

UMA PROPOSTA DE TELEFONE SUBMARINO NACIONAL



Capitão-Tenente (EN) Antônio Walkir Sibanto Caldeira
Primeiro-Tenente (QC-CA) Rodrigo Scarabotto Godinho

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das comunicações acústicas submarinas tem sido objeto de interesse dual de diversas instituições mundo afora, em virtude das crescentes aplicações voltadas para as atividades militares, as explorações dos recursos presentes no oceano e o monitoramento de dados ambientais para a prevenção de desastres naturais. O principal objetivo de todos os sistemas de comunicação é enviar uma mensagem, compreensível e significativa, do transmissor para o receptor, e são compostos basicamente por três partes principais: a fonte, que contém o sinal/mensagem a ser transmitida, o canal, que é o meio por onde trafega o sinal, e o receptor ou destino da mensagem.

Uma comunicação acústica submarina eficiente e eficaz entre os meios navais representa um grande desafio em virtude das distorções presentes no canal acústico submarino, causadas principalmente pelas perdas na propagação, pela reverberação do sinal e pelo ruído ambiente, podendo comprometer significativamente o conteúdo da mensagem.

O som, que é uma onda mecânica, ao propagar-se no canal sofre diversas atenuações em virtude da dispersão do pulso acústico, na medida em que este se afasta da fonte de origem, e do efeito da absorção, que é resultado da conversão de energia sonora em energia térmica e que afeta, principalmente, os sinais de alta frequência. Além disso, as interações físicas do pulso acústico com a superfície e o fundo do mar resultam nas múltiplas reflexões dos ecos do sinal, fenômeno conhecido como reverberação, que afetam sobremaneira o desempenho da comunicação submarina, especialmente por causa da interferência intersimbólica.

Além das perdas na propagação, o sinal de interesse que chega no receptor também sofre a interferência do ruído ambiente, que pode comprometer severamente as comunicações quando este possui características não estacionárias e encontra-se na mesma banda de frequência do sinal. No ambiente submarino, os ruídos podem ser

classificados como ruídos naturais (bióticos e abióticos) e antropogênicos. Os ruídos bióticos (biológicos) são aqueles gerados por animais marinhos como peixes, baleias e camarões, enquanto os abióticos incluem os ruídos causados pelo vento, chuvas, ondas e movimentos sísmicos. Os ruídos antropogênicos são aqueles produzidos por atividades humanas, podendo-se citar os ruídos de embarcações, plataformas de exploração de petróleo, atividades portuárias, canhões de ar (*airguns*) e sonares ativos militares.

Os primórdios do telefone submarino remontam aos idos do século 20, quando mergulhadores precisavam se comunicar submersos com o supervisor, que ficava na superfície. A corrida armamentista da Segunda Grande Guerra impulsionou o desenvolvimento das comunicações submarinas, sobretudo com o advento dos submarinos e sonares. A simples comunicação por voz embaixo d'água, que é um sinal analógico, foi a preceptora das comunicações digitais submarinas, que é usada por diversas outras forças navais no mundo inteiro.

A necessidade de receber dados táticos, previsões meteorológicas ou de garantir a robustez e confiabilidade na troca de informações em situações adversas, como nas situações de busca e salvamento submarino, além da possibilidade de proporcionar uma maior interoperabilidade com os veículos autônomos, fez com que os Telefones Submarinos (UT – *Underwater Telephone*) incluíssem novas formas de comunicação, tornando-se cada vez mais versáteis e multifuncionais.

Se, anteriormente, os UT implementaram comunicações acústicas analógicas com transmissão de voz e código Morse, o binômio interoperabilidade/robustez influenciou na decisão da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN) em desenvolver um protocolo padrão de comunicação entre os telefones submarinos, conhecido como JANUS, que passou a ser adotado nos recentes exercícios de busca e salvamento de submarinos, como o *Dynamic Monarch*.

2. DYNAMIC MONARCH E O PROTOCOLO JANUS

O *Dynamic Monarch* é o maior exercício de busca e salvamento submarino do mundo e tem como propósito avaliar a interoperabilidade e as capacidades operativas das Forças Navais das nações participantes, na maioria membros da OTAN, na resposta a um acidente submarino (ALVES; FRICKE, 2016). Em 2017, esses exercícios foram realizados na região de Marmaris, na Turquia, e contaram com a participação do *Center for Maritime Research and Experimentation* (CMRE) da OTAN, que apresentou, pela primeira vez, o emprego do protocolo JANUS para as comunicações digitais no contexto de resgate submarino.

O protocolo JANUS foi desenvolvido e testado pelo CMRE da OTAN com o objetivo de conferir uma padronização internacional das comunicações acústicas digitais, permitindo, assim, uma comunicação robusta e eficiente entre meios operativos de diferentes países. O JANUS adota a modulação *Frequency-Hopped Binary Frequency Shift Keying* (FH-BFSK), escolhida por sua robustez e facilidade de implementação. A frequência central é de 11,52 kHz, com uma largura de banda de 4,16 kHz, sendo essa banda de transmissão escolhida por ser apropriada para diversos cenários operacionais de comunicações submarinas e por permitir o emprego de diversos equipamentos já disponíveis no mercado, possibilitando a interoperabilidade dos diversos sistemas de comunicação (PETROCCIA; ALVES; ZAPPA, 2017).

Por fim, é importante destacar alguns mecanismos implementados no JANUS para mitigar as interferências nas comunicações simultâneas com o UT, podendo-se citar (ALVES; FRICKE, 2016):

- a sobreposição parcial das bandas de frequência do UT, sendo que há mais de 1kHz de espectro limpo disponível na região das baixas frequências, onde a maior parte da energia do sinal de voz está concentrada;
- controle de Acesso do Meio, que é um mecanismo que visa minimizar o risco de interferência entre o JANUS e UT oferecendo precedência para determinadas fontes de energia ocupando a mesma banda de frequência, quando estas são detectadas a partir de uma comparação entre a energia medida na banda e o nível de ruído ambiente; e

- reserva de tempo para transmissão no canal, uma especificação do pacote JANUS que permite que um sistema consiga reservar um tempo predefinido para efetuar a sua comunicação, silenciando transmissores com o protocolo JANUS adjacentes por um período que pode chegar a até dez minutos.

Durante estes exercícios, as comunicações digitais foram capazes de aprimorar a robustez, eficiência e confiabilidade na transmissão e na recepção de informações críticas nas operações de salvamento submarino. Além disso, a introdução do protocolo JANUS nos cenários de busca e salvamento submarino permite uma maior interoperabilidade dos exercícios, não somente por padronizar as comunicações em um contexto de operação conjunta de diversas Forças Navais, como também por permitir a integração de veículos não tripulados, como os veículos autônomos submarinos (AUV – *Autonomous Underwater Vehicles*), de superfície (ASV – *Autonomous Surface Vehicles*) e os veículos submarinos remotamente operados (ROV – *Remotely Operated Vehicles*).

Todavia, é importante mencionar que, em experimentos realizados para avaliar os impactos da inteligibilidade com a interferência da comunicação digital com o JANUS na comunicação por voz pelo UT, verificou-se que, para uma razão sinal-ruído elevada, mas com a potência do sinal interferente maior em 10 a 20 dB com relação à potência do sinal de voz, a perda na inteligibilidade pode chegar a 33% (ALVES; FRICKE, 2016). Portanto, estudos futuros ainda podem ser conduzidos no sentido de mitigar os efeitos desta interferência com o propósito de reduzir a degradação da inteligibilidade do sinal de voz durante o emprego simultâneo do UT e da comunicação digital.

3. PROPOSTA DO TELEFONE SUBMARINO NACIONAL

Um protótipo do Telefone Submarino Nacional (TSN) foi desenvolvido pelo Departamento de Acústica Submarina do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM), com o propósito de prover uma comunicação por voz bidirecional (*half-duplex*) entre embarcações por meio de ondas acústicas submarinas. A figura 1 mostra um esquema dos sistemas de transmissão e recepção dos sinais de voz para o TSN em um canal acústico submarino. Os sinais acústicos captados pelo microfone no sistema de transmissão são digitalizados, modulados em amplitude de portadora suprimida, banda única (AM SSB-SC) na

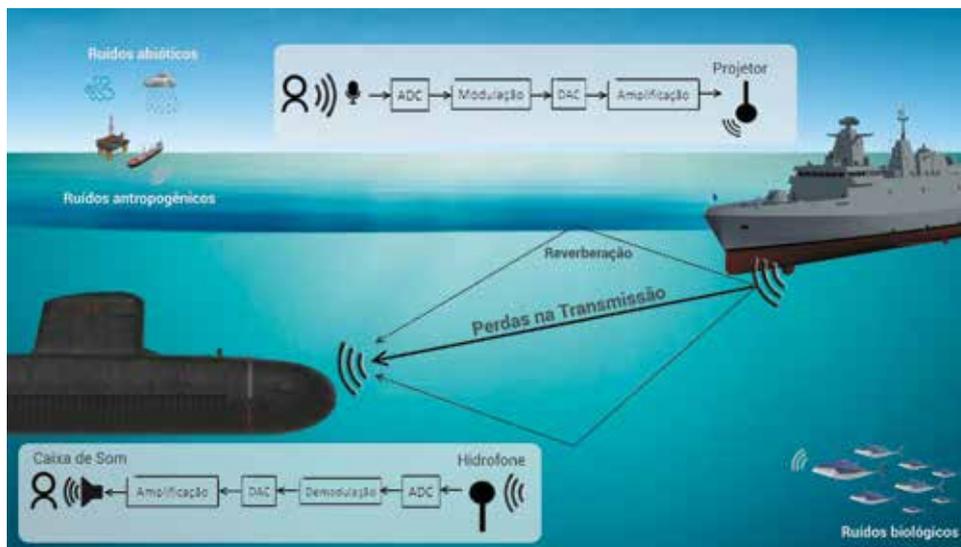


Figura 1: TSN em um canal acústico submarino.

frequência de 8,0875 kHz e depois convertidos para sinal analógico para transmissão no canal submarino via projetor acústico. Os sinais da portadora são captados por um hidrofone no sistema de recepção, digitalizados, demodulados para obtenção do sinal original, que é então convertido para sinal analógico para ser reproduzido em uma caixa de som.

A figura 2 apresenta a parte seca e molhada do protótipo do TSN para os sistemas de transmissão e recepção. A parte seca do sistema de transmissão conta com um microfone SKP PRO 7K, um amplificador PWS DC-80, enquanto a parte seca do sistema de recepção conta com um amplificador NCA 100 R4 e uma caixa de som da Sony SS-H991SAV. Tanto a modulação quanto a demodulação do sinal de interesse foi implementada em uma *Raspberry Pi 3* na linguagem *Octave*. Para a parte molhada, o projetor e o hidrofone estão imersos em um tanque de água salgada para testes de comunicação.

Além dos experimentos realizados neste tanque, o protótipo do TSN também já foi testado na Comissão CSUB VIII do IEAPM, em março de 2020, em que o sinal de voz foi transmitido a partir de uma estação submarina fixa composta por um arranjo linear vertical de seis projetores nas proximidades do Posto Avançado do Centro de Apoio a Sistemas Operativos (CASOP), no Morro do Pontal do Atalaia, em Arraial do Cabo, e recebido com sucesso pelo UT do Submarino Tupi.

O TSN proposto neste artigo consiste em apresentar uma solução versátil e multifuncional nos sistemas de comunicações acústicas submarinas, que permita empregar a já conhecida comunicação analógica dos UTs e as modernas comunicações digitais com o protocolo JANUS, o que possibilitaria uma maior interoperabilidade entre os submarinos

da Marinha Brasileira e de outras Marinhas amigas em comissões ou exercícios futuros. Com relação a este último, é indispensável frisar a importância do Projeto Comunicações Submarinas (CSUB), concebido em 2012 no IEAPM, e que culminou no desenvolvimento do primeiro modem acústico nacional definido por software, de domínio exclusivo da Marinha do Brasil, em apoio ao Programa de Submarinos da Marinha (PROSUB) (GUARINO et al., 2018).

Além da experiência adquirida durante os dez anos do projeto CSUB, bem como a manutenção da infraestrutura que permitiu o sucesso deste projeto, o IEAPM também conta com uma equipe de Oficiais altamente qualificada na área de Acústica Submarina, graças ao bem-sucedido programa de qualificação de pessoal adotado pela MB para os cursos de mestrado e doutorado no Brasil e no exterior. Sendo assim, esta conjuntura de fatores é profícua ao desenvolvimento de uma tecnologia autóctone para um sistema de comunicações submarinas confiável, versátil, escalável e seguro.



Figura 2: Protótipo TSN – parte seca e molhada.

Um outro aspecto relevante deste domínio tecnológico completo, em contraponto à aquisição de equipamentos “caixa-preta” para os meios, é a flexibilidade em aperfeiçoar ou implementar novas funcionalidades no software do TSN. Por exemplo, pode-se citar um módulo de processamento dos sinais recebidos visando aprimorar os aspectos perceptuais da voz, que podem ser analisados por medidas de qualidade e inteligibilidade (LOIZOU, 2007). As medidas de qualidade avaliam a atenuação das distorções causadas pelos ruídos acústicos. As medidas da inteligibilidade referem-se à correta compreensão da mensagem transmitida em uma locução, sendo objetivamente avaliada segundo um percentual de acerto de palavras ou sentenças. Para melhoria da qualidade, geralmente são utilizados os métodos do realce de voz (CALDEIRA; COELHO, 2021). Para o aprimoramento da inteligibilidade em cenários ruidosos e reverberantes, também podem ser aplicadas as máscaras acústicas (MARTINY; ALCÂNTARA; COELHO, 2022).

Além disso, outras aplicações podem ser implementadas em conjunto com estes métodos, como a identificação de palavras, reconhecimento automático de locutor e classificação de emoções acústicas, que podem ser de vital importância em situações de elevado estresse emocional do operador do telefone submarino. Para as comunicações digitais, também pode-se citar o desenvolvimento de técnicas que visam aumentar a segurança das informações transmitidas, como algoritmos de criptografia, ou até mesmo por métodos de baixa probabilidade de detecção (LOUZA; JESUS, 2022), que possibilitariam uma comunicação acústica com o submarino sem a perda de sua furtividade. Por fim, vale frisar a importância no fomento da base industrial de defesa nacional através da prospecção tecnológica de parcerias estratégicas visando à produção da versão final do TSN em larga escala.

CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma proposta de Telefone Submarino com tecnologia totalmente nacional a ser empregado nos diversos meios navais da Marinha. Um protótipo do TSN foi desenvolvido no IEAPM e já foi testado com sucesso para comunicações por voz em uma comissão operativa com a participação do Submarino Tupi. Além de contar com uma equipe de mestre e doutores na área de Acústica Submarina, o IEAPM tem uma vasta experiência adquirida no projeto CSUB, cujo produto foi um modem acústico definido por software. Dessa forma, o TSN proposto seria capaz de prover tanto as comunicações analó-

gicas por voz quanto as comunicações digitais, nas quais seria possível incluir o protocolo JANUS da OTAN. O domínio de uma tecnologia de comunicações submarinas autóctone também permitiria a modernização do TSN para aperfeiçoar as comunicações entre os meios navais, como pela melhora na inteligibilidade das comunicações por voz ou na confiabilidade e segurança das informações transmitidas, além da contribuição ao fomento da indústria nacional.

REFERÊNCIAS

ALVES, J.; FRICKE, C. Analysis of JANUS and underwater telephone capabilities and co-existence. *In: IEEE THIRD UNDERWATER COMMUNICATIONS AND NETWORKING CONFERENCE (UCOMMS)*, 3., 2016, Lerici, Itália. **Anais [...]**. IEEE, 2016, p. 1-5.

CALDEIRA, A.; COELHO, R. Realce de sinais em ambiente com variações acústicas subaquáticas. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES E PROCESSAMENTO DE SINAIS (SBrt2021)*, 39. 2021, Fortaleza. **Anais [...]**. Ceará: UFC, 2021.

GUARINO, ALEXANDRE G.L.; SILVA, Luis Felipe P.S.; XAVIER, FABIO C.; OSOWSKY, JEFFERSON. Primeira versão de um modem acústico submarino definido por software da Marinha do Brasil. **Pesquisa naval**, Brasília, v. 29, p. 76-85, 2018.

LOIZOU, P. **Speech enhancement: theory and practice**. Flórida: CRC Press, 2007.

LOUZA, F. B.; JESUS, S. M. Low probability of detection underwater communications using a vector sensor. *UNDERWATER COMMUNICATIONS AND NETWORKING CONFERENCE (UCOMMS)*, 6., 2002, Lerici, Itália. **Anais [...]**. IEEE, 2002, p. 1-5.

MARTINY, R.; ALCÂNTARA, R.; COELHO, R. Avaliação da predição objetiva da inteligibilidade de sinais reverberantes e ruidosos com uso de máscaras acústicas. *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES E PROCESSAMENTO DE SINAIS (SBrt2022)*, 15., 2022, Santa Rita do Sapucaí, 2022. **Anais [...]**, 2022.

PETROCCIA, R.; ALVES, J.; ZAPPA, G. JANUS-based services for operationally relevant under water applications. **IEEE journal of oceanic engineering**, v. 42, n. 4, p. 994-1006, 2017.