

APLICAÇÃO DE SONAR EM OPERAÇÕES DE BUSCA SUBAQUÁTICA PELO CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO PARANÁ

APPLICATION OF SONAR IN UNDERWATER SEARCH OPERATIONS BY THE PARANÁ MILITARY FIRE DEPARTMENT

Marcos Roberto Schumacher¹

RESUMO: Este artigo apresenta uma análise técnica do sonar de varredura lateral JW Fishers 450/950 kHz e seu emprego em operações de busca subaquática realizadas pelo Corpo de Bombeiros Militar do Paraná (CBMPR). O equipamento foi utilizado com sucesso em uma ocorrência real de busca subaquática, demonstrando claramente sua eficácia operacional ao reduzir drasticamente o tempo necessário para localização das vítimas desaparecidas. As características de alta resolução e a tecnologia CHIRP demonstram um potencial significativo para agilizar a localização de vítimas e objetos submersos em diferentes cenários, incluindo rios, lagos e, em condições específicas, no mar. O estudo aborda as principais vantagens do uso desse equipamento, como a redução do tempo de resposta e maior segurança para os mergulhadores, além de aspectos técnicos que norteiam sua operação. Discute-se também a importância da manutenção preventiva, ajustes operacionais de frequência e comprimento do cabo, bem como a relevância de embarcações apropriadas em condições adversas. Conclui-se que, com capacitação adequada e procedimentos preventivos rigorosos, o sonar JW Fishers 450/950 kHz representa um grande avanço para o CBMPR em missões de busca subaquática.

Palavras-chave: Sonar de Varredura Lateral. Busca Subaquática. CHIRP. CBMPR.

ABSTRACT: This paper presents a technical analysis of the JW Fishers 450/950 kHz side-scan sonar and its application in underwater search operations conducted by the Paraná Military Fire Department (CBMPR). The equipment was successfully used in a real underwater search incident, clearly demonstrating its operational effectiveness by drastically reducing the time needed to locate missing victims. High-resolution characteristics and CHIRP technology show significant potential for rapidly locating submerged victims and objects across various scenarios, including rivers, lakes, and under specific conditions, at sea. The study addresses the primary advantages of using this equipment, such as reduced response time and enhanced safety for divers, as well as technical aspects guiding its operation. The importance of preventive maintenance, operational adjustments of frequency and cable length, and the relevance of appropriate vessels under adverse conditions are also discussed. It concludes that, with adequate training and rigorous preventive procedures, the JW Fishers 450/950 kHz sonar represents a significant advancement for CBMPR in future underwater search missions.

Keywords: Side Scan Sonar. Underwater Search. CHIRP. CBMPR.

1713

¹Bacharel em Direito, Unisep. Pós-graduado em Direito Militar, Universidade Cândido Mendes.

RESUMEN: Este artículo presenta un análisis técnico del sonar de barrido lateral JW Fishers 450/950 kHz y su uso en operaciones de búsqueda submarina realizadas por el Cuerpo de Bomberos Militar de Paraná (CBMPR). El equipo se utilizó con éxito en un evento real de búsqueda submarina, demostrando claramente su eficacia operativa al reducir drásticamente el tiempo necesario para localizar a las víctimas desaparecidas. Las características de alta resolución y la tecnología CHIRP demuestran un potencial significativo para acelerar la localización de víctimas y objetos sumergidos en diferentes escenarios, incluidos ríos, lagos y, en condiciones específicas, en el mar. El estudio aborda las principales ventajas del uso de este equipo, como la reducción del tiempo de respuesta y una mayor seguridad para los buceadores, así como aspectos técnicos que orientan su operación. También se discute la importancia del mantenimiento preventivo, ajustes operativos de frecuencia y longitud del cable, además de la relevancia de embarcaciones apropiadas en condiciones adversas. Se concluye que, con una adecuada capacitación y procedimientos preventivos rigurosos, el sonar JW Fishers 450/950 kHz representa un gran avance para el CBMPR en misiones futuras de búsqueda submarina.

Palabras clave: Sonar de Exploración Lateral. Búsqueda submarina. CHIRP. CBMPR.

I. INTRODUÇÃO

As atividades de busca subaquática exercidas pelos Corpos de Bombeiros em todo o Brasil envolvem desafios de grande envergadura, como pouca visibilidade, profundidade dos mananciais e possível contaminação das águas (MORAES, 2016). Ao mesmo tempo, há elevado grau de urgência na localização de vítimas de afogamentos ou de objetos submersos, pois o sucesso das operações afeta diretamente o desfecho das ocorrências, seja no salvamento de possíveis sobreviventes, seja na redução do tempo de sofrimento das famílias em casos de óbito (OLIVEIRA; CARNEIRO; OLIVEIRA, 2024).

1714

Diante desses desafios, diversas corporações têm investido na adoção de tecnologias avançadas para auxiliar no processo de busca, entre as quais se destaca o sonar de varredura lateral. No Paraná, o Corpo de Bombeiros Militar (CBMPR) adquiriu recentemente o sonar JW Fishers 450/950 kHz, visando aprimorar a precisão e a segurança nas operações de mergulho (SOSSUL, 2023).

O equipamento já demonstrou sua eficácia operacional em uma ocorrência real de busca subaquática, na qual o sonar foi decisivo para a localização rápida das vítimas desaparecidas, após tentativas frustradas de localização por métodos tradicionais de busca. Há grande potencial de aplicação em águas doces (rios, lagos) e cenários de águas abertas, desde que se observem protocolos adequados de operação e segurança (HEALY, 2012).

Este estudo aprofunda a visão sobre o funcionamento do sonar, distinguindo modalidades ativo e passivo, e descreve a evolução da tecnologia CHIRP, que amplia as

possibilidades de detecção. Discute-se também a relevância das capacitações técnicas e das rotinas de manutenção preventiva do equipamento, para evitar falhas operacionais e garantir eficiência plena (JW FISHERS MFG, 2015).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Conceito e Funcionamento Básico do Sonar

O sonar (acrônimo para *Sound Navigation and Ranging*) é um sistema baseado na emissão de ondas sonoras na água para detecção de objetos submersos, leitura de relevo do fundo e medição de distâncias. Assim que os pulsos sonoros encontram obstáculos, parte dessa energia é refletida e retorna ao sonar, permitindo identificar a posição e, em certos casos, estimar dimensões e contornos do alvo (HEALY, 2012). Em aplicações de busca e salvamento, esse recurso tem se mostrado essencial em ambientes com alta turbidez ou pouca luminosidade, onde o mergulho autônomo por si só fica limitado (MORAES, 2016).

Em termos de operação, o sonar costuma ser acoplado a uma embarcação de pequeno porte para minimizar oscilações e facilitar a manobra. O feixe sonoro varre laterais ou áreas frontais, retornando dados sobre forma, tamanho e distância do objeto. O operador, em geral, controla parâmetros de frequência, ganho e amplitude, enquanto observa em tempo real as imagens formadas na tela (SCHULTZ et al., 2013).

1715

2.2 Sonar de Varredura Lateral

O sonar de varredura lateral é caracterizado pela emissão de pulsos acústicos de alta frequência direcionados às laterais da embarcação. Isso possibilita obter imagens bidimensionais do leito subaquático, como se a água tivesse sido “removida” (MORAES, 2016). Em tais imagens, destacam-se possíveis corpos ou objetos, mesmo em condições de visibilidade praticamente nula. Dentre as vantagens, ressalta-se a rapidez na checagem de grandes áreas, reduzindo o tempo gasto em buscas meramente táteis (OLIVEIRA; CARNEIRO; OLIVEIRA, 2024).

Quanto ao modo de operação, o sonar pode ser classificado em ativo ou passivo:

a) **Sonar Ativo:** emite pulsos sonoros e capta o eco produzido ao colidir com superfícies submersas. Esse tipo é o mais comum em missões de salvamento, pois a própria

emissão de pulsos confere elevado nível de detalhamento, essencial em águas turvas ou de baixa luminosidade (HEALY, 2012).

b) **Sonar Passivo:** não emite sinais; apenas “escuta” sons naturais do ambiente. Embora útil em estratégias militares para captar ruídos de embarcações, tem aplicação limitada no resgate de vítimas, pois não gera, por si só, as imagens do fundo subaquático (MORAES, 2016).

Em operações de busca subaquática, o emprego do sonar de varredura lateral mostra-se uma solução eficiente, pois possibilita identificar com precisão tanto a localização aproximada quanto o contorno detalhado do objeto de interesse, facilitando significativamente a orientação do mergulhador.

2.3 Tecnologia CHIRP

Os avanços recentes em sonar de varredura lateral incluem aprimoramentos no *software* de processamento de imagens e na capacidade de transmissão de sinais em múltiplas faixas de frequência (SCHULTZ et al., 2013). O destaque, porém, é a adoção da tecnologia CHIRP (Compressed High-Intensity Radiated Pulse), que consiste em varrer continuamente um espectro mais amplo de frequências em cada pulso. Dessa forma, ganha-se alcance e resolução simultaneamente, reduzindo falhas na detecção de alvos menores ou situados em fundos irregulares (JW FISHERS MFG, 2015).

1716

Em termos práticos, a emissão de pulsos CHIRP melhora significativamente a nitidez das imagens mesmo em áreas mais profundas ou com turbulência, já que o sinal se adapta às variações de densidade e turbidez da água. Isso permite às equipes de mergulho reduzir consideravelmente as descidas “às cegas” e concentrar esforços em pontos com maior probabilidade de sucesso. Quando aliada a uma rotina adequada de treinamento dos operadores, essa evolução técnica potencializa ainda mais a eficácia do sonar nas operações subaquáticas (OLIVEIRA; CARNEIRO; OLIVEIRA, 2024).

3. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO SONAR JW FISHERS 450/950 KHZ

O sonar JW Fishers 450/950 kHz, adotado por diversas corporações de bombeiros no Brasil, reúne especificações projetadas para atender tanto a operações em águas interiores (rios, lagos, represas) quanto em zonas costeiras de menor profundidade (JW FISHERS MFG, 2015).

A seguir, descrevem-se com mais detalhes os principais aspectos técnicos e funcionais deste equipamento:

3.1 Frequências Operacionais e CHIRP

a) Faixas de Frequência:

O modelo opera em duas faixas principais: 450 kHz e 950 kHz.

- A faixa de 450 kHz oferece maior alcance lateral, cobrindo áreas mais extensas a cada varredura, ideal para situações em que se busca localizar objetos relativamente grandes ou mapear rapidamente regiões amplas (HEALY, 2012).
- A faixa de 950 kHz prioriza a resolução, permitindo distinguir com clareza alvos de menor dimensão (por exemplo, corpos e pequenos destroços) dentro de um raio menor (SCHULTZ et al., 2013).

b) Tecnologia CHIRP (*Compressed High-Intensity Radiated Pulse*):

Este sonar utiliza pulsos que percorrem um espectro contínuo de frequências, em vez de utilizar apenas uma única frequência fixa (JW FISHERS MFG, 2015). Desse modo, obtém-se melhor relação entre alcance e nitidez de imagem, pois a varredura CHIRP ajusta-se dinamicamente às condições do meio. Em águas de turbidez elevada, isso reduz a probabilidade de falhas na detecção de alvos posicionados em fundos irregulares ou com muita vegetação submersa.

1717

3.2 Resolução das Imagens e Alcance Efetivo

a) Resolução de Imagem:

O sonar pode atingir uma resolução transversal próxima a 1 cm quando configurado em 950 kHz (alta definição), o que facilita a identificação precisa de detalhes anatômicos de vítimas submersas, como braços e pernas, além de objetos pequenos. Por outro lado, quando ajustado para operar em 450 kHz, a resolução é de aproximadamente 2,4 cm, suficiente para delimitar contornos mais amplos e localizar embarcações naufragadas (OLIVEIRA; CARNEIRO; OLIVEIRA, 2024).

b) Alcance Lateral:

Em condições ideais (águas calmas e com pouca matéria em suspensão), o alcance pode chegar a 150 metros de cada lado do *towfish* na faixa de 450 kHz. Entretanto, para alvos menores,

costuma-se reduzir essa amplitude e trabalhar em frequências mais altas, assegurando maior nitidez em distâncias de até 50 ou 75 metros (JW FISHERS MFG, 2015).

3.3 Estrutura do Equipamento e Acessórios

a) *Towfish* em PVC Reforçado:

O corpo do sonar (“peixe”) é fabricado em PVC de alta resistência, conferindo proteção contra impactos e facilitando o manuseio (JW FISHERS MFG, 2015). A forma alongada e estável minimiza oscilações durante a varredura, essencial para se obter imagens mais claras.

b) Sensores Internos (Profundidade, Cabeamento e Inclinômetro):

A sonda inclui um sensor de profundidade e mecanismos de controle de *pitch/roll* (inclinação), permitindo ao operador saber a altitude exata do *towfish* em relação ao fundo (MORAES, 2016). Esse recurso é útil para evitar choques acidentais contra obstáculos submersos.

c) Cabo Reforçado com Kevlar:

A versão padrão traz um cabo de 150 pés (cerca de 45 metros) com reforço em kevlar, permitindo suportar tração moderada sem romper (HEALY, 2012). Existem extensões opcionais, chegando a 300 pés (90 metros), o que pode ser fundamental para buscas em pontos mais profundos ou grandes varreduras (SOSSUL, 2023).

d) Unidade de Controle e *Tablet Rugged*:

O pacote normalmente inclui um sistema de controle e visualização, que pode vir com um Microsoft Surface® ou GETAC S410 semi-rugged (JW FISHERS MFG, 2015). Esses dispositivos possibilitam acompanhar em tempo real o resultado da varredura, permitindo ajustes imediatos de ganho e faixa de frequência.

e) Software Sonar View 2:

É a plataforma de gerenciamento e exibição das imagens, permitindo ao operador regular parâmetros como ganho próximo, ganho distante e amplitude de varredura, além de fazer anotações e marcações de GPS (SOSSUL, 2023). Arquivos são armazenados em formato XTF, padrão da indústria, facilitando análises posteriores.

3.4 Compatibilidade com Diferentes Ambientes Aquáticos

a) Águas Doces (Rios, Lagos e Represas):

O JW Fishers 450/950 kHz adapta-se bem a variações típicas de turbidez de rios e açudes (MORAES, 2016). Em áreas extensas, utiliza-se a frequência 450 kHz para cobrir faixas mais

amplas, enquanto em pontos de alta probabilidade de localização de vítimas, faz-se a varredura com 950 kHz, ganhando em detalhamento (HEALY, 2012).

b) Cenários Marítimos ou Costeiros:

Embora projetado essencialmente para águas interiores, o sonar pode ser empregado em profundidades de até 300 metros (cerca de 1000 pés), desde que se observem limitações de correnteza e ondulação (SOSSUL, 2023). Em mar aberto, recomenda-se o uso de embarcações com maior motorização e recursos de estabilidade, pois a varredura requer pouca velocidade e mínima interferência de balanço (JW FISHERS MFG, 2015).

c) Capacidade de Operar em Águas Contaminadas:

Devido à alta turbidez, muitas vezes o mergulho autônomo tradicional seria inviável ou arriscado. Nesses casos, o uso do sonar antecipa a localização do alvo, reduzindo a exposição dos bombeiros a possíveis riscos químicos e biológicos (OLIVEIRA; CARNEIRO; OLIVEIRA, 2024).

3.5 Vantagens Observadas em Operações de Resgate

a) Rapidez na Detecção:

Combinando a emissão CHIRP e a alta resolução, o sonar pode diminuir drasticamente o tempo de busca em cenários onde a área de submersão não seja precisamente conhecida (SCHULTZ et al., 2013).

b) Segurança dos Mergulhadores:

Identificando previamente obstáculos ou pontos de interesse, a equipe mergulhadora gasta menos tempo sob risco ou em contato com águas contaminadas (MORAES, 2016).

c) Registros em Formato Padrão (XTF):

O software Sonar View 2 armazena arquivos que podem ser analisados posteriormente, facilitando investigações forenses e permitindo a criação de um histórico cartográfico do local para ocorrências futuras (JW FISHERS MFG, 2015).

d) Facilidade de Transporte e Implantação:

Por ser relativamente leve e compacto (em comparação a sistemas de maior porte), o sonar pode ser transportado mesmo em embarcações menores, adaptando-se à maioria dos cenários fluviais e lacustres (HEALY, 2012).

Em síntese, o JW Fishers 450/950 kHz destaca-se como uma ferramenta versátil e robusta para operações de busca subaquática, particularmente em contextos de baixa

visibilidade. Desde que se mantenham boas práticas de manutenção e uma equipe devidamente treinada para interpretar as imagens e ajustar parâmetros de frequência, o equipamento tende a otimizar o tempo-resposta e a segurança em diversos cenários de salvamento (OLIVEIRA; CARNEIRO; OLIVEIRA, 2024).

4. METODOLOGIA DE UTILIZAÇÃO DO SONAR EM OPERAÇÕES DE BUSCAS SUBAQUÁTICAS

A aplicação do sonar JW Fishers 450/950 kHz em missões de busca subaquática requer planejamento prévio, configuração criteriosa e execução cuidadosa de cada etapa. A seguir, detalham-se quatro fases principais para maximizar a eficiência do equipamento e reduzir o tempo total de busca:

4.1 Preparação e Configuração Inicial

a) Inspeção de Conectores e Cabos

- Verifique visualmente o estado do cabo reforçado com Kevlar, identificando desgastes ou fissuras.
- Analise os conectores para garantir que não haja oxidação ou sujeira, pois essas condições podem interromper o sinal de transmissão.

1720

b) Teste Funcional de Bancada

- Conecte o sonar ao sistema de controle (*tablet* ou *laptop*) e ligue o software Sonar View 2.
- Ajuste parâmetros básicos, como frequência inicial (450 kHz ou 950 kHz) e ganho médio, para verificar a comunicação entre o *towfish* e a unidade de superfície (JW FISHERS MFG, 2015).

c) Seleção de Embarcação e Equipamentos Auxiliares

- Opte por uma embarcação de pequeno ou médio porte, de preferência com boa estabilidade para evitar oscilações bruscas (MORAES, 2016).
- Carregue a bordo itens de segurança, como coletes salva-vidas, kit de primeiros socorros, boias de marcação e GPS auxiliar.

4.2 Planejamento da Varredura

a) Coleta de Informações do Local

- Consulte dados sobre a profundidade aproximada, correntes, turbidez e eventuais obstáculos conhecidos (rochas, troncos, estruturas metálicas) (HEALY, 2012).
- Mapeie a área presumida de submersão, considerando relatos de testemunhas ou vestígios visuais na superfície (OLIVEIRA; CARNEIRO; OLIVEIRA, 2024).

b) Definição de Faixas de Busca

- Desenhe trajetos paralelos para cobrir sistematicamente toda a região, evitando sobreposições excessivas (SCHULTZ et al., 2013).
- Se necessário, divida a área em quadrantes, priorizando aqueles onde há maior probabilidade de encontrar a vítima ou objeto.

c) Configurações Personalizadas

- Em áreas extensas, prefira operar em 450 kHz para abranger maior amplitude de varredura.
- Caso haja indícios mais específicos de localização em determinado ponto, reduza a amplitude lateral e utilize 950 kHz, obtendo resolução mais elevada (JW FISHERS MFG, 2015). 1721

4.3 Execução da Varredura

a) Lançamento e Controle do Towfish

- Solte o *towfish* suavemente na água, mantendo o cabo sob tensão para evitar enroscos (SOSSUL, 2023).
- Ajuste a profundidade de operação: em geral, o ideal é manter o sonar a 1-2 metros do fundo, garantindo imagens mais nítidas (HEALY, 2012).

b) Navegação Lenta e Constante

- Conduza a embarcação a velocidade entre 1 e 3 nós, alinhada ao eixo definido no planejamento da varredura (MORAES, 2016).
- Evite mudanças bruscas de direção; mantenha o curso o mais retilíneo possível, pois desvios podem gerar lacunas ou distorções nas imagens (SCHULTZ et al., 2013).

c) Monitoramento em Tempo Real

- A cada linha de varredura, o operador do software Sonar View 2 deve observar atentamente as imagens, identificando possíveis formas compatíveis com corpos ou objetos submersos (OLIVEIRA; CARNEIRO; OLIVEIRA, 2024).
- Ajuste dinamicamente parâmetros de ganho e contraste conforme a turbidez local se apresentar mais intensa ou se a profundidade variar (JW FISHERS MFG, 2015).

d) Marcação e Registro

- Sempre que surgir algum indício relevante, registre as coordenadas via GPS e, se aplicável, lance uma boia de marcação para posterior inspeção pelos mergulhadores (MORAES, 2016).
- Se a suspeita for muito forte (contornos típicos de uma vítima), retorne ao ponto exato, reduzindo a amplitude lateral ou operando em frequência mais alta para confirmar (HEALY, 2012).

4.4 Verificação e Conclusão da Busca

a) Descida dos Mergulhadores

- Uma vez delimitada a posição suspeita, os mergulhadores de resgate são acionados para averiguação direta, reduzindo tempo de busca no fundo e exposição a riscos (SCHULTZ et al., 2013).
- Realize a ancoragem ou mantenha velocidade nula enquanto a equipe mergulha, evitando arraste ou mudança involuntária de posição (MORAES, 2016).

b) Identificação e Retirada do Alvo

- Se confirmado tratar-se de uma vítima, aplique as técnicas de recolhimento adequadas, seguindo os protocolos de salvamento ou normas forenses (OLIVEIRA; CARNEIRO; OLIVEIRA, 2024).
- Em caso de objetos relevantes (por exemplo, partes de embarcações, cofres ou destroços), proceda à amarração e reflutuação conforme padrões de segurança adotados pela corporação (SOSSUL, 2023).

c) Avaliação Pós-Ocorrência

- Ao encerrar a operação, registre o tempo total de busca, a distância percorrida e as configurações utilizadas (frequência, amplitude, ganho). Esses dados são úteis para a criação

de quadros comparativos e gráficos, demonstrando a eficiência do sonar em cada tipo de ambiente (HEALY, 2012).

- Verifique as condições do equipamento após a retirada, limpando cuidadosamente o *towfish* e seus conectores para preservar a funcionalidade em operações futuras (JW FISHERS MFG, 2015).

Em suma, o emprego metódico do sonar JW Fishers 450/950 kHz, aliando planejamento detalhado a procedimentos de campo bem-estruturados, possibilita um salto de eficiência nas buscas subaquáticas. A combinação de navegação lenta, observação constante e ajustes dinâmicos de parâmetros se traduz em maior agilidade e menor risco para a tropa, beneficiando tanto o resultado das missões quanto a saúde ocupacional dos bombeiros mergulhadores.

4.5 Estudo de Caso: Emprego do Sonar em Ocorrência Real de Busca Subaquática²

Em uma operação de busca subaquática realizada pelo Corpo de Bombeiros Militar do Paraná (CBMPR), foi registrado o desaparecimento de dois trabalhadores após o naufrágio de uma embarcação em um alagado de grandes dimensões. No primeiro momento, equipes de busca executaram procedimentos tradicionais, incluindo mergulho livre e técnicas de varredura manual, localizando apenas alguns pertences e a embarcação parcialmente submersa e à deriva, dificultando a delimitação precisa da área do incidente.

As primeiras estratégias empregadas incluíram a técnica de espelho de emergência e, posteriormente, o fracionamento da área em quadrantes com o uso de poitas, conforme os padrões adotados em operações desse tipo. No entanto, as tentativas de localização direta por mergulho foram prejudicadas por condições ambientais adversas e pela incerteza quanto ao ponto exato do afogamento.

No segundo dia de buscas, com o apoio do sonar de varredura lateral JW Fishers 450/950 kHz, foi possível delimitar visualmente objetos com características compatíveis com corpos humanos no fundo do alagado. A precisão da imagem obtida pelo sonar permitiu o mergulho direcionado, resultando na pronta localização das vítimas submersas. O Instituto Médico Legal foi acionado para os procedimentos legais.

1723

² **Nota:** As informações desta ocorrência foram adaptadas com o único objetivo de ilustrar tecnicamente a aplicação do sonar em operações reais. Nenhum dado pessoal ou sensível foi incluído, e o conteúdo foi editado para preservar a privacidade e o respeito às vítimas e suas famílias.

A introdução do sonar na operação trouxe uma melhoria substancial no desempenho da equipe de busca subaquática. Com o apoio do equipamento, foi possível delimitar rapidamente a área crítica, reduzir esforços desnecessários e orientar os mergulhadores com maior precisão. Um dos bombeiros que atuou diretamente na ocorrência compartilhou seu relato sobre como o uso da tecnologia impactou a dinâmica da missão:

Eu lembro que tinha um perímetro delimitado onde o pessoal disse ter ouvido os pedidos de socorro. Era uma área grande para ser realizado o mergulho. [...] Foi bem rápido para encontrar os corpos, a gente colocou o barco na água, montamos a parte do sonar e começamos a passar e foi questão de 10 ou 15 minutos no máximo que já vimos que tinha alguma coisa no local. [...] mergulharam ali e fizeram uma busca circular em dois. [...] já acharam o corpo em menos de 10 minutos de mergulho.

Em complemento, o militar destacou a importância do equipamento em situações de pouca disponibilidade de tempo de fundo, bem como dificuldades na interpretação da imagem na tela:

O sonar é super indicado em locais mais profundos que a gente não tem muito tempo de fundo, onde o nosso tempo de fundo máximo é de 10 a 15 minutos, daí nesses locais que a gente acha interessante passar o sonar e ter mais ou menos a noção de onde está o corpo. Dessa forma, minimiza a área que precisamos ficar buscando. [...] Nessa nossa ocorrência a gente não sabia o local exato que eles tinham afundado na água, então com o sonar a gente já conseguiu eliminar bastante área e em pouco tempo. [...] a dificuldade que a gente viu nele é a falta de prática para ler as imagens que aparecem na tela e a falta de uso para poder saber interpretar bem a imagem.

Esse depoimento evidencia como o sonar proporciona maior rapidez na localização de vítimas e, ao mesmo tempo, reforça que a falta de prática em interpretar corretamente as imagens pode prejudicar o aproveitamento total dessa tecnologia. A aplicação do sonar, portanto, representou uma mudança significativa na eficiência da operação, reduzindo o tempo de resposta, ampliando a segurança dos mergulhadores e aumentando a assertividade na busca. Esta ocorrência demonstrou, de maneira prática, a relevância do equipamento em cenários complexos de busca subaquática, especialmente onde há grandes áreas a serem varridas e tempo de fundo limitado para mergulho.

1724

5. APlicabilidade em operações de busca

5.1 Cenários Ideais de Uso

O sonar JW Fishers 450/950 kHz pode ser empregado com elevada eficiência em águas de pouca correnteza ou praticamente paradas, como lagos, represas e grandes açudes (SOSSUL, 2023). Nesses locais, sua resolução aprimorada – sobretudo na faixa de 950 kHz – possibilita identificar alvos submersos com maior rapidez, mesmo quando há turbidez acentuada

(OLIVEIRA; CARNEIRO; OLIVEIRA, 2024). Além disso, em rios de fluxo moderado, a varredura lateral permite cobrir faixas amplas de uma só vez, direcionando os mergulhadores ao ponto exato onde se suspeita da presença de uma vítima ou objeto (HEALY, 2012).

Por outro lado, em extensões lacustres mais amplas, a frequência de 450 kHz pode ser escolhida para aumentar o alcance lateral, possibilitando mapear grandes áreas com menos passadas de embarcação (SCHULTZ et al., 2013). Esse modo de operação agiliza varreduras exploratórias iniciais, sendo especialmente útil quando não se sabe ao certo o ponto de submersão. Caso surjam pistas mais concretas em um determinado quadrante, a equipe pode alternar para 950 kHz, ajustando o ganho no software Sonar View 2 a fim de obter imagens mais detalhadas (JW FISHERS MFG, 2015).

5.2 Possibilidades e Limitações em Ambientes Marítimos

Em cenários costeiros ou em mar aberto – dentro dos limites de profundidade recomendados pelo fabricante (até 300 metros) –, o sonar se mostra igualmente viável, desde que a embarcação e as condições climáticas sejam adequadas (MORAES, 2016). Correntes oceânicas e ondas elevadas podem influenciar a estabilidade do *towfish*, demandando manobras adicionais para evitar oscilações bruscas (SOSSUL, 2023). Além disso, a salinidade do mar e a maior concentração de partículas em suspensão requerem, muitas vezes, ajustes de ganho e frequência para assegurar melhor definição do eco (SCHULTZ et al., 2013).

1725

Apesar desses desafios, o JW Fishers 450/950 kHz tem sido eficaz em missões de busca por embarcações naufragadas ou vítimas de acidentes aeronáuticos que caíram no mar (CBMDF, 2023). A varredura em 450 kHz costuma ser adotada em varreduras preliminares, enquanto a operação em 950 kHz é reservada para inspeções mais pontuais e detalhadas, onde cada metro do fundo marinho deve ser analisado minuciosamente (JW FISHERS MFG, 2015). Ainda assim, o sucesso pleno no ambiente marítimo depende do planejamento da rota, evitando correntes muito fortes, além de um eventual motor elétrico de proa ou sistemas de posicionamento dinâmico para manter curso e velocidade constantes.

5.3 Benefícios Operacionais

a) Redução do Tempo-Resposta

Ao fornecer imagens precisas do fundo, o sonar minimiza a necessidade de mergulhos extensos na modalidade tático, encurtando sensivelmente o tempo de busca (MORAES, 2016). Em

ocorrências em que não se sabe o ponto exato da submersão, o sonar facilita a triagem sistemática, possibilitando que a equipe de mergulhadores só desça quando o alvo estiver bem definido (HEALY, 2012).

b) Maior Segurança para os Operadores

A menor exposição dos bombeiros a águas turvas, contaminadas ou de grandes profundidades é um ponto-chave (OLIVEIRA; CARNEIRO; OLIVEIRA, 2024). Com a localização prévia do objeto ou vítima, reduz-se o risco de enroscos e acidentes por má visibilidade, bem como o contato direto com agentes patogênicos ou substâncias químicas prejudiciais (SCHULTZ et al., 2013).

c) Confiabilidade e Alta Taxa de Sucesso

Em ambientes desafiadores, como leitos rochosos ou cobertos de vegetação, o sonar de varredura lateral aumenta a precisão na identificação de contornos suspeitos. A alternância das frequências (450/950 kHz) e o uso da tecnologia CHIRP conferem maior nitidez, contribuindo para uma alta taxa de acerto ao apontar a localização exata de vítimas ou objetos (JW FISHERS MFG, 2015).

d) Aplicabilidade Forense e Registros

Além do salvamento, o registro dos arquivos em formato XTF permite armazenar imagens para fins de investigação criminal ou perícia técnica, caso se trate de veículos, armamentos ou peças submersas envolvidas em inquéritos (CBMDF, 2023). Essa funcionalidade possibilita um pós-processamento detalhado e a criação de um banco de dados histórico, útil em eventos futuros (MORAES, 2016).

1726

e) Melhora Contínua e Prestígio Institucional

Sempre que os dados operacionais (tempo de detecção, profundidade média, resultados efetivos) forem sistematicamente coletados e comparados, é viável gerar relatórios e gráficos que demonstrem a eficácia do sonar, estimulando novos investimentos e inovações (OLIVEIRA; CARNEIRO; OLIVEIRA, 2024). Esse aprimoramento gradual não apenas aumenta a eficiência das operações, mas também reforça a credibilidade e a imagem institucional do Corpo de Bombeiros perante a sociedade.

5.4 Análise das Ocorrências e Necessidade de Ampliação do Uso de Sonar

Durante este estudo, foram analisadas detalhadamente as ocorrências subaquáticas registradas pelo Corpo de Bombeiros Militar do Paraná (CBMPR) no ano de 2024. Destacam-se os seguintes resultados:

- Ocorrências de afogamento: 127, resultando em 54 mergulhos com um total de 245 horas e 25 minutos;
- Ocorrências de busca por pessoas: 366, com 36 mergulhos totalizando 134 horas e 25 minutos;
- Operações de resgate de cadáver: 192 ocorrências, com 10 mergulhos totalizando 59 horas e 42 minutos.

Esses números evidenciam uma carga horária elevada em operações subaquáticas, frequentemente em condições ambientais adversas. Em alguns locais, a água apresenta alto nível de poluição, aumentando significativamente os riscos para a saúde dos mergulhadores devido à exposição prolongada a substâncias químicas, patógenos e outros contaminantes.

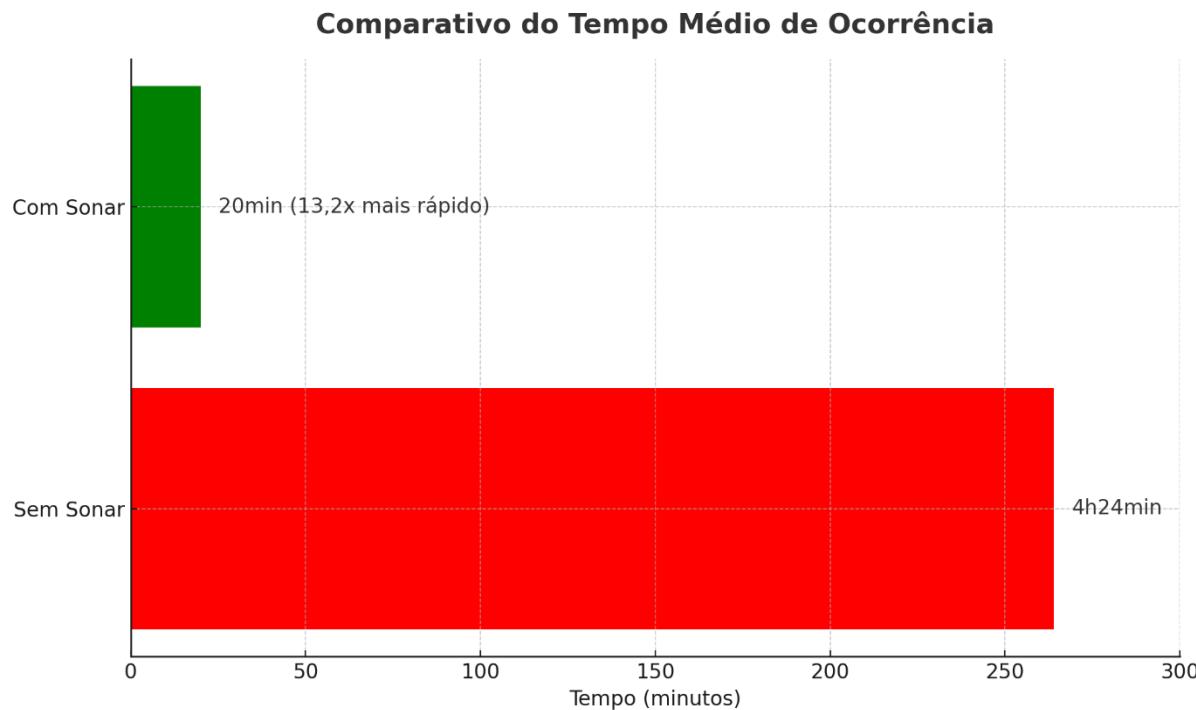
Atualmente, o CBMPR dispõe apenas de uma unidade de sonar localizada em Curitiba-PR, o que pode limitar o atendimento imediato em outras regiões do estado. A ampliação do uso do sonar, especialmente do modelo JW Fishers 450/950 kHz, que combina tecnologia CHIRP com alta resolução, representa uma solução eficaz para diminuir o tempo de busca e reduzir o número de descidas em mergulhos exaustivos. Isso possibilitaria uma atuação mais direcionada dos mergulhadores, reduzindo significativamente sua exposição a ambientes insalubres ou de pouca visibilidade, preservando assim sua saúde e integridade física.

1727

Dentre os 100 mergulhos realizados em 2024 pelo CBMPR, o tempo médio para localização das vítimas foi de aproximadamente 4 horas e 24 minutos. O menor tempo registrado foi de 20 minutos, enquanto o maior tempo foi de 32 horas.

Dois casos específicos exemplificam claramente a eficácia do sonar. Em União da Vitória-PR, uma equipe do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina auxiliou em uma ocorrência utilizando seu sonar, sendo que localizou rapidamente a vítima após dois dias de buscas infrutíferas por mergulhadores. Em Araucária-PR, após tentativas anteriores frustradas dos mergulhadores, o sonar do CBMPR foi empregado, resultando na localização rápida das vítimas imediatamente após seu uso, conforme detalhado anteriormente (ver item 4.5). Em ambos os casos o tempo médio de localização das vítimas foi de aproximadamente 20 minutos.

Figura 1 - Gráfico de comparação de atendimento a ocorrências com o uso do sonar e sem o uso do sonar.



Fonte: CBMPR, 2024.

A diferença entre os tempos médios de resposta em ocorrências com e sem o uso do sonar é impactante. Enquanto as buscas subaquáticas realizadas com métodos tradicionais demandam, em média, 4 horas e 24 minutos, o uso do sonar reduz esse tempo para apenas 20 minutos. Essa redução representa 1.220% a menos de tempo, o que equivale a uma operação 13,2 vezes mais rápida.

1728

Esse ganho operacional é resultado direto da capacidade do sonar de varredura lateral de mapear grandes áreas submersas com rapidez e precisão, mesmo em ambientes com baixa visibilidade.

Esses dados reforçam a importância estratégica da adoção e ampliação do uso de sonares nas operações de busca e salvamento subaquático, não apenas para aumentar a eficiência da resposta, mas também para preservar vidas e recursos operacionais.

6. RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS E OPERACIONAIS

a) Manutenção Preventiva

O correto funcionamento do sonar depende de inspeções regulares nos cabos reforçados com kevlar e nos conectores (JW FISHERS MFG, 2015). Após cada uso, é importante lavar

cuidadosamente o *towfish* com água limpa, removendo possíveis incrustações ou resíduos químicos que possam se acumular em ambientes contaminados. Deve-se ainda secar completamente os conectores antes de guardá-los, inspecionando sinais de desgaste ou oxidação. Peças que apresentem trincas, fissuras ou perda de contato elétrico devem ser substituídas ou reparadas imediatamente, pois tais falhas podem interromper a transmissão do sinal e comprometer a operação.

b) Capacitação Contínua das Equipes

Mesmo um sonar de alta tecnologia não alcançará seu potencial se o operador não possuir experiência em interpretação de imagens sonográficas (MORAES, 2016). Por isso, recomenda-se um calendário de treinamentos práticos, incluindo simulados em ambientes de diferentes profundidades e níveis de turbidez, para que a equipe desenvolva uma leitura precisa dos contornos e sombras acústicas. A troca de experiências entre corporações e a participação em cursos específicos também elevam o padrão técnico do grupo, reduzindo a curva de aprendizado e evitando erros de interpretação em situações reais.

c) Ajustes de Frequência

A seleção de faixas mais baixas (450 kHz) garante maior amplitude de varredura, ideal para buscas preliminares em áreas extensas (HEALY, 2012). Já a operação em faixas mais altas (950 kHz), embora reduza o alcance lateral, oferece resolução mais refinada, essencial para diferenciar pequenos objetos ou confirmar o formato de um possível corpo submerso. Durante as varreduras, é útil variar a frequência conforme se estreita a área de busca: após localizar indícios gerais em 450 kHz, passa-se ao detalhamento em 950 kHz, otimizando tempo e qualidade da detecção.

1729

d) Escolha Adequada da Embarcação

Para águas interiores ou rios de correnteza moderada, embarcações leves e estáveis, como pequenas lanchas, são as mais indicadas, pois facilitam a manutenção da rota e velocidade constantes (SOSSUL, 2023). Já em mar aberto, é fundamental contar com boa motorização, recursos de ancoragem e, se possível, sistemas de navegação avançados para compensar ondas e correntes mais fortes. Manter velocidade entre 1 e 3 nós durante a varredura assegura a coleta de dados nítidos, minimizando distorções nas imagens (MORAES, 2016).

e) Proteção ao Operador

Durante buscas prolongadas ou sob condições climáticas adversas, é recomendável instalar cobertura sobre o espaço onde se manuseia o monitor, protegendo cabos e dispositivos

contra chuva e incidência direta de sol (OLIVEIRA; CARNEIRO; OLIVEIRA, 2024). Em locais muito quentes, assegurar hidratação regular da equipe e a disponibilidade de lanches leves evita fadiga excessiva. Já em cenários de frio ou umidade elevada, equipamentos antichoque ou à prova d'água podem garantir mais segurança ao operador, preservando a integridade do sonar e dos dados coletados.

7. CONCLUSÕES

A adoção do sonar de varredura lateral JW Fishers 450/950 kHz pelo Corpo de Bombeiros Militar do Paraná evidencia um investimento promissor em tecnologia de alta resolução para operações de busca subaquática. A possibilidade de alternar entre 450 kHz, para varreduras amplas, e 950 kHz, para imagens de maior definição, permite agilizar o mapeamento de áreas extensas e, ao mesmo tempo, aprimorar a precisão na identificação de pequenos objetos ou contornos corporais (HEALY, 2012; SCHULTZ et al., 2013). Além disso, o uso da tecnologia CHIRP confere alcance e nitidez simultaneamente, beneficiando buscas tanto em águas paradas quanto em cenários com ondulação moderada.

Outro aspecto relevante é o incremento na segurança dos bombeiros mergulhadores. Localizar pontos de interesse com antecedência reduz o tempo de exposição a riscos inerentes a águas turvas ou contaminadas (OLIVEIRA; CARNEIRO; OLIVEIRA, 2024). Somado a isso, o armazenamento dos dados em formato XTF possibilita análises posteriores, favorecendo investigações criminais e a criação de um histórico de ocorrências que subsidia aperfeiçoamentos futuros.

1730

Por fim, o aproveitamento pleno desse recurso exige capacitação continuada das equipes, manutenção preventiva sistemática e seleção criteriosa da embarcação em cada tipo de ambiente. Caso esses cuidados sejam observados, o JW Fishers 450/950 kHz tem potencial para redefinir as estratégias de busca subaquática, encurtando prazos, elevando taxas de sucesso e fortalecendo a imagem institucional do Corpo de Bombeiros perante a sociedade.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA BRASÍLIA. Mergulhadores do CBMDF atuam no combate a afogamentos no Lago Paranoá. 10 jan. 2024. Disponível em: <https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/2024/01/10/mergulhadores-do-cbmdf-atuam-no-combate-a-afogamentos-no-lago-paranoa/>. Acesso em: 14 mar. 2025.

AGÊNCIA DE NOTÍCIAS DO PARANÁ (AEN). **Sonar, drones e lanchas: Bombeiros ganham estrutura para lutar contra afogamentos.** 21 dez. 2024. Disponível em: <https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Sonar-drones-e-lanchas-Bombeiros-ganham-estrutura-para-lutar-contra-afogamentos>. Acesso em: 14 mar. 2025.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO PARANÁ (CBMPR). *Sistema Interno de Registro de Ocorrências*. Paraná, 2024. Dados internos acessados em: março de 2025.

CORREIO BRAZILIENSE. **Família reconhece corpo de jovem afogado no Lago Paranoá.** 13 out. 2020. Disponível em: <https://www.correobraziliense.com.br/cidades-df/2020/10/4881819-familia-reconhece-corpo-de-jovem-afogado-no-lago-paranoa.html>. Acesso em: 14 mar. 2025.

DEPOIMENTO. **Uso do sonar em ocorrência de busca subaquática.** Concedido por bombeiro militar do CBMPR ao autor, em 27 mar. 2025. Não publicado. Comunicação pessoal.

GI. **Desaparecidos após barco virar em represa do Passaúna.** 2024. Disponível em: <https://gi.globo.com/pr/parana/noticia/2024/11/27/desaparecidos-barco-represa-do-passauna.ghtml>. Acesso em: 13 mar. 2025.

HEALY, C. *Detecting Submerged Remains: Controlled Research Using Side-Scan Sonar to Detect Proxy Cadavers*. Tese de Mestrado. University of Central Florida, 2012. Disponível em: <https://stars.library.ucf.edu/etd/2440>. Acesso em: 14 mar. 2025.

JW FISHERS MFG. *Side Scan Sonar Operation Manual: 450/950 kHz*. Massachusetts, 2015. Disponível em: <https://www.jwfishers.com/product/side-scan-sonar-450-900-khz>. Acesso em: 14 mar. 2025.

1731

MORAES, J. B. F. **As Atividades de Busca Subaquática no CBMGO e as Perspectivas Oferecidas pelo Sonar de Varredura Lateral.** Universidade Estadual de Goiás, 2016. Disponível em: <https://www.bombeiros.go.gov.br/wp-content/uploads/2017/04/AS-ATIVIDADES-DE-BUSCA-SUBAQU%C3%A8TICA-NO-CBMGO-E-AS-PERSPECTIVAS-OFERECIDAS-PELO-SONAR-DE-VARREDURA-LATERAL.-Juliano-Borges-Ferreira-Moares.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2025.

OLIVEIRA, T. H. F.; CARNEIRO, D. V. L.; OLIVEIRA, R. G. **A importância e viabilidade da implantação da sonda de varredura lateral como ferramenta de busca em operações subaquáticas no âmbito do Corpo de Bombeiros Militar da Paraíba.** Revista Mangaio Acadêmico, v. 09, n. 01, 2024. Disponível em: <https://estacio.periodicoscientificos.com.br/index.php/mangaio/article/download/3369/2709/5542>. Acesso em: 14 mar. 2025.

SCHULTZ, J. J.; HEALY, C. A.; PARKER, K.; LOWERS, B. **Detecting submerged objects: The application of side scan sonar to forensic contexts.** Forensic Science International, v. 231, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0379073813003022>. Acesso em: 14 mar. 2025.

SOSSUL. **Sonar de Varredura Lateral 450/950 kHz JW Fishers - SOS Sul.** 2023. Disponível em: <https://www.sossul.com.br/produto/sonar-de-varredura-lateral-450---900-khz>. Acesso em: 14 mar. 2025.