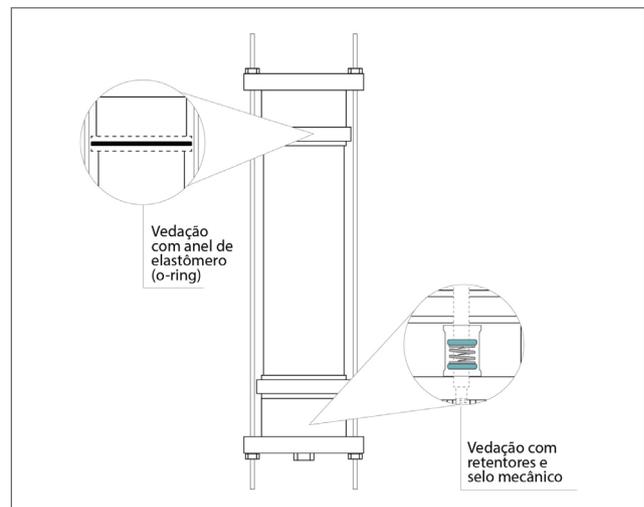


Figura 2. Invólucro do liberador acústico e detalhamento das vedações.

de apoio) e o dispositivo submerso. Viabilizar essa comunicação requer uma escolha adequada da forma de onda e faixa de frequência para transmissão do sinal que será a chave de acionamento; também requer processamento adequado e em tempo real do sinal captado; além da escolha adequada do processo decisório, que deve ser capaz de reconhecer esse sinal quando ele for emitido.

Dentre as técnicas de processamento de sinais úteis a essa aplicação, a filtragem casada (*matched filtering*) é a mais utilizada para a busca de um sinal familiar em meio a ruído através da correlação cruzada (SMITH, 2013; AL-ABOOSI; SHA'AMERI; KHAMIS, 2016). Os termos '*pulse compression*' e '*replica correlation*' referem-se ao mesmo processo de detecção (ABRAHAM, 2019). Por ser otimizado para essa aplicação, o algoritmo utilizado no protótipo aplica um filtro casado para detecção do sinal alvo imerso em ruído no meio submarino.

A presença de ruído e a possibilidade de existirem outros sinais interferidores obrigam a observância de um limiar de decisão (*decision threshold*) para avaliar se o sinal chave foi ou não enviado ao dispositivo. A Figura 3 ilustra a utilização da filtragem casada na detecção de um sinal conhecido. O primeiro gráfico, apresenta na cor preta a forma de onda utilizada como chave neste exemplo. Em azul está a representação do sinal medido (soma do sinal chave com o ruído gaussiano branco gerado por meio de simulação). Em seguida, o gráfico

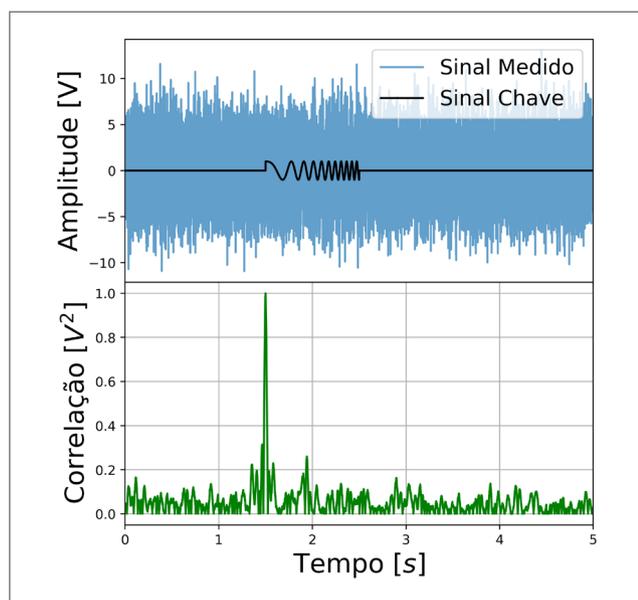


Figura 3. Exemplo de utilização da filtragem casada para detecção de um sinal conhecido.

apresentado na cor verde mostra o resultado da correlação. Essa simulação mostra que, quando o sinal chave está presente, a magnitude da correlação é significativamente maior que nos trechos onde existe apenas ruído.

Ainda no âmbito de simulação, o algoritmo desenvolvido foi testado para detecção do sinal chave em meio a ruído (gaussiano branco) para combinações de limiar de decisão e relação sinal-ruído (*signal to noise ratio* — SNR). Nessas simulações, 10^5 (cem mil) vetores aleatórios de ruído foram gerados para cada par limiar-SNR e dentro deste conjunto de dados foram calculados os parâmetros estatísticos que definem a acurácia do algoritmo de decisão: A Probabilidade de Detecção e a Probabilidade de Falso Alarme.

Para um liberador acústico, o prejuízo de um acionamento indesejado (falso alarme) é considerado muito maior que o prejuízo causado por um Sinal Perdido (quando o sinal chave é emitido e não aciona o dispositivo). Isso porque é possível executar várias tentativas de acionamento em um curto espaço de tempo, enquanto um acionamento indesejado pode inviabilizar por completo a medição que se deseja executar.

Por esse motivo, foi adotado como métrica de projeto o valor de referência igual a 10^{-3} (uma chance em 1.000) para a Probabilidade de Falso Alarme. Esse valor emerge da análise da matriz de decisão binária e representa um valor aceitável para o desenvolvimento confiável do equipamento (URICK, 1983).

O processamento em tempo real, executado por um microcomputador de placa única (*Raspberry Pi*), se resumiu, em linhas gerais, à captura de blocos de áudio de 100 milissegundos armazenados em um *buffer* deslizante e testados em semelhança com uma réplica do sinal chave armazenado na memória. Caso essa semelhança (correlação) atinja um valor especificado de limiar de decisão, o mecanismo de liberação é acionado.

O acumulador (*buffer*) funciona armazenando o sinal medido em múltiplas janelas até atingir o limite de memória pré-estabelecido. Daí, o algoritmo deverá descartar o bloco de dados mais antigo para receber o próximo, em *loop*.

A Figura 4 mostra um esquema simplificado de *buffer* deslizante que ajuda a compreender esse fluxo de dados. No primeiro momento, o acumulador recebe os blocos de dados 1 e 2 em espaços vazios. Como o tamanho máximo de alocação é de dois blocos, para receber o bloco 3 é necessário descartar o bloco 1. Para receber o bloco 4 seria necessário descartar o bloco 2 e assim sucessivamente.

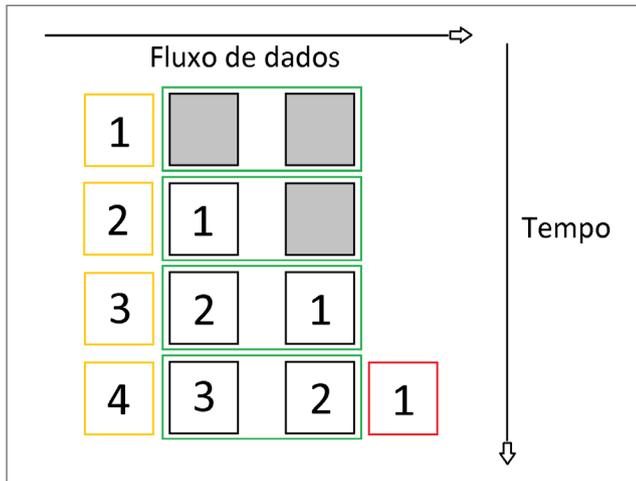


Figura 4. Esquema simplificado ilustrando um buffer deslizante.

Nesse ponto, é importante destacar o hidrofone utilizado para captação no liberador, que foi desenvolvido e fabricado pelo Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM). Afinal, para que um atuador submerso seja capaz de captar um sinal acústico, é necessário que ele possua tal componente. Esse sensor apropria-se do efeito piezoelétrico característico do material cerâmico que o compõe para converter variações do campo de pressão acústica, a que está imerso, em um sinal elétrico correspondente.

O hidrofone, modelo IEAPM, foi calibrado na faixa de frequência entre 1 e 20 kHz e apresentou sensibilidade entre -152 e -155 dB re 1V/1 μ Pa (referência a Volt por micro Pascal). Dessa forma, como medida conservativa, o valor considerado nos cálculos foi de -155 dB re 1V/1 μ Pa.

Adicionalmente, foi incluído como pré-processamento do sinal capturado pelo hidrofone um filtro passa-banda em torno da faixa de frequência em que o sinal chave foi gerado (entre 14 e 19kHz). Essa medida aumenta a relação sinal-ruído e, conseqüentemente, o desempenho do dispositivo, tornando-o capaz de interpretar corretamente o sinal emitido em um alcance (distância) maior.

A Figura 5 ilustra a aplicação do filtro a um sinal sintético de ruído gaussiano branco (escolhido para representar um sinal de banda larga, distribuído em todo espectro de frequência). A banda de filtragem é propositalmente maior que a do sinal chave para permitir que a transição entre a banda passante e a banda rejeitada esteja fora da faixa de interesse. Dessa forma, garante-se que não ocorreram distorções do sinal de interesse devido à aplicação do filtro.

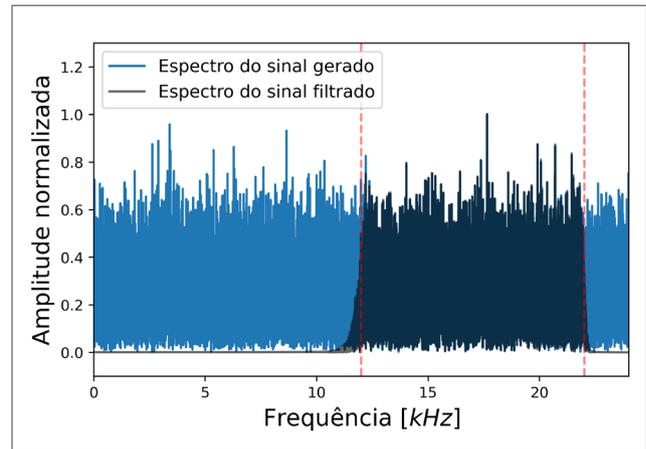


Figura 5. Filtro aplicado a um sinal sintético de ruído gaussiano branco. As linhas vermelhas mostram a banda de filtragem de 12 a 22 kHz.

Após os testes de desempenho de detecção frente ao ruído local e frente a outros sinais (modelados como interferidores), a chave de acionamento para esse protótipo de liberador foi definida com uma forma de onda de frequência modulada (*chirp*), hiperbólica, varrendo a banda de frequência de 14 a 19 kHz (*up-sweep*) e depois de 19 a 14 kHz (*down-sweep*), com duração de 100 milissegundos e frequência de amostragem de 48 kHz (LIMA SILVA et al., 2022).

Ao final do desenvolvimento, o algoritmo de decisão projetado foi testado em ambiente real utilizando a estrutura de transmissão e aquisição de dados disponíveis no IEAPM, posicionada na Enseada dos Anjos, Arraial do Cabo, Rio de Janeiro, e cuja distância entre o transmissor e o receptor é de cerca de 500 metros.

O experimento consistiu no envio e gravação de blocos contendo 40 repetições do sinal chave em diferentes intensidades acústicas, espaçadas de 3 segundos, ao longo de 2 horas, para possibilitar uma avaliação estatística do limiar de detecção necessário para garantir a resposta do equipamento.

Nesse mesmo ensaio, nos trechos da gravação em que não havia sinal transmitido, foi possível avaliar a intensidade do ruído local que, em média, foi de 130 dB re 1 μ Pa.

Somado a esse conjunto de dados, foram executados cálculos de perda na transmissão utilizando o modelo de propagação de traçado de raios (TRACEO) e assim estimar o alcance máximo para acionamento do liberador (RODRIGUEZ, 2010; 2021). Nesse modelo, as ondas sonoras são representadas como uma série de raios que viajam pelo canal submarino e interagem com as variáveis do ambiente, como o fundo

do mar (batimetria), a superfície (estado de mar) e a própria coluna d'água (que causa atenuação). O comportamento de cada raio é determinado pelas leis da física, incluindo a lei de Snell, que descreve a curvatura de um raio na interface entre dois meios de diferentes propriedades acústicas (JENSEN et al., 2011; PORTER, 2016).

O modelo fornecerá uma estimativa da propagação a partir das condições de contorno estabelecidas. É necessário especificar as propriedades acústicas do oceano, como o perfil de velocidade do som, densidade e coeficiente de atenuação, bem como as características geométricas do ambiente, incluindo a batimetria e a localização de fontes e receptores. Essas variáveis de entrada são usadas para calcular os caminhos dos raios e a pressão acústica das ondas sonoras à medida que viajam no canal submarino, refletindo e refratando nas fronteiras entre diferentes materiais.

Em cada ponto ao longo do caminho de um raio, o modelo calcula o campo acústico. E, ao combinar as contribuições de todos os raios, pode-se estimar o campo sonoro resultante em qualquer ponto da coluna d'água. Essa informação pode ser usada para estudar uma variedade de fenômenos, incluindo as perdas na transmissão (*transmission loss* — TL).

Picos ou flutuações nos valores calculados ocorrem devido a efeitos de interferência entre as diferentes frentes de onda que se encontram após percorrer caminhos distintos. A interação entre raios sonoros à medida que se propagam pelo oceano ocorre quando duas ou mais ondas sonoras se encontram e suas amplitudes se somam, seja de forma construtiva (resultando em um sinal mais forte) ou destrutiva (resultando em um sinal mais fraco).

A estimativa feita através de um modelo de propagação é, em geral, mais precisa do que considerar apenas o espalhamento geométrico e os cálculos de atenuação clássicos. Isso porque possibilita considerar um número maior de variáveis para o problema. Entretanto, o modelo deve ser alimentado com informações confiáveis para que a resposta também o seja.

3. RESULTADOS

Após testar a resistência do material escolhido para a construção do invólucro, a pressão de 3 bar (equivalente a 30 metros de coluna d'água) foi definida como valor nominal neste projeto. Esse valor de pressão interna permite utilizar

o protótipo a até 25 metros de profundidade com estanqueidade e funcionalidade.

O invólucro foi pressurizado para teste e mantido assim por 72 horas. Nenhum vazamento foi detectado (falha na estanqueidade do invólucro resultaria na saída do ar-comprimido presente em seu interior e posterior embarque de água no recipiente onde encontram-se os componentes eletrônicos).

O conjunto eletromecânico de liberação também foi testado separadamente, sendo comandado através do microcomputador que seria embarcado no equipamento. O *Raspberry Pi* contém uma série de pinos denominados de GPIO (do inglês *general-purpose input/output*) que puderam ser utilizados para ligar o motor por ocasião do acionamento. O circuito responsável por segregar o sinal elétrico oriundo da placa de comando e a alimentação do motor (cuja corrente elétrica atinge valores da ordem de alguns Amperes e não poderia ser fornecida diretamente) é conhecido como “módulo *driver*”. Esse módulo foi fabricado e testado em funcionamento cíclico (liga/desliga). Ele é composto por componentes eletrônicos robustos cuja vida útil média é de milhares de ciclos.

Partindo dos dados gerados no ensaio realizado na enseada, foi calculada a intensidade acústica necessária para acionamento do dispositivo. Em outras palavras, a relação sinal-ruído necessária para garantir que o chamado emitido pela embarcação de apoio fosse corretamente interpretado pelo liberador acústico e assim acionar o mecanismo de liberação.

O algoritmo de decisão requereu SNR igual a 11,2 dB *re* 1μPa para acionar o dispositivo. Esse valor foi utilizado como referência para o cálculo do alcance, considerando-o como sendo o valor mínimo necessário para o acionamento do liberador acústico.

Através da relação sinal-ruído e de posse da medição do ruído ambiente, estimamos o nível de pressão sonora (*sound pressure level* — SPL) que chega ao hidrofone ao receber o sinal chave. A Equação 1, abaixo, mostra essa relação.

$$\text{SNR} = \text{SPL} - \text{NL} \quad (1)$$

Para o ambiente do ensaio, o nível de ruído medido (NL, do inglês *noise level*) foi de 130 dB *re* 1μPa e, portanto, o nível de pressão sonora foi de 141,2 dB *re* 1μPa.

Sabendo que quando esse SRN foi atingido o nível da fonte (*source level* — SL) foi de 188 dB *re* 1μPa, podemos calcular a perda na transmissão (TL) ocorrida nesse percurso.

A Equação 2, abaixo, é utilizada para esse cálculo e, com os valores citados, resulta em 46,8 dB *re* 1μPa.

$$SL = SPL + TL \quad (2)$$

Apesar de tratar-se de um cálculo simples, executar as medições para diversas posições relativas entre projetor e receptor seria impraticável. E nesse contexto, o modelo de propagação é um grande aliado. Nele conseguimos calcular a TL ao longo do percurso de propagação entre fonte e receptor sem a necessidade de reposicionar estes componentes. No entanto, é preciso que o modelo seja bem ajustado para que ele gere uma boa aproximação da realidade. A perda na transmissão calculada através dos dados reais foi utilizada para validação do cálculo do modelo.

A Figura 6 apresenta a perda na transmissão calculada através do modelo. No ponto onde foi possível o cálculo analítico (500 metros entre receptor e fonte), o modelo estimou a perda em 45,8 dB *re* 1μPa.

O resultado de TL previsto pelo modelo atingiu valor próximo ao calculado através do sinal medido, a diferença entre os valores foi de 1 dB. Isso representa um erro de aproximadamente 2% (considerando a escala logarítmica). E, embora esse ensaio não valide o cálculo da TL através do modelo em todo o alcance, é justo afirmar que se trata de uma boa aproximação.

Utilizando a estimativa de TL calculada com o modelo de propagação e os dados técnicos do conjunto, projetor acústico e hidrofone utilizados, obteve-se uma previsão de alcance máximo de acionamento de 1,5 km.

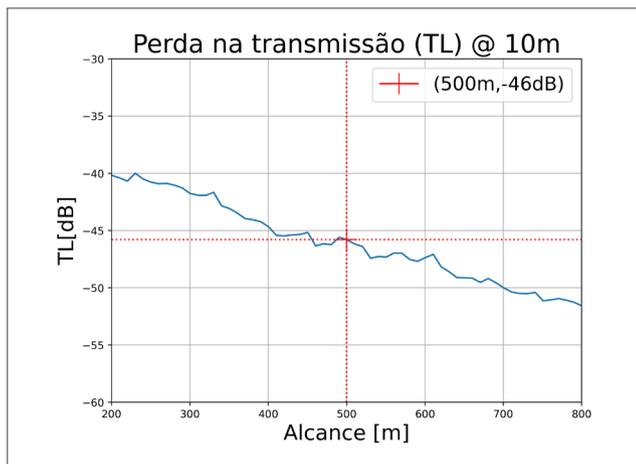


Figura 6. Perda na transmissão calculada através do modelo de propagação de raios TRACEO.



Figura 7. Versão final do protótipo montado para a prova de mar.

O último ensaio realizado foi a “prova de mar” do protótipo. Ela reuniu todos os sistemas montados juntos, como mostrado na Figura 7. Nesse teste, em ambiente real, o liberador foi posicionado a cerca de 8 metros de profundidade entre uma poita e uma boia de subsuperfície para simular uma linha de fundeio. O acionamento foi feito a partir da embarcação na superfície e o projetor acústico encontrava-se a cerca de 15 metros do equipamento. O protótipo obteve êxito no ensaio e as gravações em vídeo destes testes estão disponíveis no endereço eletrônico: https://drive.google.com/drive/folders/1InMVXMLd0fVdDsi7gpd4sggU1acAzUA-F?usp=share_link

4. CONCLUSÕES

Foram apresentadas as etapas e características de projeto necessárias ao desenvolvimento de um protótipo de liberador acústico de baixo custo. As propostas para o invólucro e mecanismo de liberação apresentadas foram baseadas no material disponível e, embora tenham se mostrado viáveis e funcionais, podem ser otimizadas visando uma aplicação definitiva. O mais apropriado, nesse caso, seria utilizar um

invólucro metálico em material resistente a corrosão e resistência a pressão calculada para a profundidade desejada de aplicação do dispositivo.

A técnica de filtragem casada também se mostrou eficaz para a construção de um algoritmo de decisão que identifique um sinal chave pré-estabelecido como exclusivo para o acionamento. E a escolha mais apropriada dentre as testadas foram os sinais de frequência modulada que possibilitam uma grande variedade de combinações através da alteração dos parâmetros de duração, largura de banda e forma (relação tempo-frequência). É importante observar que, para alcançar o maior desempenho, o sinal captado pelo hidrofone deve ser pré-processado utilizando um filtro projetado para a banda de frequência na qual o sinal de

interesse será enviado. Isso previne a interferência de outros sinais e melhora a relação sinal-ruído.

A estimativa de TL obtida através do modelo de propagação de raios mostrou-se suficientemente acurada para o problema proposto. E os ensaios executados demonstram a viabilidade do projeto no que diz respeito à transmissão, recepção e processamento do sinal. E comprovaram a viabilidade do algoritmo de decisão desenvolvido para o protótipo.

A conclusão mais relevante e esperada para o projeto brevemente apresentado neste artigo é que liberadores acústicos, assim como outros equipamentos e instrumentos comumente adquiridos por importação, podem ser desenvolvidos com tecnologia e pesquisas nacionais impulsionando crescimento em diversas áreas e ampliando cada vez mais nosso horizonte.

REFERÊNCIAS

- ABRAHAM, D. A. *Underwater Acoustic Signal Processing: Modeling, Detection, and Estimation*. Ellcott City: Springer, 2019.
- AKYILDIZ, I. F.; POMPILI, D.; MELODIA, T. State-of-the-art in protocol research for underwater acoustic sensor networks. *In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON UNDERWATER NETWORKS*, 1., 2006. *Proceedings* [...]. 2006. p. 7-16.
- AL-ABOOSI, Y. Y.; SHA'AMERI, A. Z. B.; KHAMIS, N. H. H. Comparison of methodologies for signal detection in underwater acoustic noise in shallow tropical waters. *Journal of Engineering and Applied Science*, v. 11, n. 5, p. 3086-3094, 2016.
- DISCOVERY OF SOUND IN THE SEA (DOSITS). *Acoustic Release*. DOSITS. Disponível em: <https://dosits.org/galleries/technology-gallery/basic-technology/acoustic-release/>. Acesso em: 5 out. 2022.
- JENSEN, F. B.; KUPERMAN, W. A.; PORTER, M. B.; SCHMIDT, H. *Computational ocean acoustics*. Nova York: Springer, 2011.
- KLEIJNEN, J. P. C. Verification and validation of simulation models. *European Journal of Operational Research*, v. 82, n. 1, p. 145-162, 1995. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(94\)00016-6](https://doi.org/10.1016/0377-2217(94)00016-6)
- LAKE, C. *Extremely low frequency transmitter site clam lake*. Wisconsin: Navy Fact File Department of Navy, 2001.
- LIMA SILVA, A. L.; VIO, R. P.; XAVIER, F. C.; XAVIER, F. C.; CALAZAN, R. M. Comparação das respostas dos sinais Tom (CW) e Chirp Linear (LFM) no meio submarino. *In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA*, 12., 2022. *Anais* [...]. Florianópolis: FIA, 2022.
- NONNATO, L. V. Instrumentação oceanográfica. *In: HARARI, J. (org.). Noções de Oceanografia*. São Paulo: Instituto Oceanográfico, 2021. p. 763-788.
- PEREIRA, R. O que é a Amazônia Azul e por que o Brasil quer se tornar potência militar no Atlântico. *Gazeta do Povo*, 2019. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/republica/amazonia-azul-brasil-potencia-militar-atlantico/>. Acesso em: 23 ago. 2023.
- PORTER, M. B. *Bellhop3d user guide*. Technical report. La Jolla: Heat, Light, and Sound Research Inc., 2016.
- RODRIGUEZ, O. C. *Fundamentos de acústica submarina*. Algarve: Universidade do Algarve, 2021.
- RODRIGUEZ, O. C. *The TRACEO ray tracing program*. Algarve: Universidade do Algarve-Signal Processing Laboratory, 2010.
- SARGENT, R. G. Verification and validation of simulation models. *In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2009. Proceedings* [...]. IEEE, 2009. p. 162-176.
- SMITH, S. *Digital signal processing: a practical guide for engineers and scientists*. Burlington: Elsevier, 2013.
- URICK, R. J. *Principles of underwater sound*. 3. ed. Los Atlos: Peninsula, 1983.
- VICENTINI NETO, F. L. *Fundeios Oceanográficos*. São Paulo: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://tinyurl.com/4zpzant>. Acesso em: 5 out. 2022.