

**MARINHA DO BRASIL**  
**DIRETORIA DE ENSINO DA MARINHA**  
**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE ALEXANDRINO**

**CURSO DE APERFEIÇOAMENTO AVANÇADO EM SISTEMAS DE ARMAS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**EMPREGO DO SONAR REBOCADO NAS FRAGATAS CLASSE TAMANDARÉ**



**1º TEN BRÁULIO AUGUSTO TEIXEIRA SAMPAIO DE ARAUJO**

Rio de Janeiro  
2023

1T BRÁULIO AUGUSTO TEIXEIRA SAMPAIO DE ARAUJO

EMPREGO DO SONAR REBOCADO NAS FRAGATAS CLASSE TAMANDARÉ

Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante  
Alexandrino como requisito parcial à conclusão do Curso  
de Aperfeiçoamento Avançado em Sistemas de Armas

Orientadores:

CC LUCAS DA COSTA FONSECA - CAAML

CT PAULO RICARDO MACHADO COSTA - CAAML

Prof. MARCO ANTONIO GRIVET – PUC Rio

CIAA

Rio de Janeiro

2023

1T BRÁULIO AUGUSTO TEIXEIRA SAMPAIO DE ARAUJO

EMPREGO DO SONAR REBOCADO NAS FRAGATAS CLASSE TAMANDARÉ

Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Alexandrino como requisito parcial à conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Sistemas de Armas.

Aprovada em \_\_\_\_\_

Banca Examinadora:

CF ALESSANDRO ROBERTO DOS SANTOS – CIAA \_\_\_\_\_

CC LUCAS DA COSTA FONSECA – CAAML \_\_\_\_\_

CT PAULO RICARDO MACHADO COSTA – CAAML \_\_\_\_\_

Prof. MARCO ANTONIO GRIVET – PUC Rio \_\_\_\_\_

CIAA

Rio de Janeiro

2023

Dedico este trabalho a todos aqueles que me apoiaram no decorrer do curso de Aperfeiçoamento Avançado em Sistemas de Armas.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus que me permitiu chegar até aqui, aos meus pais Alexandre Sampaio e Lucinete Teixeira que me educaram e me deram suporte em todos os momentos de minha vida. Ao meu orientador, pelos ensinamentos que em muito contribuíram no desenvolvimento do trabalho. A todos os militares e servidores do CIAA, aos professores do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Sistemas de Armas que com muita dedicação transmitiram os conhecimentos necessários à elaboração deste trabalho.

“As ideias e estratégias são importantes, mas o verdadeiro desafio é a sua execução.”

Percy Barnevik

## EMPREGO DO SONAR REBOCADO NAS FRAGATAS CLASSE TAMANDARÉ

### Resumo

Os sonares rebocados desempenham uma importante função na guerra antissubmarino, fornecendo aos meios navais a capacidade de detectar alvos de modo eficiente, por isso é importante analisar a aplicação desta tecnologia no futuro da Esquadra Brasileira, as Fragatas Classe “Tamandaré”. Inicialmente, é feita uma pesquisa bibliográfica descritiva sobre o desenvolvimento e a evolução desses sistemas em algumas marinhas ao redor do mundo, principalmente em navios escolta. Esta pesquisa também aborda as vantagens táticas e operacionais que os sonares rebocados trazem em relação aos métodos já utilizados para detecção submarina. Entre estas vantagens estão a versatilidade na detecção de submarinos em diferentes profundidades e melhora nos sinais captados devido ao afastamento dos sons do próprio navio. Também são apresentadas algumas limitações, como requisitos de espaço na popa das embarcações e restrições de manobrabilidade imposta ao navio. A pesquisa também destaca a importância de desenvolvimento nacional nessa área e a transferência de tecnologia para fortalecer as capacidades do país. O estudo conclui que existem algumas opções de sonares rebocados para serem empregados no novo navio escolta e que a implementação destes equipamentos irá representar um ganho operativo significativo para a Marinha do Brasil.

**Palavras- chave:** Sonar Rebocado; Fragatas Classe “Tamandaré”; Guerra Antissubmarino.

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1	–	Sensores e Equipamentos ASW .....	16
Figura 2	–	Sonar Passivo x Sonar Passivo .....	16
Figura 3	–	Propagação do som na termoclina .....	18
Figura 4	–	Operação com VDS .....	19
Figura 5	–	Sistema típico de sensor de conjunto rebocado .....	21
Figura 6	–	Projeto <i>Electric Eel</i> .....	22
Figura 7	–	TACTAS AN/SQR-19 .....	23
Figura 8	–	CAPTAS 4 na Fragata Classe “ <i>Duke</i> ” .....	25
Figura 9	–	CAPTAS Original/Compacto Independente/Dependente .....	26
Figura 10	–	Sonares Atlas Elektronik .....	28
Figura 11	–	Alcance e frequência Atlas Elektronik .....	28
Figura 12	–	Visualização tridimensional do AMACS .....	29
Figura 13	–	Visualização lateral do AMACS .....	29
Figura 14	–	Arquitetura Funcional do Sistema ACTAS .....	35
Figura 15	–	Conceito de Missão Modular em Navio MEKO A-100 .....	36

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Estado da Arte em Sonares Rebocados nos Navios Escolta no Mundo ....	39
Quadro 2 – Comparativo Sonar rebocado e Sonar de Casco .....	41

## LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACTAS	Active Towed Array Sonar
AJB	Águas Jurisdicionais Brasileiras
ASW	Anti-Submarine Warfare
AMACS	Atlas Modular ASW Combat System
CAPTAS	Combined Active and Passive Towed Array Sonar
DEMON	Detection of Envelope Modulation on Noise
DTS	Dual Towed Sonar
FCT	Fragatas Classe Tamandaré
IPqM	Instituto de Pesquisas da Marinha
LOFAR	Low Frequency Analysis and Recording
MB	Marinha do Brasil
MFTA	Multi-Function Towed Array
MN	Milha Náutica
OTAN	Organização do Tratado do Atlântico Norte
SDAC	Sistema de Acompanhamento e Classificação de Contatos
TACTAS	Tactical Towed Array Sonar
USN	United States Navy
VDS	Variable Depth Sonar

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>1.1</b>	<b>Apresentação do Problema</b> .....	13
<b>1.2</b>	<b>Justificativa e Relevância</b> .....	13
<b>1.3</b>	<b>Objetivos</b> .....	14
1.3.1	Objetivo Geral .....	14
1.3.2	Objetivos Específicos .....	14
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	15
<b>2.1</b>	<b>Conceito, Funcionamento e Tipos de sonares</b> .....	15
2.1.1	Sonar Ativo e Sonar Passivo .....	15
2.1.2	Sonar de Profundidade Variável .....	18
2.1.3	Sonar Rebocado .....	19
<b>2.2</b>	<b>Avanços Tecnológicos em Sonares Rebocados</b> .....	22
2.2.1	Estados Unidos .....	22
2.2.2	França e Reino Unido .....	24
2.2.3	Alemanha .....	27
2.2.4	China .....	30
2.2.5	Turquia .....	30
2.2.6	Canadá .....	31
2.2.7	Finlândia .....	31
2.2.8	Japão .....	32
<b>2.3</b>	<b>Vantagens Táticas e Operacionais dos Sonares Rebocados</b> .....	32
<b>2.4</b>	<b>Limitações dos Sonares Rebocados</b> .....	33
<b>2.5</b>	<b>Desenvolvimento Nacional</b> .....	33
2.5.1	Fragatas Classe “Tamandaré” e Atlas Elektronik .....	34

<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	37
<b>3.1</b>	<b>Classificação da Pesquisa</b> .....	37
3.1.1	Classificação Quanto aos Fins .....	37
3.1.2	Classificação Quanto aos Meios .....	37
<b>3.2</b>	<b>Limitações do Método</b> .....	37
<b>3.3</b>	<b>Coleta e Tratamento dos Dados</b> .....	38
<b>4</b>	<b>DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	39
<b>4.1</b>	<b>Desenvolvimento dos Sonares Rebocados</b> .....	39
<b>4.2</b>	<b>Características Técnicas</b> .....	41
<b>4.3</b>	<b>Desenvolvimento Nacional</b> .....	42
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	44
<b>5.1</b>	<b>Sugestões para futuros trabalhos</b> .....	44
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	45

# 1 INTRODUÇÃO

A detecção eficiente de alvos<sup>1</sup> submarinos tem sido importante desde a Primeira Guerra Mundial. Com vastas Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB), a Marinha do Brasil (MB) requer tecnologias capazes de se opor a ameaças submarinas cada vez mais sofisticadas. Assim, os sonares desempenham um papel fundamental nas operações navais.

Ao longo da história, a detecção submarina passou por uma evolução significativa, à medida que as tecnologias avançaram e as estratégias de guerra naval se adaptaram. Desde os primeiros sonares rudimentares até os sistemas altamente avançados de hoje, a maior eficácia na detecção submarina sempre foi um objetivo das marinhas em todo o mundo.

De acordo com Nugent (2017, tradução nossa): “O sonar<sup>2</sup> é uma tecnologia chave na guerra naval que ainda é amplamente utilizada desde a navegação de um único navio até à investigação oceanográfica à escala global por frotas de navios tripulados e veículos não tripulados equipados com sonar”.

A construção das Fragatas Classe Tamandaré (FCT) trará, para a Esquadra Brasileira, navios equipados com tecnologias de ponta e preparados para enfrentar diversos cenários de guerra moderna.

Nesse contexto, o aprimoramento de um sistema eficaz para *Anti-Submarine Warfare* (ASW ou Guerra Antissubmarino) se faz necessário. A MB explora diversas tecnologias de sonares para navios, considerando tanto modelos fixos ao casco, já utilizados em diversos navios de guerra, quanto os sonares rebocados, que têm vantagens notáveis a serem consideradas.

Compreender o passado e o presente da detecção submarina é fundamental para tomar decisões informadas sobre a implementação estratégica de sonares rebocados nas FCT, levando em consideração as ameaças atuais e futuras, bem como os avanços tecnológicos disponíveis.

---

1 Alvo – Designação genérica que se dá a qualquer elemento físico, ponto ou linha aérea que se deseja detectar, acompanhar, reconhecer, neutralizar, iluminar, bloquear, interditar, suprimir ou inquirir.

2 Sonar - (do inglês *Sound Navigation and Ranging* ou “Navegação e Determinação da Distância pelo Som”) equipamento que funciona à partir da emissão de ondas sonoras e é utilizado para localização e detecção de objetos sob as águas.

## 1.1 Apresentação do Problema

Atualmente, a MB enfrenta limitações nos sonares de casco utilizados em alguns navios de guerra, tais como alcance limitado e capacidade de detecção reduzida. Essas deficiências podem comprometer a defesa submarina e tornar as AJB vulneráveis a ameaças não detectadas. A ausência de sonares rebocados nas operações da MB suscita preocupações adicionais sobre a vigilância eficaz, especialmente em um ambiente marítimo em constante evolução.

Portanto, a questão central que motiva este estudo é compreender a importância do emprego de sonares rebocados para otimizar a detecção submarina nas FCT. Além disso, o estudo visa analisar as vantagens e desvantagens desses equipamentos como uma solução estratégica para aprimorar a capacidade de detecção de alvos submarinos nas operações navais da MB.

## 1.2 Justificativa e Relevância

A justificativa para a realização deste estudo reside na necessidade premente de aprimorar as capacidades de detecção submarina na MB, especificamente nos novos navios escolta que estão sendo construídos em território nacional, as FCT.

A relevância deste estudo também se estende à proteção das AJB e à segurança das operações navais, bem como à defesa dos interesses nacionais. Em um ambiente marítimo em constante evolução, onde as ameaças submarinas estão se tornando mais sofisticadas, é crucial que a MB mantenha-se atualizada e equipada com as tecnologias mais avançadas para garantir a soberania marítima do Brasil. A implementação estratégica de sonares rebocados nas FCT pode representar um avanço significativo nesse sentido, dissuadindo potenciais adversários e garantindo a segurança das rotas marítimas estratégicas.

Além disso, a justificativa para esta pesquisa é respaldada pela experiência e lições aprendidas de outras marinhas ao redor do mundo que empregam sonares rebocados com sucesso. Ao analisar casos de uso eficientes e as estratégias adotadas por outras nações, é possível aplicar à realidade brasileira.

## 1.3 Objetivos

O delineamento dos objetivos foi feito de forma que os objetivos específicos direcionem ao objetivo geral que é o de investigar as tecnologias de sonares e seu papel nas operações navais. Cada objetivo específico aborda aspectos importantes do estudo e contribui para o alcance do objetivo geral, que é analisar a implementação estratégica de sonares rebocados nas FCT.

### 1.3.1 Objetivo Geral

Este estudo visa examinar a implementação estratégica de sonares rebocados nas FCT, com o propósito de aprimorar significativamente a capacidade de detecção de ameaças submarinas e fortalecer as operações navais da MB.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

Investigar o histórico e a evolução dos sonares rebocados em âmbito global, analisando os modelos empregados pelas marinhas ao redor do mundo, bem como identificar as principais empresas que desenvolvem essa tecnologia.

Realizar uma análise das especificações técnicas dos sonares rebocados que podem ser utilizados nas FCT, abrangendo alcance, frequências de operação, resolução e capacidades de processamento de dados.

Realizar uma análise crítica sobre as vantagens e limitações dos sistemas de sonar rebocado no contexto das operações navais, considerando aspectos como detecção submarina, resistência a interferências e limitações operacionais.

Contribuir para as discussões em torno da modernização das capacidades de defesa marítima do Brasil, realçando a relevância estratégica do emprego de tecnologias de detecção submarina avançadas para enfrentar ameaças emergentes e salvaguardar as AJB.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Conceito, Funcionamento e Tipos de Sonares

Para uma compreensão do projeto de um sonar rebocado, é importante adquirir conhecimentos básicos sobre a tecnologia sonar.

O termo "sonar", acrônimo de “*Sound Navigation and Ranging*” (Navegação e Alcance por Som) se refere a uma tecnologia que utiliza ondas sonoras para detectar objetos submersos e medir distâncias no ambiente aquático. O funcionamento de um sistema sonar envolve o envio de pulsos de ondas sonoras que se propagam sob a água e a subsequente detecção do eco resultante. Estes dados sonoros são então captados, processados e apresentados a um operador de sonar por meio de um monitor (Morin, 2019).

#### 2.1.1 Sonar Ativo e Sonar Passivo

Existem dois tipos de sonares quanto ao seu princípio de funcionamento: o sonar passivo e o sonar ativo.

Os sonares ativos operam emitindo uma espécie de "sinal sonoro" chamado de "ping" na água. Esse sinal viaja pela água, atinge um objeto subaquático e, em seguida, retorna como uma espécie de "eco" que é captado pelo transdutor do sonar (Morin, 2019).

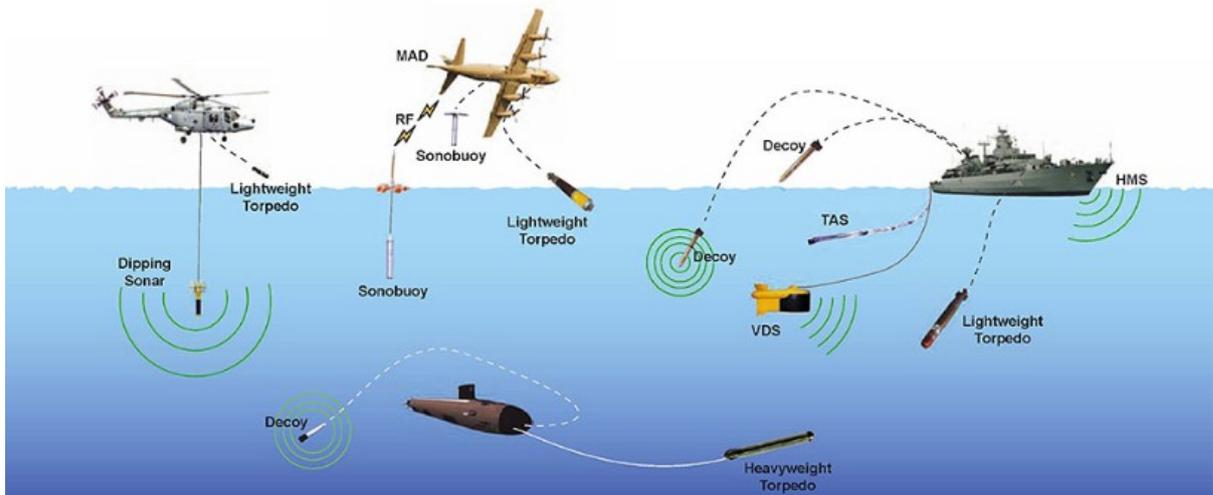
Neste processo, quando o emissor e o receptor estão no mesmo lugar, a operação é chamada monoestática. Caso estejam separados, a operação é biestática. Ainda, quando mais de um transmissor ou receptor são utilizados, especialmente separados, a operação é chamada multiestática. A troca de dados de contato ou de rastreamento e a fusão apropriada de todos os dados disponíveis é usada para alcançar o desempenho ideal de detecção.

De acordo com Galante (2018a):

As técnicas multiestáticas empregam mais sonares, geralmente sonares de mergulho e sonobóias lançadas de aeronaves, que permitem triangulações complexas e visões do alvo de diferentes aspectos, tornando mais fácil determinar a natureza do contato, sua posição, velocidade, curso e profundidade.

A figura 1 mostra diversos sensores e equipamentos utilizados nas operações ASW modernas.

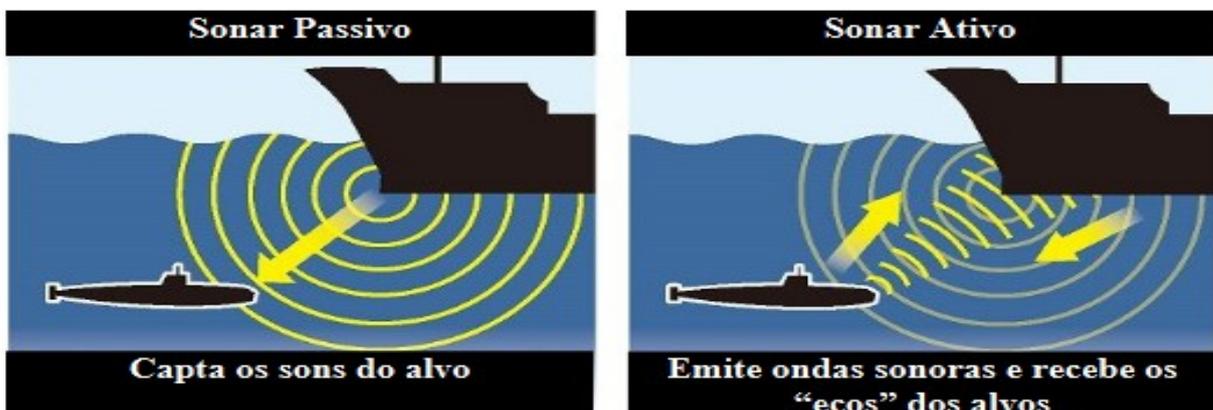
Figura 1- Sensores e Equipamentos ASW.



Fonte: Galante (2018a).

O sonares passivos operam de maneira distinta, como ilustrado na figura 2, uma vez que se concentram em "escutar" sem emitir sinais sonoros ativamente, dessa forma, o sonar passivo se conecta a uma variedade de assinaturas sonoras de diferentes fontes subaquáticas. Esses sons podem incluir ruídos gerados por embarcações, organismos marinhos e até mesmo eventos submarinos (Morin, 2019).

Figura 2 – Sonar Passivo x Sonar Passivo.



Fonte: Shimbun (2021).

Os sonares passivos possuem como sensores os hidrofones, que são os componentes que detectam a energia acústica emitida pelo alvo. Eles possuem um transdutor que converte as flutuações de pressão na água, causada pela propagação de uma onda acústica, em um sinal elétrico. Eles são organizados em conjunto para aumentar a largura do feixe (Morin, 2019).

O som é uma onda compressiva; sendo assim, a velocidade do som depende da compressão do meio onde se propaga: quanto mais compressível for o meio, para dada densidade, mais lenta será a velocidade. No contexto dos oceanos, que apresenta variações de densidades em função de temperatura, salinidade e pressão, a água do mar é menos compressível quando ela é quente - ou seja, nas correntes de superfície, e menos compressiva a altas pressões - como nas massas de águas mais profundas (Cirano, 2014, apud Pinotti, 2020).

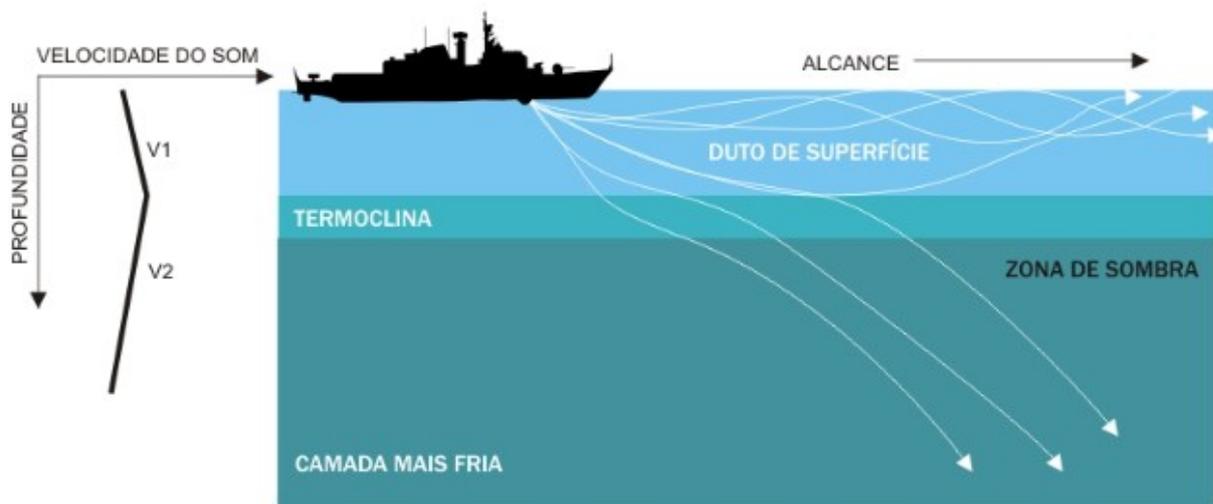
De acordo com Möller Jr e Aseff (2015, p. 129, apud Pinotti, 2020), ao tratar sobre o cálculo da velocidade de propagação do som na água do mar:

Começando pela salinidade, um aumento desta significa um aumento de densidade e, também, do coeficiente de compressibilidade. Se esses dois termos forem tratados de forma separada, a diminuição de velocidade causada pelo aumento de densidade é menor do que o aumento causado pela diminuição da compressibilidade. Como conclusão, a velocidade do som é diretamente proporcional à salinidade. Para a variação de uma unidade de sal, a velocidade do som aumenta em 1,3 m/s. Temperatura e densidade têm uma relação inversa e com isso a velocidade do som é diretamente proporcional à temperatura, numa razão de 3 m/s por grau de temperatura. A temperatura é, portanto, o fator mais importante no controle da velocidade do som. Isso é válido, sobretudo, na camada superior do oceano, que engloba a termoclina. Da mesma forma que a salinidade, o efeito da pressão na compressibilidade da água do mar é mais importante do que sobre a densidade, e a velocidade do som vai aumentar em 1,8 m/s a cada 100 m de profundidade. A pressão começa a ser dominante no perfil de velocidade do som a partir da base da termoclina, quando o efeito da temperatura é reduzido.

Desta forma, as ondas sonoras percorrem distâncias muito mais longas na água do que as ondas luminosas, sendo esta a principal razão de muitos animais marinhos usarem o som - e não a luz - para se direcionar nos seus deslocamentos nos oceanos. “A velocidade do som em uma água de salinidade 35‰ (ppt = partes por mil) é aproximadamente 1.500 m/s, quase cinco vezes maior do que sua velocidade no ar” (Araujo, 2017, apud Pinotti, 2020).

As termoclinas<sup>3</sup> (figura 3): quando se usa um batitermógrafo, é possível detectar camadas de água onde a temperatura é maior do que a camada mais quente da superfície e que tem logo abaixo dela, uma camada de água mais fria. Quando encontra uma camada de temperatura menor, a onda sonora se curva rapidamente para o fundo. A onda sonora vai para o fundo do mar e torna-se inútil. Se um submarino está submerso na termoclina ou abaixo dela, ele não será capturado pela onda sonora e assim permanecerá indetectado (Galante, 2018c).

Figura 3 – Propagação do som na termoclina



Fonte: Galante (2018c)

### 2.1.2 Sonar de Profundidade Variável

As ondas sonoras subaquáticas são curvadas em vez de retas e, quando propagadas na água, sofrem mudanças generalizadas no índice de refração causadas pela variação na temperatura da água dependendo da profundidade. Isto leva à formação de uma área chamada “zona de sombra”, que não pode ser alcançada pelas ondas sonoras transmitidas perto da superfície do mar, como no caso de um sonar fixado ao casco de um navio de superfície. Esta área é onde os submarinos ficam ocultos (Shiba et al., 2021).

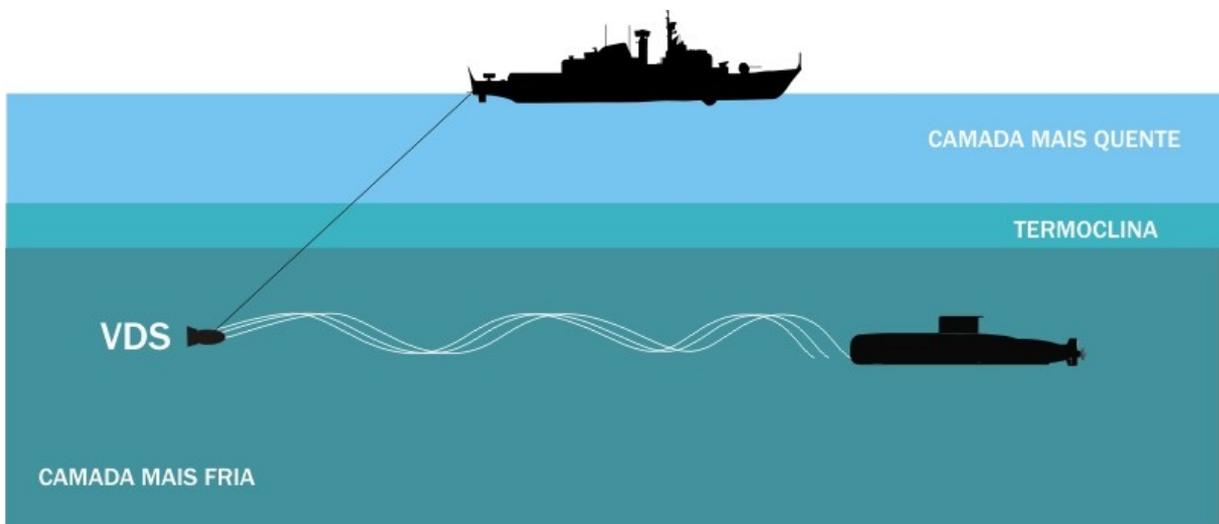
Para contornar esta situação, pode-se utilizar o *Variable Depth Sonar* (VDS ou Sonar de Profundidade Variável), que não é fixado ao casco, mas suspenso através de um cabo para

<sup>3</sup> Camada intermédia das águas de lago ou oceano, que separa as águas superficiais mais quentes das águas mais frias e em que a temperatura diminui rapidamente conforme aumenta a profundidade.

alterar a profundidade e o caminho de propagação vertical das ondas sonoras para “ensonificar” as áreas das zonas de sombra, na termoclina, como mostrado na figura 4 (Shiba et al., 2021).

Nos últimos anos, o VDS passou a ser mais utilizados na área de contramedidas de minas. Nessa função, eles são frequentemente equipados com sonares de varredura lateral de alta frequência, de curto alcance, oferecendo resolução suficientemente alta na maioria dos casos para realizar imagens do fundo e classificação de objetos (Morin, 2019).

Figura 4 – Operação com VDS.



Fonte: Galante (2018c).

### 2.1.3 Sonar Rebocado

Os sistemas de sonar rebocado possuem um conjunto rebocado que consiste, num cabo de reboque, bem como uma seção acústica com hidrofones ou transdutores eletroacústicos e, se aplicável, uma seção final para estabilizar a posição e o alinhamento da matriz rebocada na água. Em navios de superfície, essas matrizes rebocadas são instaladas na popa do navio e lançados ou recolhidos ao mar por meio de um guindaste. As ondas sonoras após serem gravadas com o seção da matriz rebocada, são enviadas aos processadores de sinais a bordo do navio e apresentados ao operador em um console específico (Morin, 2019).

O conjunto de hidrofones funcionam como os sensores do sistema, de forma a captarem as ondas sonoras. Eles são rebocados a certa distância pela popa do navio por meio

de um cabo. Estes elementos são posicionados longe da embarcação, a fim de diminuir a interferência causadas pelos ruídos gerados pelo próprio navio, melhorando significativamente a capacidade de detectar sons fracos, como sinais de submarinos de baixo ruído ou eventos sísmicos subaquáticos. Nos primeiros 100 metros da hélice de um navio, nenhum hidrofone é colocado. A eficácia seria reduzida pelo ruído, vibração e turbulência (Morin, 2019).

Os hidrofones são colocados a distâncias exatas ao longo do cabo com os elementos finais a uma distância considerável para poder triangular a fonte sonora e assim obter o posicionamento do alvo. Outros componentes são colocados em um ângulo ascendente ou descendente para triangular uma profundidade vertical estimada do som. Outras matrizes são usadas para trabalhar na detecção de profundidade. (Morin, 2019).

Após a detecção das fontes sonoras pelos hidrofones, os resultados são obtidos por meio do processamento de sinais, incluindo técnicas de formação de feixe e análise de Fourier. Esse processo permite calcular a distância e a direção das fontes sonoras e, adicionalmente, auxilia na identificação do tipo de embarcação com base nas assinaturas acústicas distintivas de seus equipamentos internos (Morin, 2019).

Existem dois tipos de análise que podem ser implementados para obter as características relevantes do sinal: *Detection of Envelope Modulation on Noise* (DEMON) e *Low Frequency Analysis and Recording* (LOFAR). O DEMON é uma análise de banda estreita que fornece as características da hélice, número de eixos, frequência de rotação do eixo e taxa de pás do alvo. Por outro lado, LOFAR, que é uma análise de banda larga, estima a vibração sonora do maquinário alvo. Ambas as análises são baseadas na estimativa espectral e suportam a detecção e classificação de alvos (Moura; Seixas; Ramos, 2011).

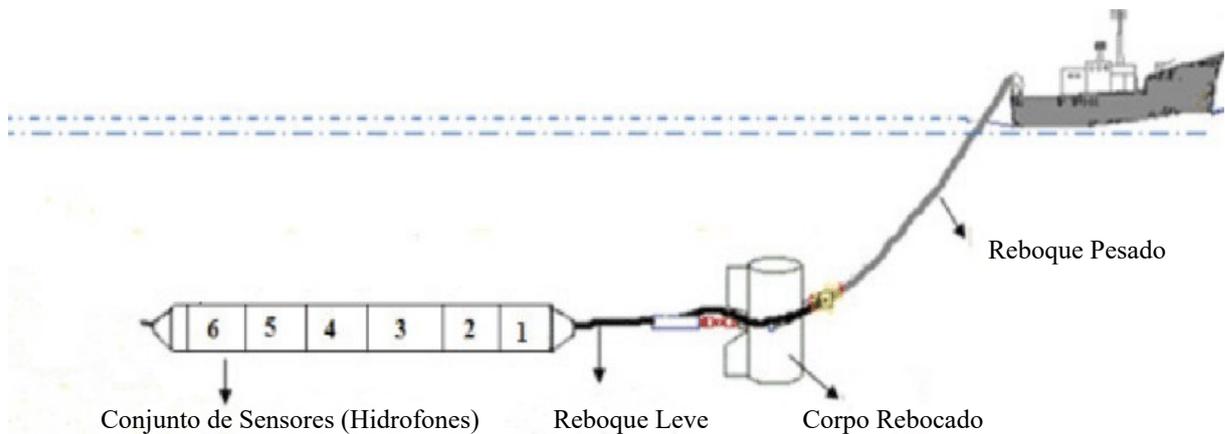
A análise LOFAR possui a capacidade de detecção de alvos a longa distância da ordem de 40 a 60 milhas náuticas, bem como ruídos provenientes de motores de combustão interna, motores elétricos, bombas de esgoto e incêndio, alimentação/desalimentação de equipamento, aumento/redução de demanda nos equipamentos. Além disso, é capaz de indicar se o alvo está guinando ou mudando de velocidade ou se o submarino está abrindo as portas dos tubos lançadores de Torpedos/Mísseis, classificando os parâmetros dessas armas (Costa, 2023).

De acordo com Morin (2019), um sistema típico de sonar rebocado consiste em um conjunto rebocado por um cabo de reboque de 100 a 6000 metros. Neste conjunto rebocado estão localizados os hidrofones, que são os sensores do sistema. Este conjunto é lançado ou

recolhido de bordo do navio por um guindaste. Os sinais captados, são transmitidos para equipamentos de processamento de sinais a bordo, integrado ao sistema de combate.

Um sistema típico de sensor de conjunto rebocado consiste em um cabo de reboque pesado eletro-óptico-mecânico, um corpo rebocado, um cabo de reboque leve e os sensores do conjunto rebocado. A configuração é mostrada na Figura 5 (Govind et al., 2019)

Figura 5 – Sistema típico de sensor de conjunto rebocado.



Fonte: Govind et al. (2019).

Estas são as mais comuns configurações dos sistemas rebocados utilizados em navios. A partir das próximas seções serão analisados o desenvolvimento dos sonares rebocados utilizados em meios navais de superfícies em diversas marinhas do mundo. Também serão analisados os sistemas desenvolvidos pelas principais empresas que atuam no desenvolvimento de equipamento para militares.

## 2.2 Avanços Tecnológicos em Sonares Rebocados

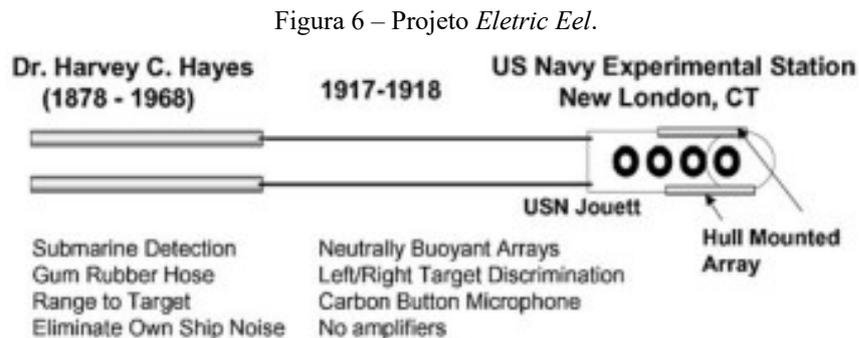
O desenvolvimento da tecnologia de sonares rebocados teve início na Primeira Guerra Mundial, com os Estados Unidos sendo pioneiros e a União Soviética emergindo como um dos principais produtores até o fim da Guerra Fria. Após esse período, essa tecnologia se espalhou pelo mundo.

Nos dias atuais, a tecnologia de sonares rebocados continuam a ser uma parte importante das operações navais em todo o mundo. Várias nações têm investido significativamente em pesquisa e desenvolvimento para aprimorar ainda mais essa tecnologia.

Os sonares rebocados modernos são altamente sofisticados, com capacidades avançadas de detecção e rastreamento de submarinos, tornando-os instrumentos importantes para a segurança marítima e a defesa nacional.

### 2.2.1 Estados Unidos

Na Primeira Guerra Mundial, Harvey Hayes, um físico da Marinha dos Estados Unidos (USN), desenvolveu um precursor do sonar rebocado conhecido como “*Electric Eel*”. Este sistema consistia em quatro conjuntos com doze hidrofones, dos quais dois eram rebocados, um em cada bordo do navio de guerra USS Jouett, enquanto os outros dois conjuntos estavam montados no casco do navio. A figura 6 demonstra este dispositivo, que tinha um alcance aproximado de 1 Milha Náutica (MN) (Lemon, 2004).



Fonte: Lemon (2004).

Após a guerra, a pesquisa de sonares rebocados permaneceu inativa, exceto por um esforço relacionado ao “*Project General*”. Este projeto, concebido por C. Holm, um ex-oficial da Marinha Dinamarquesa, envolvia a utilização de sensores rebocados em navios mercantes para detectar e destruir torpedos (Lemon, 2004).

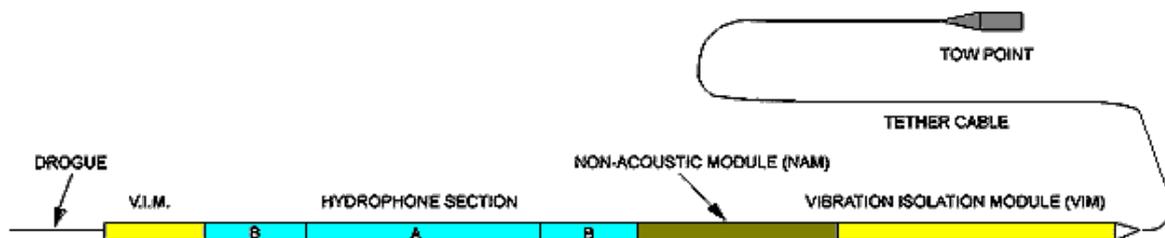
No final da década de 1950, M. Lasky do Escritório de Pesquisa Naval da USN reviveu o conceito inspirado no trabalho de Hayes. Ele trabalhou juntamente a J. Fitzgerald da Chesapeake Instrument Corporation para contribuir no desenvolvimento de sonares rebocados. Diferentes modelos foram criadas, incluindo matrizes de cabo de diâmetro pequeno e outras maiores com hidrofones em tubos de borracha flexíveis (Lemon, 2004).

A partir da década de 70, a USN aumentou a mentalidade de desenvolvimento de seus sensores e armas ASW, criando um programa específico para este fim. O primeiro

conjunto rebocado para navio de superfície foi o sistema de vigilância de conjunto rebocado SQR-14 para escoltas ASW. Este conjunto logo evoluiu para a série SQR-15/16/17. A série AN/SQR-18 foi desenvolvido para ser uma versão mais simples dos sistemas rebocados de longo alcance para navios escolta. A segunda versão deste equipamento foi a mais aceita e possuía a capacidade própria de reboque e manuseio possuindo 32 hidrofones isolados de vibração, divididos em oito seções de hidrofones (Lemon, 2004)

Em meados da década de 1970, a USN desenvolveu o sonar rebocado AN/SQR-19 (figura 7), conhecido como “*Tactical Towed Array*” (TACTAS). Em 1982, ocorreram os primeiros testes do TACTAS, a bordo do Destróier USS DD-980 “Moosbmger”. Após testes e identificação, a produção foi oficialmente aprovada em 1983. Em julho de 1985, o primeiro protótipo de produção do AN/SQR-19 foi oficialmente entregue para uso (Pike, 2011).

Figura 7 – TACTAS AN/SQR-19.



Fonte: Federation of American Scientists (1998).

Devido à tecnologia avançada e ao excelente desempenho deste sonar, a USN equipou o sistema nos Cruzadores Classe “Ticonderoga”, Destróieres Classes “Spruance” e “Burke” e Fragatas Classe “Perry”. Também foram empregados em navios escolta do Canadá, Espanha e Japão (Lemon, 2004)

O TACTAS utiliza um cabo de 1.800 metros, podendo operar até a profundidade máxima de 335 metros e estado do mar 4. Possui alcance nominal de até 68,6 MN, operando hidrofones de baixa frequência de forma passiva, podendo detectar, classificar e acompanhar vários contatos de superfície e submarino simultaneamente em todas as direções (Federation of American Scientists, 1998).

Com a implementação de um novo sistema ASW, o AN/SQQ-89V, nas Fragatas Classe “Oliver Hazard Perry”, Destróieres Classe “Arleigh Burke” e Cruzadores Classe “Ticonderoga”, o sonar rebocado “*Multi-Function Towed Array*” (MFTA) substituiu o TACTAS, proporcionando melhorias na cobertura, capacidade de detecção, com alcance máximo de 70 MN. Eles são empregados nos Destróieres Classe “Zumwalt”, além de equiparem navios de outras marinhas, como as Destróieres das Classes “Haizi Maya” e “Atago” da Força de Autodefesa Marítima do Japão (MFTA, 2019; Nugent, 2017).

### 2.2.2 França e Reino Unido

Com o crescimento da força submarina da União Soviética nas décadas de 1960 e 70, a ASW tornou-se um foco de esforço nos planos de campanha da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN). O resultado foi um significativo investimento em uma variedade de sistemas de sonar ASW durante a Guerra Fria (Nugent. 2017).

Os avanços tecnológicos em sonares rebocados, com a melhoria nos materiais reduziram o peso dos conjuntos de sonares atuais, incluindo as "cúpulas" dos transdutores, os hidrofones e os receptores de som, bem como a transmissão de dados e a cablagem de suporte de carga. Projetos mais eficientes também reduziram as demandas de energia impostas à plataforma hospedeira que opera (e implanta no caso de profundidade variável e conjuntos rebocados) o sistema de sonar. Estas melhorias expandiram o número de plataformas que podem operar sonares ASW para navios menores (corvetas e navios patrulha) e até mesmo veículos de superfície não tripulados (Nugent. 2017).

Uma pesquisa sobre as atuais ofertas de sonares navais apresenta algumas empresas líderes da indústria, como Lockheed Martin, Atlas Elektronik, Thales, Ultra Electronics, dentre outras (Nugent. 2017).

Nesse contexto, a empresa Thales produz uma séries de sistemas de sonares rebocados e VDS desde o final da década de 1990. A “*Combined Active and Passive Towed Array Sonar*” (CAPTAS ou Conjunto de Sonar Rebocado Combinado Ativo e Passivo) foi desenvolvida com bases técnicas em modelos desenvolvidos na França e no Reino Unido. Esta séries de sistemas de sonares possui variantes que se adaptam a cada tipo de navio (Thales Group, 2016).

Para entender a diferenciação quanto aos modelos fornecidos atualmente. O sonar rebocado normalmente funciona no modo passivo enquanto o VDS pode ser ativo ou passivo. O sistema Sonar 2087 (utilizado nas Marinha do Reino Unido) combina um sonar ativo de profundidade variável de baixa frequência (comum ao sonar ativo / passivo de baixa frequência proprietário Thales CAPTAS-4 ) com um conjunto rebocado passivo de frequência muito baixa e um conjunto de software desenvolvido no Reino Unido.

O modelo CAPTAS-4 possui uma unidade da matriz passiva com frequência operacional ente 100 e 2.000 Hz e composta por um conjunto de hidrofone triplo. O CAPTAS-4 pode ser colocado ou retirado de operação em 10 minutos, com uma velocidade máxima de reboque de 30 nós, uma profundidade máxima de operação de 350 metros, frequência ativa entre 900 e 2100 Hz e ampla largura de banda contra efeito de reverberação. O CAPTAS-4 oferece vigilância ativa e passiva simultânea, com cobertura panorâmica e alcance de detecção típico de até 81 MN (Peruzzi, 2022; Thales Group, 2016).

O CAPTAS-4 equipa 08 Fragatas *Type 23* da Marinha Real Britânica e futuramente as *Type 26*, 06 e 04 Fragatas “*FREMM*” da Marinha Francesa e Italiana, respectivamente, Fragatas Classe F110 da Marinha Espanholas, Fragatas Classe “Hunter” da Marinha Australiana, 01 Fragata *FREMM* da Marinha da Indonésia e Fragatas *Type 23* da Marinha Chilena. Este sonar também será empregado nas Fragatas Classe Constellation FFG-64 da USN (Thales Group, 2016).

A figura 8 mostra o sonar CAPTAS-4 na popa de uma Fragata *Type 23* Classe “Duke”. O objeto amarelo é o conjunto de sonar ativo de baixa frequência com quatro transdutores dispostos nele. O guincho responsável pela operação encontra-se desdobrado.

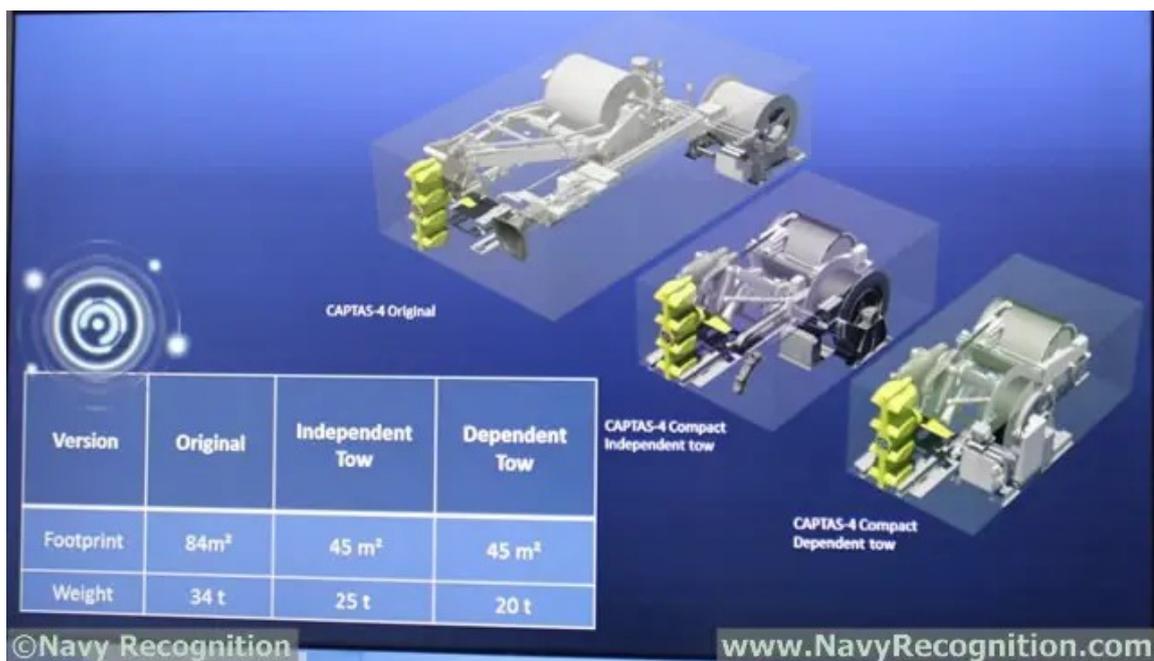
Figura 8 – CAPTAS 4 na Fragata Classe “Duke”.



Fonte: Thales Group (2016).

A empresa Thales também desenvolve a versão CAPTAS Compact, com redução de 20% no peso e uma redução de 50% na área ocupada em comparação com o CAPTAS-4 (pesando 34 toneladas e ocupando uma área ocupada de 84 m<sup>2</sup>). ), mantendo cerca de 90 por cento das características de desempenho deste último. A versão compacta CAPTAS-4 vem em duas configurações. O modelo de reboque independente, que mantém uma carroceria rebocada separada e um conjunto de receptores (25 toneladas de peso e cerca de 45 m<sup>2</sup> de área ocupada), e o modelo de reboque dependente com o conjunto de receptores anexado à carroceria rebocada (20 toneladas e cerca de 43 m<sup>2</sup> de área ocupada), sendo esta última a mesma configuração usada pelos sistemas CAPTAS 2 e CAPTAS 1 menores. O CAPTAS compact adota o conceito modular como é ilustrado na figura 9 (Peruzzi, 2022).

Figura 9 - CAPTAS Original/Compacto Independente/ e Dependente.



Fonte - Thales (2016).

O modelo CAPTAS-2, possui frequência operacional de sonar ativo entre 0,95 e 2,4 KHz sua frequência operacional de sonar passivo entre 100 e 2000 hz. O sistema retrátil que manuseia o conjunto rebocado ativo/passivo pode lançar ou recolher o dispositivo em 10 minutos, com uma velocidade máxima de reboque de 30 nós e uma profundidade máxima de implantação de 350m (Thales Group, 2016).

O CAPTAS-2 foi adquirido para as Fragatas Classe “Fridjof Nansen” da Marinha Real Norueguesa, Fragatas Classe “Al Riyadh” da Marinha Real Saudita, Corvetas Classe “Abu Dhabi” da Marinha dos Emirados Árabes Unidos e os Destróieres Classe “King Sejong” da Marinha da Coreia do Sul, e também será fornecido para as Marinhas da Malásia, do Egito (Thales Group, 2016).

### 2.2.3 Alemanha

Derivado do protótipo de sistemas de sonares rebocados de baixa frequência extensivamente testado pela Marinha da Alemanha, o “*Active Towed Array Sonar*” (ACTAS ou Conjunto de Sonar Rebocado Ativo) é um sistema de sonar desenvolvido pela Atlas Elektronik. Ele possui baixa frequência e opera simultaneamente nos modos ativo e passivo, além de fornecer detecção de alvos de alta resolução (Atlas Elektronik, 2017).

Por causa da boa propagação sonora de ecos e ruído alvo na banda de baixa frequência, o sistema é capaz de operar abaixo camadas acústicas. O desempenho superior é garantido pelo alto nível da fonte, o alta faixa dinâmica e grande largura de banda. Várias análises ferramentas são incorporadas para apoiar a classificação do alvo (Atlas Elektronik, 2017).

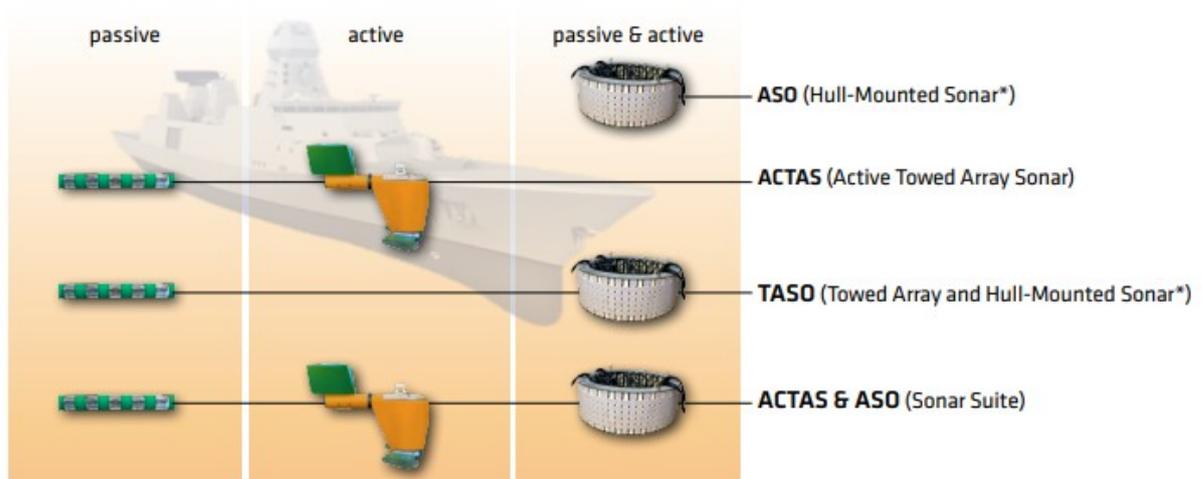
O ACTAS é centrado em um corpo rebocado abrigando o conjunto de transmissores verticais ativos com frequência entre 1.400 e 2.400 Htz. O sistema fornece cobertura panorâmica, com depressores duplos para estabilização e conjunto de recepção passiva associado ao conjunto de hidrofones triplo para resolver instantaneamente a ambiguidade lateral. Possui equipamento de lançamento e içamento, sistema de energia associado e auxiliares. O sistema completo pesa até 20 toneladas, dependendo da configuração. Seu alcance pode chegar a 200 MN (Atlas Elektronik, 2017).

O ACTAS ainda pode operar passivo com banda larga e banda estreita, sendo as frequências entre 50 e 10.000 Hz, com capacidade de realizar análise LOFAR e DEMON (Atlas Elektronik, 2017).

Projetado para detectar, rastrear e classificar submarinos, torpedos e embarcações de superfície e processamento de sonobóias, o ACTAS é capaz de realizar operações biestáticas e multiestáticas com sonar de imersão, sonobóias ou submarinos. O ACTAS já está operacional nas Marinhas Indiana, Real da Tailândia e Alemã (Peruzzi, 2022).

As figuras 10 e 11 mostram os tipos de sonares produzidos pela Atlas Elektronik, com sonares de casco (ASO), VDS e rebocados, bem como seu tipo de operação e nível de frequência, além de ilustrar os alcances comparativos em escala fictícia.

Figura 10 – Sonares Atlas Elektronik.



Fonte: Atlas Elektronik (2013).

Figura 11 – Alcance e frequência Atlas Elektronik.



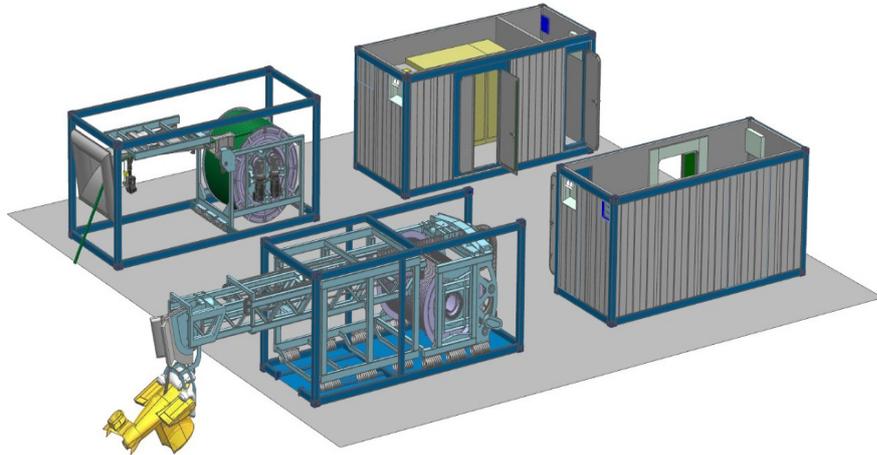
Fonte: Atlas Elektronik (2013).

Em 2022, a Atlas Elektronik foi contratada para fornecer para a Marinha Alemã um tipo de sistema ASW projetado em formato modular, o “*Atlas Modular ASW Combat System*” (AMACS ou Sistema de Combate Modular para a Guerra Antissubmarino), no qual o sonar montado no casco, o sonar rebocado e o VDS podem ser integrados separadamente ou em conjunto. (Atlas Elektronik, 2022).

Estes módulos podem ser usados em diferentes tipos de navios de superfície. Eles usam a mais recente tecnologia de sonar ativo e passivo e são transportados em contêiner, fazendo com que não necessitem de instalação fixa em um único navio. O contêiner é preferencialmente colocado e amarrado em um convoo ou área útil na popa de um navio. A

figura 12 mostra a visão tridimensional do sistema disposto nos contêineres (Atlas Elektronik, 2022).

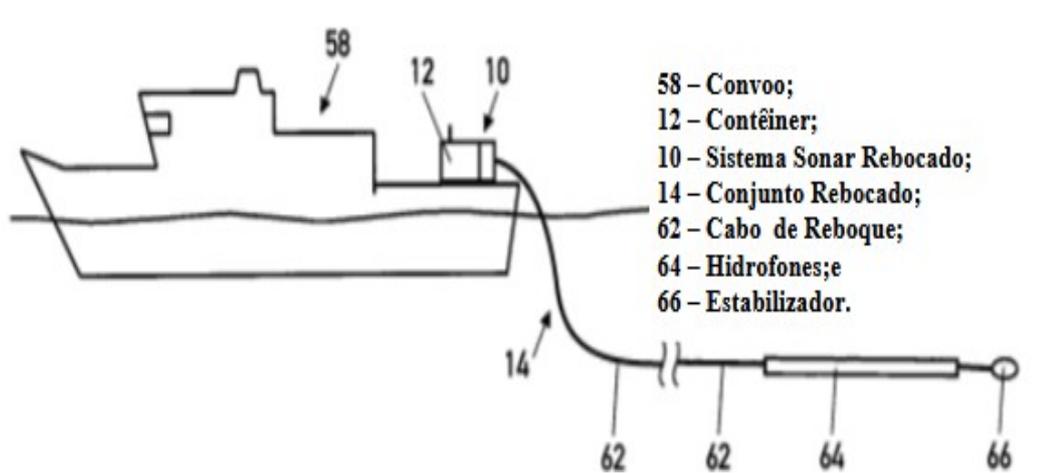
Figura 12 - Visualização tridimensional do AMACS.



Fonte: Atlas Elektronik (2022).

A figura 13 mostra uma vista lateral de um sistema de sonar rebocado tipo AMACS, que está instalado no convoo de um navio.

Figura 13 - Visualização lateral do AMACS.



Fonte: Atlas Elektronik (2022).

### 2.2.4 China

O desenvolvimento do sonar rebocado na China teve início na década de 1990, um pouco tardio se comparado a outros países. Em 2008 o projeto de sonar rebocado H/SJG-206 foi iniciado e só a partir de 2016, esse sonar começou a ser instalado nas Fragatas *Type 054A* e nos Destróieres *Type 052C*. Sua liberação ocorre pela abertura no lado direito da popa, enquanto a abertura no lado esquerdo corresponde à isca do torpedo rebocado. Além dos navios de guerra recém-construídos, vários outros, como os navios "Harbin", "Qingdao", "Huainan" e "Tongling", também passaram por modernizações com a integração do H/SJG-206 (Yachao, 2015)

O H/SJG-206 utiliza módulos de hidrofones dispostos em um triângulo equilátero na seção transversal, resolvendo os problemas presentes nos sonares rebocados tradicionais. Isso coloca as capacidades de detecção antissubmarino da Marinha Chinesa entre as melhores do mundo. No entanto, é importante observar que os submarinos modernos continuam a melhorar em termos de silêncio, representando um desafio constante. O nível de ruído dos submarinos nucleares da USN, por exemplo, reduziu significativamente nas últimas décadas (Yachao, 2015).

Em 2015, o navio *Type 054A* "Daqing" entrou em serviço com uma atualização significativa em seu equipamento de detecção antissubmarino, substituindo o H/SJG-206 por um sonar rebocado de baixa frequência combinado ativo e passivo de maior potência e tamanho, com um alcance podendo chegar a 70 MN. Isso elevou a capacidade de detecção a um novo patamar. Até o momento, seis navios *Type 054* receberam essa atualização, e espera-se que os primeiros 16 navios *Type 054* também passem por esse processo de modernização e modificação, aprimorando ainda mais as capacidades da Marinha Chinesa na detecção antissubmarino (Yachao, 2015).

### 2.2.5 Turquia

A indústria turca desenvolve um sonar rebocado ativo de baixa frequência e longo alcance denominado HIZIR/LFAS. Este sonar inclui um conjunto de transdutores com capacidade de transmissão ativa de baixa frequência, que é manobrado com a ajuda de um sistema de guincho. Ele opera em combinação com a matriz passiva de detecção de torpedo

HIZIR, que é separada e utilizada em modo biestático. A previsão é que esses sonares sejam empregados nas Fragatas Classe “Istanbul” da Marinha Turca (Peruzzi. 2022).

### 2.2.6 Canadá

A Marinha do Canadá utiliza os sonares rebocados desde o final da década de 1980, quando desenvolveram o “Canadian Towed Array Sonar System” (CANTASS ou Sistema de Conjunto de Sonar Rebocado Canadense), que é um sistema passivo que conta com um conjunto de hidrofones igual ao do TACTAS e um processador de sinal desenvolvido pela Litton Systems. Este sistema foi instalado nos Destróieres Classe “Annapolis” e nas Fragatas Classe “Halifax”, ambos meios navais pertencentes a Marinha Canadense (Gimblet, 2022).

Este sonar pode ser usado como VDS, atuando abaixo da termoclina, onde sinais sonoros podem não ser ouvidos pelos sonares montados no casco. Ele também pode ser utilizado como um sonar passivo, com o conjunto de hidrofones captando banda larga e baixas frequências, podendo atingir um alcance de 70 MN. O poderoso processador do computador pode identificar frequências de determinados submarinos e apontar a direção de onde elas se originam. Dois ou mais equipamentos CANTASS espaçados podem fundir dados para identificar a origem do ruído submarino (Gimblet, 2022).

### 2.2.7 Finlândia

A empresa Patria desenvolveu para as Corvetas da Classe “Pohjanmaa” da Marinha Finlandesa, em 2020, o sistema de sonar SONAC “Dual Towed Sonar” (DTS ou Conjunto Sonar Duplo) que conta com um VDS e um conjunto rebocado. O sistema é ideal para operações de detecção submarina em diversas profundidades. Ele pode ser instalado em fragatas, navios do tamanho de corvetas, navios-patrolha e navios não tripulados (Peruzzi. 2022).

Estes sonares podem ser operados nos modos passivos, monoestáticos e biestáticos. A profundidade dos sonares, bem como os parâmetros de transmissão, podem ser ajustados de forma ideal com base na probabilidade de detecção. Operam detectando banda larga e baixas frequências, com alcance de 10,8 MN (Patria, 2020).

### 2.2.8 Japão

Além do MFTA, já descrito anteriormente, a Força de Autodefesa Marítima do Japão utiliza outro sistema de detecção antissubmarino, o “J/OQQ-25”, que é empregado nas Fragatas Classe “Mogami” (Hao, 2022).

O sonar rebocado composto ativo/passivo J/OQQ-25 é composto por dois sistemas de sonar diferentes. Um VDS ativo e um sonar rebocado responsável por receber ecos. O alcance do sonar ativo é de 25,8 MN e do conjunto passivo é 70 MN (Hao, 2022).

## 2.3 Vantagens Táticas e Operacionais dos Sonares Rebocados

O emprego de sonar rebocado apresenta algumas peculiaridades que lhes propiciam vantagens táticas e operacionais quando comparados ao sistema fixo ao casco.

A facilidade de remoção e instalação dos sistemas rebocados confere a eles uma alta versatilidade. Isto facilitaria a manutenção, que não dependeriam de uma imobilização do navio. Além disso, essa característica permite que sejam emprestados para outros navios em operação, desde que os mesmos estejam integrados ao sistema, ampliando sua utilidade e eficiência em diversas situações.

A capacidade de operação em profundidades variáveis, característica distintiva dos sonares rebocados, possibilitando atuar em regiões cujas condições possam favorecer a propagação do som, aumentando-se a probabilidade de detecção;

A matriz pode ser distanciada da plataforma de reboque aumentando o comprimento do cabo de reboque, reduzindo a interferência devido ao ruído irradiado pelo navio. Isso resulta em uma melhora notável na relação sinal/ruído, tornando a detecção mais sensível e precisa.

Os sonares rebocados possuem a capacidade de realizar a análise LOFAR, o que contribui para uma classificação mais precisa dos alvos. Essa análise detalhada dos sinais acústicos auxilia na identificação e discriminação de diferentes tipos de alvos submarinos.

## **2.4 Limitações dos sonares rebocados**

Os sonares rebocados possuem algumas dificuldades de aplicação nos meios navais e restrições ou limitações operacionais.

Os guinchos para lançamento dos conjuntos rebocados requerem um espaço relativamente grande que geralmente precisa ser fornecido no popa do navio. No entanto, uma vez que sonares rebocados deste tipo não são usados permanentemente, mas geralmente apenas em situações de ameaça especial ou para fins de treinamento, o espaço na popa, no qual o guincho está instalado, frequentemente fica bloqueado desnecessariamente.

As Fragatas Classe “Niterói”, por exemplo, possuem a popa em convés aberto e com a presença do Lançador Míssil Aspide do Sistema Albatros, o que dificultaria a instalação de um tambor, por questão de espaço físico e também pela operação em um cenário de múltiplas ameaças, onde dos dois sistemas seriam empregados. Anteriormente, quando estes navios possuíam VDS, existiam um compartimento abaixo do convés principal na popa disponível para o equipamento.

A manobrabilidade do navio estaria limitada quando estivesse rebocando o sonar, restringindo a velocidade e a taxa de giro, devendo o navio manter a mesma proa praticamente, fato este que impediria manobras evasivas, pois os dados são perdidos durante manobra.

## **2.5 Desenvolvimento Nacional**

A proposta para o desenvolvimento tecnológico de um sonar rebocado possui alguns projetos em andamento. A MB, mais especificamente o Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM), possui militares com alto conhecimento sobre o processamento de sinais acústicos. Em sua maioria, esses militares foram tecnicamente qualificados em cursos de pós-graduação realizados em parceria com o Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE/UFRJ), e essa parceria vem trazendo frutos tecnológicos para a MB, entre os quais se destacam diversos projetos relativos a sonares ativos e passivos como o Sistema de Acompanhamento e Classificação de Contatos (SDAC) o sistema de Vigilância e Informações Passivas em Portos (VIPP) e o Sonar Ativo Nacional (SONAT). O conhecimento

obtido no desenvolvimento desses projetos poderia ser utilizado no desenvolvimento de um projeto de sonar rebocado nacional (Galante, 2018b).

O SDAC é um sistema de apoio ao operador sonar utilizado para a detecção, acompanhamento e classificação de contatos em um submarino, executando todas as funções de um sistema de sonar passivo. Ele opera em submarinos Classe “Tupi”. Ele oferece funções como gráficos de energia para detecção de contatos, análise em tempo real, análises LOFAR e DEMON e classificação de contatos. Além disso, permite a gravação de dados para uso posterior, apoiando várias operações da MB. O SDAC representa um passo importante em direção ao desenvolvimento de um sistema de sonar passivo nacional (Wiltgen, 2012)

O SONAT é um sonar ativo utilizado atualmente na Fragata “Defensora” e que será implementados nas outras Fragatas Classe “Niterói” e na Corveta Barroso. Ele foi desenvolvido a partir do antigo sonar existente nesses meios navais, sendo necessário o desenvolvimento do software e sua integração com a cadeia de processamento, aquisição e geração dos sinais de áudio e interface com o operador, o que proporcionou para a Marinha a extensão da vida útil do sonar (Padilha, 2022).

Estes projetos demonstram a capacidade da MB juntamente com outros órgãos tem para desenvolver equipamentos úteis para a ASW. Estes conhecimentos podem ser empregados para o desenvolvimento de um sonar rebocado nacional.

A escolha do primeiro projeto de linha é de suma importância para o sucesso das etapas subsequentes. Essa escolha deve considerar os desenvolvimentos atuais, as capacitações disponíveis e as necessidades operacionais dos navios.

Durante este período, é importante considerar a aquisição de um sonar rebocado para estudo e replicação de seus componentes básicos. Um exemplo que pode ser seguido é o da Índia, que inicialmente adquiriu seis sonares rebocados produzidos na Alemanha e posteriormente mais três, já produzidos na Índia, pela Atlas Elektronik, como já comentado anteriormente.

### 2.5.1 Fragatas Classe “Tamandaré” e Atlas Elektronik

O programa de construção das FCT conta com a empresa Atlas Elektronik como uma das subsidiárias do contrato e responsável pelo sistema sonar ASO 713, que será instalado no casco do navio (Moralez, 2022).

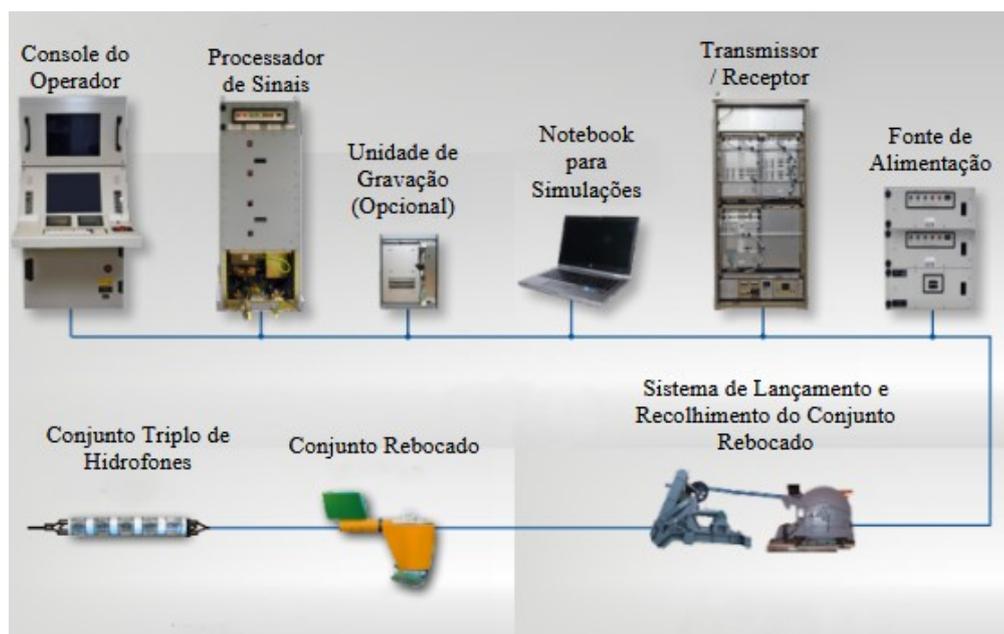
O sonar ASO-713 projetado para operações ativas e passivas na faixa de frequência média com foco principal na vigilância da situação subaquática, como detecção, classificação e rastreamento de alvos. Com a capacidade de diferentes modos operacionais e configurações de parâmetros, os sistemas ASO são otimizados para a detecção de alvos desde águas litorâneas (rasas) até águas azuis (profundas). Métodos avançados de processamento garantem seu uso eficiente para tarefas clássicas de ASW, bem como a autoproteção do combatente de superfície (Atlas Elektronik, 2013).

Como já exposto anteriormente, a Atlas Elektronik também produz o sonar ACTAS, que poderia ser implantado no projeto das FCT.

Isto faria com que a MB seguisse a tendência atual das Marinhas em todo o mundo, onde os novos navios escolta que estão sendo desenvolvidos já contam com os sistemas de sonares rebocados mais modernos no mundo.

É crucial o projeto de construção das FCT com a arquitetura necessária para a instalação do sonar rebocado, que deve contar com um espaço disponível na popa para os tambores dos cabos de reboque, o conjunto de hidrofones, os guindastes necessários para movimentação do dispositivo e a estrutura interna que contasse com os equipamentos integrados ao sistema ACTAS. A figura 14 representa a arquitetura funcional do sistema ACTAS.

Figura 14 – Arquitetura Funcional do Sistema ACTAS.

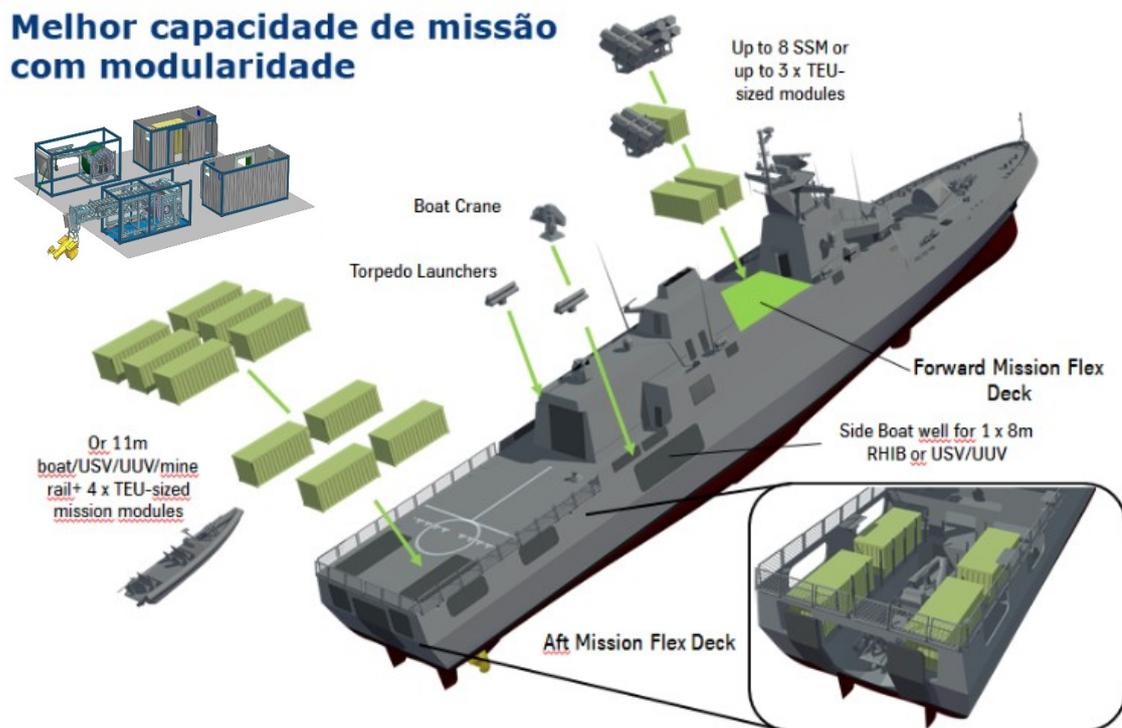


Fonte: Atlas Eletronik (2017).

De acordo com Galante (2023): “A Thyssenkrupp Marine Systems está fornecendo a tecnologia naval de sua comprovada plataforma de construção de navios de defesa da Classe MEKO, já utilizada em mais de 80 embarcações em operação em Marinhas de 16 países”. As FCT estão sendo contruídas a partir desse conceito, especificamente o MEKO A-100.

Este projeto MEKO A-100, conta com o conceito de modularidade da missão. A área útil abaixo do convoo possui espaço para o armazenamento de 06 contêineres ou módulos que se adaptariam ao tipo de missão que o navio estivesse desenvolvendo. A figura 15 ilustra o conceito de navio modular da MEKO A-100 (Padilha, 2018)

Figura 15 – Conceito de Missão Modular em Navio MEKO A-100.



Fonte: Padilha (2018).

## **3 METODOLOGIA**

Neste capítulo, descreveremos a metodologia utilizada para a elaboração do trabalho sobre o emprego do sonar rebocado nas FCT. A metodologia inclui a coleta de dados, a classificação da pesquisa quanto aos fins e meios, bem como as limitações do método e o tratamento dos dados coletados.

### **3.1 Classificação da Pesquisa**

#### **3.1.1 Quanto aos fins**

Quanto aos fins, a pesquisa pode ser classificada como descritiva e explicativa. A classificação descritiva se dá pelo fato de que a pesquisa expõe conceitos relacionados ao sonar rebocado, histórico, características técnicas, vantagens e limitações. Ela também é classificada como explicativa, uma vez que busca esclarecer quais tipos de sonares devem estar presentes nas FCT.

#### **3.1.2 Quanto aos meios**

A pesquisa bibliográfica inclui a consulta de livros, artigos científicos e documentos técnicos relacionados ao sonar rebocado, sua evolução histórica e seu uso em operações navais. O objetivo foi reunir um conjunto sólido de informações sobre o tema abordado.

### **3.2 Limitações do Método**

A presente pesquisa tem algumas limitações, principalmente relacionadas à natureza teórica do estudo. Não foi realizado um estudo de campo prático com os sonares rebocados nas FCT para verificar a aplicação das técnicas discutidas.

Outra limitação em relação ao tema foi o fato de que por ser um equipamento sensível, muitos modelos usados por algumas nações não tem informações técnicas acessíveis, o que de certa forma deixa uma análise panorâmica incompleta em alguns aspectos.

### **3.3 Coleta e Tratamento de Dados**

Para a elaboração deste trabalho, foram utilizadas diversas fontes de pesquisa, incluindo pesquisa bibliográfica, análise técnica, revisão de documentos e entrevistas com profissionais especializados em sonar rebocado.

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica abrangente que incluiu a consulta de livros, artigos científicos e documentos técnicos relacionados ao sonar rebocado, sua evolução histórica e seu emprego. O objetivo foi reunir um conjunto de informações sobre o tema abordado.

Foi feita uma análise técnica detalhada das especificações dos sonares rebocados, incluindo parâmetros como alcance, frequências de operação, resolução e capacidades de processamento de dados.

## 4 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na introdução deste trabalho, foi analisada a importância da detecção eficiente de alvos submarinos para a MB em face das vastas AJB e da necessidade de tecnologias avançadas para enfrentar ameaças submarinas sofisticadas.

De acordo com Nugent (2017), o sonar é amplamente utilizado em uma variedade de contextos, destacando sua relevância contínua na detecção submarina. Portanto, é fundamental investigar a implementação estratégica de sonares rebocados nas FCT.

Os objetivos específicos definidos na introdução ajudam a direcionar uma análise do resultado.

### 4.1 Desenvolvimento dos Sonares Rebocados

O resultado da investigação histórica sobre a evolução dos sonares rebocados em âmbito global levaram ao conhecimento de quais outras marinhas ao redor do mundo têm empregado sonares rebocados. O quadro 1 mostra alguns sonares rebocados utilizados por diferentes marinhas.

Quadro 1 – Estado da Arte em Sonares Rebocados nos Navios Escolta no Mundo (continua)

País	Sonar	Navios	Características
Alemanha	ACTAS	Fragata F123 Brandenburg Classe “Bayern”	Tipo: Ativo / Passivo Alcance: 200 MN
Índia		Corvetas Classe “Kamorta” Destróieres Classe “Delhi” Fragatas Classe “Shivalik” Fragatas Classe “Talwar”	
Tailândia		Fragatas Classe “Bhumibol Adulyadej”	
China	H/SJG-206	Fragatas <i>Type</i> 054A Destróieres <i>Type</i> 052C	Tipo: Passivo Alcance: 80 MN
Canadá	CANTASS	Destróieres Classe “Annapolis” Fragatas Classe “Halifax”	Tipo: Passivo Alcance: 80 MN

Quadro 1 – Estado da Arte em Sonares Rebocados nos Navios Escolta no Mundo (continuação)

<b>País</b>	<b>Sonar</b>	<b>Navios</b>	<b>Características</b>
<b>Finlândia</b>	SONAC DTS	Corvetas Classe “Pohjanmaa”	Tipo: Ativo / Passivo Alcance: 10,8 MN
<b>Japão</b>	J/OQQ-25	Fragatas Classe “Mogami”	Tipo: Passivo Alcance: 70 MN
	MFTA	Destróier Classe “ Haizi Maya” Destróier Classe “Atago”	Tipo: Ativo / Passivo Alcance: 70 MN
<b>Estados Unidos</b>		Destróier Classe DG-51 “Arleigh Burke” Cruzador Classe CG-47 “Ticonderoga” Destróier Classe DDG 1000 “Zumwalt”	
		<b>Austrália</b> <b>Chile</b> <b>Espanha</b> <b>França</b> <b>Indonésia</b> <b>Reino Unido</b> <b>Itália</b> <b>Marrocos</b>	
Fragatas Classe “Hunter”			
Fragatas <i>Type 23</i>			
Fragatas F110 (FREMM)			
Fragatas Classe “Aquitaine” (FREMM)			
Fragatas Classe (FREMM)			
Fragatas <i>Type 23</i> e <i>Type 26</i>			
Fragatas Classe “Bergamini” (FREMM)			
Fragatas Classe (FREMM)			
<b>Egito</b>	Fragatas Classe (FREMM)		Tipo: Ativo / Passivo Alcance: 80 MN
<b>Arábia Saudita</b> <b>Emirados Árabes Unidos</b> <b>Noruega</b>	CAPTAS-4	Corveta Classe “Growind”	Tipo: Ativo / Passivo Alcance: 70 MN
		Fragatas Classe “Al Riyadh”	
		Corvetas Classe “Abu Dhabi”	
		Classe “Fridtjof Nansen”	
<b>Coreia do Sul</b>	SQR-250K	Fragatas Classe “Daegu”	Tipo: Passivo Alcance: 70 MN

Quadro 1 – Estado da Arte em Sonares Rebocados nos Navios Escolta no Mundo (conclusão)

<b>País</b>	<b>Sonar</b>	<b>Navios</b>	<b>Características</b>
<b>Rússia</b>	Vinyetka-ME	Fragatas Classe Almirante “Gorshkov” Corvetas Classe “Stereushchiy”	Tipo: Ativo / Passivo Alcance: 40 MN
<b>Turquia</b>	HIZIR	Fragatas Classe “Istanbul”	Sem Dados
<b>Cingapura</b>	EDO M 980 ALOFTS	Fragatas Classe “Formidable”	Tipo: Ativo / Passivo Alcance: 46 MN

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados de Thales Group (2016); Gimblet (2022); Peruzzi. (2022); Hao (2022); Patria (2020); Yachao (2015); Atlas Elektronik (2017) ; MFTA (2019).

## 4.2 Características Técnicas

Realizar a análise das especificações técnicas dos sonares rebocados foi importante para determinar a adequação dos sonares rebocados às necessidades da MB. Isso inclui considerar aspectos como alcance, frequências de operação, resolução e capacidades de processamento de dados. Além de possibilitar avaliar vantagens e limitações dos sistemas de sonares rebocados que foram exploradas no trabalho.

O quadro 2 é uma compilação das diferenças entre os sonares rebocados e sonares de casco.

Quadro 2 – Comparativo Sonar rebocado e Sonar de Casco (continua)

<b>Característica</b>	<b>Sonar Rebocado</b>	<b>Sonar de Casco</b>
<b>Posicionamento</b>	Rebocado atrás de um navio e a uma distância de até 6000 metros. Exige espaço na popa, guindaste e cabo de reboque.	Montado no casco do navio.
<b>Profundidade de Operação</b>	Opera em diversas profundidades.	Limitado à profundidade do navio.
<b>Qualidade da Imagem</b>	Geralmente oferece imagens com melhor qualidade e resolução, pois está afastado de fontes de ruído do navio.	Pode ser afetado pelo ruído do próprio navio e fornecer imagens de qualidade variável.

Quadro 2 – Comparativo Sonar rebocado e Sonar de Casco (conclusão)

<b>Característica</b>	<b>Sonar Rebocado</b>	<b>Sonar de Casco</b>
<b>Manutenção</b>	Os reparos no sonar propriamente dito, geralmente podem ser feitos sem a necessidade de docagem do navio.	Pode exigir docagem para reparos no sonar de casco, o que é mais complexo e dispendioso.
<b>Mobilidade</b>	A operação de reboque reduz a manobrabilidade e velocidade do navio.	O navio com o sonar de casco é autônomo, com liberdade de manobra e velocidade.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados de Nugent (2017), Govind et al. (2019), Moura; Seixas; Ramos (2011) e (Morin, 2019).

### 4.3 Desenvolvimento Nacional

A proposição de perspectivas para o desenvolvimento de um projeto nacional de sonar rebocado, com base nas informações coletadas, pode fomentar maiores pesquisas por parte dos engenheiros da MB que já atuam na área de processamento de sinais e detecção submarina. Percebeu-se através das pesquisas, que os sucessos dos projetos já concluídos demonstram a capacidade técnica dos profissionais da área.

Além disso, a pesquisa encontrou dois sonares rebocados que estão em evidencia com relação ao número de marinhas que os empregam, o CAPTAS e o ACTAS. O segundo, foi posto mais em evidência por ser produzido pela mesma fornecedora do sonar de casco ASO que será implementado nas FCT, além de ter uma alcance bem superior aos demais, como evidenciado na Tabela 1

Tabela 1 – Comparativo ACTAS e CAPTAS.

	Frequência (Sonar Passivo)	Frequência (Sonar Ativo)	Alcance (Sonar Passivo)
ACTAS	50 a 10.000 Hz	1400 a 2400 Hz	200 MN
CAPTAS	100 a 2000 Hz	900 a 2100 Hz	81 MN

Fonte: Elaborada pelo autor com dados de Thales Group (2016); Atlas Elektronik (2017).

Como o projeto das FCT baseado no MEKO A-110 vindo com o conceito modular de missões, a opção mais viável sera a aquisição do sistema modular da Atlas Elektronik, tendo em vista que as FCT terão um espaço útil na região da popa. Isso seria um ganho operacional relevante para a MB, tendo em vista que a fusão de dados de multi sensores, propiciaria uma detecção mais eficiente dos alvos. Além do fato do módulo AMACS ser facilmente remanejável entre os navios.

## **5 CONCLUSÃO**

A pesquisa sobre o emprego de sonar rebocado nas FCT tentou traçar um panorama global a respeito do desenvolvimento dessa tecnologia. À partir disso foi possível coletar informações sobre diversos países, que resultaram em um quadro comparativo entre essas nações e os sonares rebocados que empregam em seus navios escolta. Esta pesquisa ficou limitada pelo fato do sonar ser um equipamento sigiloso, fazendo com que o panorama não fique completo.

Além disso, durante a pesquisa foram evidenciadas algumas características distintivas entre os sonares de caso e os sonares rebocados, o que possibilitou traçar um quadro comparativo entre esses sensores.

Esta pesquisa também analisou os principais sonares rebocados que estão sendo utilizados nos dias atuais, concluindo-se que as empresas Thales e Atlas Elektronik estão em evidência neste mercado, no ponto de vista de que são as responsáveis por equipar a maior parte dos meios navais pesquisados.

Ademais, esta pesquisa trouxe o conceito de navio com missões modular, característica que é presente nos projetos das FCT.

Em face do exposto, pode-se perceber que a MB tem muito a ganhar operativamente com o emprego dos sonares rebocados nas FCT, fazendo com que a detecção submarina da Esquadra Brasileira seja mais eficiente.

### **5.2 Sugestões para Futuros Trabalhos**

O seguimento da evolução desta pesquisa pode ser feito visando um desenvolvimento de tecnologia nacional na área de sonares rebocados, identificando as necessidades para um projeto nesta área.

Além disso outros trabalhos podem explorar as possibilidades oferecidas pelas FCT para empregar sonares rebocados em missões específicas.

## REFERÊNCIAS

ATLAS ELEKTRONIK. **ASO - 713/723: Hull-Mounted Active Sonar**. Atlas Elektronik, [S.l.], 2013. Disponível em:

<[https://www.atlas-elektronik.com/fileadmin/user\\_upload/01\\_Images/Solutions/Datenblaetter\\_zum\\_Download/011\\_ASO.pdf](https://www.atlas-elektronik.com/fileadmin/user_upload/01_Images/Solutions/Datenblaetter_zum_Download/011_ASO.pdf)>. Acesso em: 23 out. 2023.

ATLAS ELEKTRONIK. **German F126 frigate to be equipped with anti-submarine warfare technology from ATLAS ELEKTRONIK**. Atlas Elektronik, [S.l.], 02, nov. 2022.

Disponível em: <[https://www.atlas-elektronik.com/fileadmin/user\\_upload/01\\_Images/Solutions/Datenblaetter\\_zum\\_Download/011\\_ASO.pdf](https://www.atlas-elektronik.com/fileadmin/user_upload/01_Images/Solutions/Datenblaetter_zum_Download/011_ASO.pdf)>. Acesso em: 23 out. 2023.

ATLAS ELEKTRONIK. **Active Towed Array Sonar: Outstanding Over-The-Horizon**

Surveillance. Atlas Elektronik, [S.l.], 2017. Disponível em: <[https://www.atlas-elektronik.com/fileadmin/user\\_upload/01\\_Images/Solutions/Datenblaetter\\_zum\\_Download/093\\_ACTAS.pdf](https://www.atlas-elektronik.com/fileadmin/user_upload/01_Images/Solutions/Datenblaetter_zum_Download/093_ACTAS.pdf)>. Acesso em: 23 out. 2023.

COSTA, P.R.M.. **LOFAR: Uma Ferramenta Para Navios de Superfície na Guerra AS**. Revista Passadiço, Niterói, RJ, n. 43, p. 34-36, 2023.

FEDERATION OF AMERICAN SCIENTIS. **Towed Array**. Military Analysis Network, [S.l.], 12, dez. 1998. Disponível em: <<https://man.fas.org/dod-101/sys/ship/weaps/an-sqr-19.htm>>. Acesso em: 23 out. 2023.

GALANTE, Alexandre. **Sonares modernos para a Guerra Antissubmarino**. Poder Naval, [S.l.], 2018a. Disponível em: <<https://www.naval.com.br/blog/2018/01/21/sonares-modernos-para-guerra-antissubmarino/>>. Acesso em: 23 out. 2023.

GALANTE, Alexandre. **MB vai atualizar conhecimentos sobre acústica submarina e sistemas de sonar**. Poder Naval, [S.l.], 2018b. Disponível em:

<<https://www.naval.com.br/blog/2018/06/10/mb-vai-atualizar-conhecimentos-sobre-acustica-submarina-e-sistemas-de-sonar>>. Acesso em: 23 out. 2023.

GALANTE, Alexandre. **Como funciona o sonar ativo?**. Poder Naval, [S.l.], 2018c.

Disponível em: <<https://www.naval.com.br/blog/2018/01/17/como-funciona-o-sonar-ativo/>>. Acesso em: 23 out. 2023.

GIMBLET, Richard. **CANTASS**. A Enciclopédia Canadense, [S.l.], 22, jul. 2022.

Disponível em: [www.thecanadianencyclopedia.ca/en/article/cantass](http://www.thecanadianencyclopedia.ca/en/article/cantass)>. Acesso em: 23 out. 2023.

GOVIND, K. et al. **Failure Analysis of Metallic Armoured Electro-Optic Mechanical Cables in Underwater Towed Sonar Systems**. Naval Physical and Oceanographic Laboratory, India, v. 14, p. 425-441, jun. 2019. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452321619300563?via%3Dihub>>. Acesso em: 23 out. 2023.

HAO, Li (Ed.). **Tempo de exploração: Quem é a fragata mais forte entre a China e o Japão?**. Epoch Times, [S.l.], 01, jan. 2022. Disponível em: <<https://cn.epochtimes.com/b5/22/1/17/n13511246.htm>>. Acesso em: 23 out. 2023.

LEMON, Stanley G. **Towed-array history, 1917-2003**. IEEE Journal of Oceanic Engineering, [S.l.], v. 29, n. 2, p. 365-373, 2004. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/1315726>>. Acesso em: 23 out. 2023.

SHIMBUN, Yomiuri **MSDF eyes active sonar for its submarines**. Defense Industry Daily, [S.l.], 03, jul. 2021. Disponível em: <<https://japannews.yomiuri.co.jp/politics/defense-security/20210703-49393/>> Acesso em: 23 out. 2023.

**MFTA: The US Navy's New Towed Array for Naval Detection**. Defense Industry Daily, [S.l.], 2019. Disponível em: <<https://www.defenseindustrydaily.com/mfta-the-us-navys-new-towed-array-for-naval-detection-04956/>> Acesso em: 23 out. 2023.

MORALEZ, J. P.. **Brasil inicia a construção das fragatas da Classe Tamandaré**. Tecnologia e Defesa, [S.l.], 09, set. 2022. Disponível em: <<https://tecnodefesa.com.br/brasil-inicia-a-construcao-das-fragatas-da-classe-tamandare/>>. Acesso em: 23 out. 2023.

MORIN, Sean. **Towed Array Sonar: Uses and Design Challenges**. AMETEK SCP, [S.l.] mar. 2019. Disponível em: <<https://www.ametekscp.com/knowledge/blog/2019/march/towed-array-sonar-uses-and-design-challenges>>. Acesso em: 23 out. 2023.

MOURA, N. N. de; SEIXAS, J. M.; RAMOS, Ricardo. **Passive Sonar Signal Detection and Classification Based on Independent Component Analysis**. [S.l.], 2018. InTech, Sonar Systems, Prof. Nikolai Kolev (Ed.), ISBN: 978-953-307- 345-3. Disponível em: <<https://www.intechopen.com/books/218>>. Acesso em: 23 out. 2023.

NUGENT, Bob. **Naval ASW Sonar Review**. EUROPE, SECURITY & DEFENSE , [S.l.], ago. 2017. Disponível em: <<https://amiinter.com/pdf/NavalASWSonarReview.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2023.

PADILHA, Luiz. **ThyssenKrupp, Embraer e o estaleiro OCEANA se unem para concorrer no programa da Corveta ‘Tamandaré’**. Poder Naval, [S.l.], 11, mai. 2018. Disponível em: <<https://www.defesaareanaval.com.br/defesa/thyssenkrupp-embraer-e-o-estaleiro-oceana-se-unem-para-concorrer-no-programa-da-corveta-tamandare>>. Acesso em: 23 out. 2023.

PADILHA, Luiz. **IPqM: Buscando a Independência Nacional através da Capacidade Tecnológica**. Poder Naval, [S.l.], 21, mar. 2022. Disponível em: <<https://www.defesaareanaval.com.br/ciencia-e-tecnologia/ipqm-buscando-a-independencia-nacional-atraves-da-capacidade-tecnologica>>. Acesso em: 23 out. 2023.

PATRIA GROUP. **PATRIA SONAC DTS: The dual towed sonar system for Anti-Submarine operations**. Patria Group, [S.l.], 2020. Disponível em: <<https://www.patriagroup.com/products-and-services/battlefield-and-critical-systems/underwater-systems/patria-sonac-dts>>. Acesso em: 23 out. 2023.

PERUZZI, Luca. **Towed Active Sonar Systems: A Growing Industry.** EUROPE, SECURITY & DEFENSE , [S.l.], 2022. Disponível em: <<https://euro-sd.com/2022/05/articles/exclusive/26297/towed-active-sonar-systems-a-growing-industry>>. Acesso em: 23 out. 2023.

PIKE, John. **Towed Array.** Global Security, [S.l.], 07, jul. 2011. Disponível em: <<https://www.globalsecurity.org/military/systems/ship/systems/towed-array.htm>>. Acesso em: 23 out. 2023.

PINOTTI, L. C. A.. **Acústica Submarina: Propagação Do Som Na Água Do Mar,** [S.l.], 10, dez. 2010. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/502127655/Acustica-Submarina-Propagacao-do-Som-na-Agua-do-Mar>>. Acesso em: 23 out. 2023.

SHIBA, Hisashi et al.. **Manipulating the Underwater Propagation Path of Sound Waves with Variable Depth Sonar.** NEC Technical Journal , [S.l.], v. 16, n. 1, p. 77-81, out. 2021. Disponível em: <<https://www.nec.com/en/global/techrep/journal/g21/n01/pdf/210115.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2023.

THALES GROUP. **CAPTAS Family : Combined Active Passive Towed Array Sonar.** THALES GROUP, [S.l.], 2016. Disponível em: <https://www.thalesgroup.com/en/search-everything/all?search=towed+sonar> Acesso em: 23 out. 2023.

**Thales** anuncia o lançamento de seu novo sonar compacto rebocado CAPTAS-4 na Euronaval 2016 71810162. Navy Recognition, [S.l.], 18, out. 2016 . Disponível em: <<https://navyrecognition.com/index.php/naval-news/naval-exhibitions/2016-archives/euronaval-2016/4462-thales-announces-the-launch-of-its-new-compact-captas-4-towed-array-sonar-at-uronaval-2016-71810162.html>>. Acesso em: 23 out. 2023.

WILTGEN , Guilherme. **Sistema de Detecção, Acompanhamento e Classificação de Contatos (SDAC).** Defesa Aérea e Naval, [S.l.], 09, mai. 2012. Disponível em: <<https://www.defesaaereanaval.com.br/ciencia-e-tecnologia/sistema-de-deteccao-acompanhamento-e-classificacao-de-contatos-sdac#:~:text=O%20Sistema%20de%20Detec%C3%A7%C3%A3o%20Acompanhamento,as%20fun%C3%A7%C3%B5es%20de%20um%20sistema>>. Acesso em: 23 out. 2023.

YACHAO, Cui . **Tecnologia sonar e suas aplicações.** Technology Neighbor, [S.l.], 12, ago. 2015. Disponível em: <<https://www.jishulink.com/post/2998>>. Acesso em: 23 out. 2023.