

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

CURSO DE APERFEIÇOAMENTO AVANÇADO EM
GUERRA ELETRÔNICA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

O RTL-SDR COMO FERRAMENTA DE INTELIGÊNCIA DE COMUNICAÇÕES:
aplicabilidade no combate às atividades ilegais nas Águas Jurisdicionais
Brasileiras



PRIMEIRO-TENENTE ALAN VILLANDER SANTOS MONTEIRO

Rio de Janeiro
2023

PRIMEIRO-TENENTE ALAN VILLANDER SANTOS MONTEIRO

O RTL-SDR COMO FERRAMENTA DE INTELIGÊNCIA DE COMUNICAÇÕES:
aplicabilidade no combate às atividades ilegais nas Águas Jurisdicionais Brasileiras

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

Orientadores:

Prof. Diogo Silveira Mendonça

CT(EN) Rêmulo Manuel Caminha Gomes

CIAA
Rio de Janeiro
2023

PRIMEIRO-TENENTE ALAN VILLANDER SANTOS MONTEIRO

O RTL-SDR COMO FERRAMENTA DE INTELIGÊNCIA DE COMUNICAÇÕES:
aplicabilidade no combate às atividades ilegais nas Águas Jurisdicionais Brasileiras

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

Aprovada em 22 de Novembro de 2023.

Banca Examinadora:

Prof. Guilherme Ribeiro Colen, DSc – PUC Rio Guilherme Ribeiro Colen

Prof. Diogo Silveira Mendonça, DSc – PUC/CEFET Diogo Silveira Mendonça

CT (EN) Rêmulo Manuel Caminha Gomes – CGAEM Rêmulo Manuel Caminha Gomes

Dedico esse trabalho à minha amada esposa Ana, cujo amor, apoio incondicional e compreensão foram a força motriz por trás desta árdua jornada. Suas palavras de encorajamento e paciência foram a base que permitiu alcançar este objetivo. Obrigado por ser minha fonte de inspiração e por compartilhar cada momento desta jornada comigo. Este TCC é dedicado a você, com todo meu amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão aos meus estimados orientadores acadêmico e técnico, Diogo Mendonça e Tenente Caminha. Suas orientações, ensinamentos e, acima de tudo, a liberdade que me concederam para explorar e pesquisar ampliaram imensamente meu horizonte de conhecimento sobre o assunto. Sua dedicação e apoio foram fundamentais para o sucesso deste trabalho e para o meu crescimento como aluno deste curso de pós-graduação.

Também não posso deixar de agradecer aos meus amigos, que estiveram ao meu lado durante esta árdua jornada no Curso Avançado para Oficiais de Guerra Eletrônica. Seu apoio, amizade e colaboração foram inestimáveis, e não teria chegado tão longe sem vocês, levarei comigo boas lembranças e boas risadas do convívio com vocês.

A todos, meu sincero agradecimento por fazerem parte desta conquista e por tornarem esta jornada acadêmica uma experiência enriquecedora.

“Se um soberano iluminado e seu comandante obtêm a vitória sempre que entram em ação e alcançam feitos extraordinários, é porque eles detêm o conhecimento prévio e podem antever o desenrolar de uma guerra.”

Sun Tzu

O RTL-SDR COMO FERRAMENTA DE INTELIGÊNCIA DE COMUNICAÇÕES: aplicabilidade no combate às atividades ilegais nas Águas Jurisdicionais Brasileiras

Resumo

A importância estratégica, tanto em termos de defesa quanto de economia, do domínio marítimo torna imperativo o emprego de métodos eficazes de monitoramento das atividades conduzidas neste espaço vital. Dentre eles destaca-se a Inteligência de Comunicações. Esta monografia aborda o potencial e as implicações do uso do *Realtek Software Defined Radio* (RTL-SDR) como ferramenta estratégica na Inteligência de Comunicações em apoio à patrulha naval. O objetivo central é entender como o RTL-SDR, uma tecnologia de baixo custo e ampla aplicabilidade, pode ser uma aliada eficaz no combate a atividades ilegais, como pesca não autorizada, tráfico de drogas e pirataria, nas Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB). O método de pesquisa adotado compreendeu uma abordagem qualitativa, baseada na análise de literatura técnica relevante. Os resultados indicaram que o RTL-SDR, quando adequadamente configurado e integrado a sistemas de Inteligência de Comunicações, tem a capacidade de melhorar significativamente a eficiência das operações de patrulha naval. Especialmente notável é a capacidade do dispositivo de interceptar, registrar e geolocalizar sinais em tempo real, fornecendo às forças navais informações críticas para a tomada de decisões. Adicionalmente, a pesquisa destacou que o equipamento tem um *footprint* logístico mínimo, tornando sua implementação e manutenção viáveis até mesmo para embarcações de menor porte. Contudo, também foram identificados desafios, sobretudo em relação à capacitação técnica, integração com outros sistemas e adaptação contínua face aos avanços tecnológicos e mudanças nas táticas de comunicação dos agentes envolvidos em atividades ilegais. A pesquisa sugere uma abordagem holística para a implementação do RTL-SDR, considerando não apenas o equipamento em si, mas também o treinamento, a gestão do conhecimento e a integração com outras ferramentas de inteligência. Conclui-se que o RTL-SDR possui um potencial significativo para aprimorar a Inteligência de Comunicações na Marinha do Brasil, oferecendo uma solução econômica e tecnicamente robusta para enfrentar desafios contemporâneos em segurança marítima.

Palavras-chave: RTL-SDR; Inteligência de Comunicações; COMINT; patrulha naval.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Equipamento RTL-SDR.....	21
Figura 2 – RTL-SDR modelo V4	22
Figura 3 – Simulação de geolocalização	29
Figura 4 – Predição da propagação de sinais RF na Ilha da Trindade.....	34
Figura 5 – Predição da propagação de sinais RF na região amazônica	36
Figura 6 – Um espectrograma exibido pelo RTL-SDR de um sinal rádio portátil recebido....	38
Figura 7 – Um espectrograma com os parâmetros do sinal interceptado pelo RTL-SDR.....	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Justificativa e Relevância	11
1.2 Objetivos.....	11
1.3 Metodologia.....	11
2 INTELIGÊNCIA DE COMUNICAÇÕES NO CONTEXTO NAVAL.....	12
2.1 Definição e importância da Inteligência de Comunicações	12
2.2 Histórico e evolução da COMINT no âmbito naval	14
2.3 Métodos tradicionais e seus desafios no cenário contemporâneo	15
3 RÁDIO DEFINIDO POR SOFTWARE.....	17
3.1 Introdução ao RDS e suas capacidades.....	17
3.2 Evolução do RDS e suas vantagens sobre os sistemas tradicionais	19
3.3 O equipamento RTL-SDR	21
4 APLICAÇÕES DO RTL-SDR NA COMINT	24
4.1 Monitoramento dos canais de comunicação	25
4.2 Gravação e armazenamento de informações para inserção nos bancos de dados de inteligência.....	26
4.3 Geolocalização das fontes emissoras	28
5 BENEFÍCIOS E LIMITAÇÕES DO RTL-SDR NA INTELIGÊNCIA DE COMUNICAÇÕES	30
5.1 Benefícios do RTL-SDR aplicado na COMINT	31
5.2 Desafios e Considerações para a Implementação Bem-sucedida em Navios.....	32
5.2.1 Desafios dos Ambientes Marítimo e Amazônico	32
5.2.2 Aspectos Operacionais e Logísticos.	36
5.2.3. Integração com Outros Sistemas e Segurança	39
5.2.4. Capacitação e Treinamento.....	41
5.2.5. A Necessidade de Adaptação Contínua	42

6 CONCLUSÃO.....	43
6.1 Considerações Finais	43
6.2 Sugestões para futuros trabalhos	44
REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

No atual cenário global, o domínio marítimo continua sendo de fundamental importância estratégica, tanto em termos de defesa quanto de economia. As vastas extensões oceânicas servem como vias de transporte para uma porcentagem significativa do comércio mundial, tornando-as vitais para o sustento de várias nações. Paralelamente, atividades ilícitas no mar, como tráfico de drogas, pirataria e pesca ilegal, continuam a ameaçar a segurança marítima e a ordem econômica global. Nesse contexto, a necessidade de fortalecer as operações de patrulha naval nunca foi tão premente. Uma das formas de combate à essas atividades é o emprego do RTL-SDR como ferramenta de Inteligência de Comunicações, a fim de interceptar as comunicações do infrator e poder aplicar de forma eficaz as medidas necessárias.

1.1 Justificativa e Relevância

O problema central que esta pesquisa busca abordar é: "Como o RTL-SDR, enquanto ferramenta de Inteligência de Comunicações, pode ser aplicado no combate às atividades ilegais nas Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB)?" Justifica-se esta investigação pelo potencial inexplorado do RTL-SDR como uma solução econômica e tecnicamente viável para ampliar as capacidades de monitoramento e detecção de atividades suspeitas nas AJB. Além de sua acessibilidade econômica, o RTL-SDR pode oferecer à Marinha do Brasil uma vantagem tática significativa ao prover dados em tempo real sobre comunicações potencialmente maliciosas.

1.2 Objetivos

Assim, os objetivos desta monografia são: compreender as capacidades técnicas e limitações do RTL-SDR; analisar sua aplicabilidade na Inteligência de Comunicações para identificar atividades ilegais; e propor métodos de integração dessa tecnologia nas operações navais brasileiras.

1.3 Metodologia

A metodologia empregada para alcançar os objetivos propostos baseia-se em uma abordagem qualitativa, utilizando-se de revisão bibliográfica. Dados técnicos sobre o funcionamento e capacidades do RTL-SDR serão coletados de literatura especializada, enquanto informações sobre a dinâmica de ameaças nas AJB serão obtidas a partir de fontes confiáveis. A combinação dessas informações permite uma avaliação crítica da aplicabilidade e eficácia do RTL-SDR no contexto específico das AJB e das ameaças que a região enfrenta.

2 INTELIGÊNCIA DE COMUNICAÇÕES NO CONTEXTO NAVAL

No vasto cenário marítimo, onde vastidões de água e longas distâncias dominam, a comunicação se torna a espinha dorsal das operações navais. As comunicações não apenas facilitam as atividades rotineiras de um navio, mas são críticas em situações de emergência, operações táticas e cooperação com outras unidades navais ou terrestres. Entender o espectro das comunicações neste contexto é crucial. A Inteligência de Comunicações (IC) emerge, neste cenário, como uma disciplina vital, orientada para a coleta e análise de comunicações eletrônicas. Em um ambiente naval, a IC não apenas proporciona uma compreensão profunda das intenções e movimentos do adversário, mas também ajuda a antecipar ameaças emergentes, como atividades ilegais no mar. Esta seção se aprofundará no papel, nos desafios e nas nuances da Inteligência de Comunicações no contexto naval, demonstrando sua importância estratégica e operacional nas águas do mundo.

2.1 Definição e importância da Inteligência de Comunicações

A inteligência de comunicações, comumente referida pela sigla em inglês COMINT (*Communications Intelligence*), posiciona-se como uma vertente especializada dentro do espectro mais amplo da inteligência de sinais (SIGINT – sigla em inglês para *Signals Intelligence*). Esta subespecialização centra-se na interceptação, decodificação e análise minuciosa de mensagens de comunicação adversárias com o propósito de derivar informações que possuam valor estratégico ou tático (BRASIL, 2015).

No âmbito técnico, a COMINT é particularmente voltada para comunicações humanas, o que a diferencia da inteligência eletrônica (ELINT – sigla em inglês para *Electronic Intelligence*). Esta última lida com a captura e análise de sinais eletrônicos que não provêm diretamente de atividades de comunicação humanas, como os emitidos por sistemas de radar.

Neste sentido, a operacionalização da COMINT se desdobra em várias fases interconectadas. Inicialmente, ocorre o processo de interceptação, que se vale de equipamentos de recepção avançados, podendo ser operacionalizado via postos terrestres, satélites, navios ou aeronaves, a depender da natureza e origem da comunicação em questão. Posteriormente, a comunicação capturada é submetida a uma triagem e análise preliminar, sendo sua relevância avaliada – etapa crucial dada a quantidade de interceptações que podem ser obtidas. Aqueles dados que são codificados ou cifrados são, em seguida, decodificados, sendo a mensagem subsequente traduzida e analisada no que tange a seu significado e implicações, demandando

um entendimento do contexto mais amplo, a identificação de padrões e sua correlação com outras fontes informativas. Finalmente, as informações são disseminadas às partes relevantes (BRASIL, 2015).

A magnitude do papel da COMINT em operações militares, atividades de inteligência e procedimentos de segurança é incontestável (SOARES, 2022). O monitoramento de comunicações possibilita insights sobre planos e intenções do adversário antes de sua concretização, configurando-se como uma vantagem tática de suma importância. Adicionalmente, a COMINT serve como uma ferramenta de validação, corroborando ou refutando dados obtidos por outras modalidades de inteligência, como a inteligência de imagens (IMINT) ou a inteligência humana (HUMINT). Em um prisma de contrainteligência, a capacidade de monitorar comunicações é fundamental para detectar tentativas de espionagem ou infiltração, habilitando a implementação de contramedidas efetivas. Em contextos mais pacíficos, porém de grande importância estratégica, como o diplomático, a COMINT pode informar e orientar negociações, revelando intenções e posições do interlocutor (ESTADOS UNIDOS, 2011).

Historicamente, a necessidade de coletar e interpretar comunicações adversárias é tão antiga quanto a própria comunicação. Desde mensageiros enviados a pé em tempos antigos até sinais de fumaça e tambores, sempre houve um esforço para interceptar e compreender as mensagens do inimigo. Com a invenção do telégrafo e, posteriormente, do rádio no final do século XIX e início do século XX, essa necessidade tornou-se ainda mais aparente. Durante as duas Guerras Mundiais, a decodificação das comunicações inimigas desempenhou papéis cruciais em várias operações, sendo talvez o exemplo mais famoso a decifração da máquina Enigma alemã por Alan Turing e sua equipe em Bletchley Park durante a Segunda Guerra Mundial (ESTADOS UNIDOS, 2011).

A era da digitalização e a revolução das tecnologias de comunicação no final do século XX e início do XXI trouxeram desafios e oportunidades adicionais para o campo da COMINT. As comunicações se tornaram mais complexas, com novos protocolos, criptografias avançadas e meios diversificados de transmissão. No entanto, os avanços tecnológicos também ofereceram ferramentas mais sofisticadas para a interceptação e análise dessas comunicações.

No contexto naval, a COMINT é uma ferramenta estratégica de suma importância. Dadas as vastas extensões oceânicas e a complexidade das operações marítimas, a capacidade de interceptar e interpretar comunicações pode ser crucial para a tomada de decisões. Seja detectando movimentos inimigos, compreendendo intenções

estratégicas ou antecipando ameaças, a COMINT oferece uma visão privilegiada do teatro naval (ESTADOS UNIDOS, 2016).

Portanto, a inteligência de comunicações, com sua rica história e sua vital importância, continua sendo um fator de relevância no planejamento e execução das operações navais contemporâneas (SOARES, 2022). Em um mundo cada vez mais digitalizado e interconectado, a COMINT naval representa uma combinação perfeita de tradição e inovação, garantindo que as forças navais estejam sempre informadas, preparadas e um passo à frente no cenário marítimo global.

2.2 Histórico e evolução da Inteligência de Comunicações no âmbito naval

A capacidade de coletar, processar e interpretar informações sempre foi essencial para a tomada de decisões no contexto militar e estratégico. Quando essas ações se voltam para o ambiente marítimo, essa capacidade é ainda mais complexa e desafiadora. A inteligência de comunicações no ambiente naval, sob a ampla abordagem da inteligência de sinais (SIGINT), retrata a dinâmica de coleta e análise de transmissões eletrônicas provenientes de embarcações, satélites, por vezes, estações costeiras.

De acordo com Oliveira (2002), a história das comunicações marítimas, antes da era da eletrônica, era predominantemente uma narrativa de sinais visuais e sonoros. Sinais de fumaça, bandeiras e disparos de canhão muitas vezes foram os precursores das comunicações de rádio modernas. Com a invenção e adoção do telégrafo e, posteriormente, do rádio no século XX, a marinha entrou em uma era de comunicação à distância, transformando as táticas navais.

No período entreguerras, tornou-se evidente que, enquanto a capacidade de comunicar-se a grandes distâncias era uma ferramenta tática vital, também apresentava vulnerabilidades. As transmissões poderiam ser interceptadas e, se as comunicações não fossem adequadamente codificadas, poderiam ser decifradas pelo inimigo. A Segunda Guerra Mundial exemplificou as enormes implicações da interceptação de comunicações. A máquina Enigma, usada pela Alemanha para codificar suas mensagens, tornou-se um dos pilares da comunicação estratégica do Eixo. Quando os Aliados conseguiram, em um esforço combinado de especialistas em matemática, linguística e engenharia, decifrar essa máquina, a inteligência obtida reorientou a guerra, em particular no Atlântico, onde submarinos alemães, antes invisíveis, se tornaram detectáveis (ESTADOS UNIDOS, 2021).

No rescaldo da Segunda Guerra, o mundo viu-se subitamente mergulhado na Guerra Fria. O equilíbrio de poder entre a União Soviética e os Estados Unidos trouxe um novo conjunto de desafios para a inteligência de comunicações no ambiente naval. Em um mundo bipolar, onde a informação poderia ser a diferença entre a paz e a guerra nuclear, a capacidade de interceptar, decodificar e analisar comunicações tornou-se ainda mais vital. Submarinos, especialmente aqueles dedicados à coleta de SIGINT, tornaram-se peças-chave no xadrez estratégico global. Esses submarinos, muitas vezes disfarçados de embarcações de pesquisa, foram equipados com tecnologia de ponta para detectar transmissões de rádio, sonar e outras formas de comunicação.

O famoso incidente do USS Pueblo, um navio-espião americano capturado pela Coreia do Norte em 1968, é um testemunho da intensidade e da importância dessa forma de espionagem (ESTADOS UNIDOS, 2011). Paralelamente, teorias da criptologia se desenvolveram rapidamente. A transição das comunicações analógicas para digitais, a expansão das redes de satélites e a computação avançada trouxeram consigo um conjunto mais complexo de desafios para a COMINT naval. A necessidade de ferramentas analíticas mais avançadas e a crescente importância dos algoritmos na decodificação de mensagens tornaram-se evidentes.

À medida que a era da Guerra Fria terminava e o mundo entrava em um período de relativa estabilidade geopolítica, a inteligência de comunicações naval continuou a evoluir. O cenário pós-Guerra Fria é marcado por ameaças assimétricas, com Estados-nação, grupos terroristas e outros atores não estatais participando em um jogo intrincado de informação e desinformação. No contexto marítimo, a proliferação de tecnologias de comunicação significa que até mesmo pequenas embarcações podem possuir sistemas de comunicação avançados, necessitando de uma COMINT naval sofisticada para detectar e analisar essas transmissões.

Como podemos analisar, a história da inteligência de comunicações naval é uma narrativa de evolução tecnológica e estratégica. Desde os primeiros sinais visuais até as comunicações digitais modernas, a capacidade de coletar e interpretar informações no ambiente marítimo sempre foi essencial. As mudanças tecnológicas e geopolíticas apenas reiteram a necessidade de continuar desenvolvendo e aprimorando essa capacidade, pois, em um mundo cada vez mais conectado, a informação continua a ser a moeda mais valiosa.

2.3 Métodos tradicionais e seus desafios no cenário contemporâneo

A história da Inteligência de Comunicações (COMINT) no ambiente naval é intrincada, estendendo-se através das eras e transformando-se à medida que a tecnologia e a

estratégia evoluíram. Durante grande parte do século XX, a COMINT naval se ancorou em um conjunto de métodos tradicionais, adaptando-se ocasionalmente a mudanças incrementais na tecnologia e nas táticas. No entanto, o cenário tecnológico do século XXI impôs desafios sem precedentes a esses métodos estabelecidos (ESTADOS UNIDOS, 2016).

Nos primórdios da COMINT naval, a interceptação de sinais analógicos era uma prática predominante. Estas comunicações baseavam-se em sistemas de rádio analógicos, com a interceptação sendo realizada através de receptores especializados. Estações de escuta estrategicamente localizadas em terra, bem como navios de superfície e submarinos dotados de antenas de alta sensibilidade, desempenhavam papéis cruciais neste processo. Uma vez interceptados, os sinais eram meticulosamente analisados em relação a aspectos como frequência, amplitude e modulação. Esta análise de frequência serviu como um pilar fundamental na estratégia COMINT, pois discernir a frequência de comunicação do adversário muitas vezes revelava informações cruciais sobre suas capacidades e intenções.

Além disso, códigos e cifras, concebidos para proteger as transmissões, eram frequentemente decifrados por equipes de criptógrafos treinados. Essa decodificação manual, embora exigente, era fundamental para a atividade de inteligência. Outro método tradicional significativo era a geolocalização por triangulação. Esta técnica envolvia a colaboração entre vários navios ou estações de escuta para determinar a origem de uma transmissão com base na direção de chegada do sinal.

De acordo com Brasil (2015), o cenário contemporâneo da COMINT naval é caracterizado por transformações tecnológicas profundas. A digitalização das comunicações, por exemplo, modificou substancialmente a paisagem da interceptação. Em comparação com os sistemas analógicos, as comunicações digitais tendem a ser mais compactas e densas em informações, tornando a tarefa de interceptação deveras mais complexa. A evolução da criptografia, impulsionada pelos avanços da computação moderna, levou ao desenvolvimento de algoritmos complexos e chaves de criptografia de alta complexidade, desafiando os métodos tradicionais de decifração.

Outra transformação significativa é a crescente dependência de satélites para comunicações de longo alcance. Tais transmissões, frequentemente operando em alta frequência, podem ser esquivas, especialmente quando originárias de satélites em órbitas mais altas. Além disso, o surgimento de veículos autônomos no domínio naval, desde drones aéreos a submarinos não tripulados, trouxe consigo sistemas de comunicação que são muitas vezes altamente automatizados. Estes sistemas apresentam desafios adicionais tanto para a interceptação quanto para a análise. A necessidade de integrar diferentes fontes de dados

devido à confluência da COMINT com outros ramos da inteligência também se tornou imperativa, requerendo uma infraestrutura tecnológica mais sofisticada (SOARES, 2022).

Em meio a esses avanços, os adversários, reconhecendo o imperativo da COMINT, desenvolveram suas próprias técnicas de contrainteligência. Estas técnicas, como a agilidade de frequência ou comunicações de baixa probabilidade de interceptação, são projetadas para evadir a detecção, desafiando ainda mais as operações COMINT.

3 RÁDIO DEFINIDO POR *SOFTWARE*

A tecnologia SDR é uma solução adaptável e preparada para o futuro das redes wireless que visa substituir o hardware convencional pela construção de um sistema rádio de arquitetura aberta baseado em software que é reconfigurável e reprogramável. (SRUTHI, 2013, p. 852, tradução nossa).

De acordo com Sruthi (2013), o Rádio Definido por Software (RDS), ou em inglês Software Defined Radio (SDR), refere-se a um sistema de comunicação onde componentes que tradicionalmente eram implementados em hardware (como mixers, filtros, amplificadores, moduladores/demoduladores) são agora implementados por meio de software em um computador ou um hardware dedicado. Esta flexibilidade permite que um único dispositivo físico execute várias formas de modulação, operando em diferentes frequências e padrões de comunicação.

O RDS proporciona uma adaptabilidade sem precedentes, permitindo que operadores mudem de protocolos de comunicação, frequências e padrões com simples atualizações de software, sem a necessidade de trocar ou modificar o hardware. Tal capacidade tem revolucionado áreas como a comunicação móvel, a defesa e a inteligência de sinais, dada a facilidade de adaptação e a versatilidade que os dispositivos RDS oferecem (MACHADO-FERNÁNDEZ, 2019).

3.1. Introdução ao RDS e suas capacidades

A inteligência de comunicações, ao longo dos anos, tem se adaptado às mudanças tecnológicas para garantir eficácia nas operações, sobretudo no ambiente naval. Uma das inovações mais significativas na arena de comunicações nos últimos tempos é o Rádio Definido por Software (RDS). A integração do RDS no contexto naval não apenas tem potencial para superar os desafios impostos pelo ambiente marítimo e pelas táticas de evasão adversárias, mas também abre um vasto leque de capacidades inovadoras, colocando-o como um ator central na potencialização das ações de patrulha naval.

Para entender plenamente o impacto do RDS, é essencial primeiramente analisarmos sua definição e princípios. Em sua essência, o RDS é uma forma de arquitetura de rádio onde grande parte das funcionalidades que eram anteriormente implementadas em hardware (como moduladores, demoduladores e filtros) são agora implementadas via software. Este conceito, embora simples em sua apresentação, representa uma profunda reconfiguração do tradicional *modus operandi* da tecnologia de rádio (SRUTHI, 2013).

O RDS opera em uma plataforma de hardware genérica – usualmente uma combinação de processadores digitais de sinais, processadores gerais e interfaces de rádio – com um software responsável por definir suas funções. Esta arquitetura oferece uma flexibilidade sem precedentes. Ao contrário dos sistemas de rádio tradicionais, que são frequentemente desenhados para um propósito específico e são rígidos em sua função, um sistema RDS pode ser reprogramado para desempenhar diferentes tarefas, adaptando-se dinamicamente às necessidades.

De acordo com Lombelo (2020), esta flexibilidade se traduz em uma série de capacidades. Em primeiro lugar, o RDS é intrinsecamente compatível com múltiplos padrões de comunicação. Isso significa que um único dispositivo RDS pode se comunicar através de diferentes protocolos e padrões, simplesmente alternando entre diferentes programas ou "configurações". No contexto naval, isso pode permitir uma interoperabilidade melhorada entre diferentes entidades, sejam elas diferentes ramos das forças armadas, aliados internacionais ou até mesmo entidades civis.

Além da interoperabilidade, o RDS permite uma exploração mais eficaz do espectro eletromagnético. A capacidade de alterar rapidamente as características de transmissão e recepção torna o RDS uma ferramenta valiosa para identificar e explorar faixas de frequência subutilizadas ou para evitar faixas congestionadas. Em cenários de patrulha naval, isso pode se traduzir em uma capacidade melhorada para manter comunicações robustas em ambientes contestados ou congestionados.

Um terceiro ponto de destaque é a capacidade do RDS de implementar algoritmos avançados de processamento de sinais. Em situações em que a detecção e decodificação de sinais adversários são críticas, como em operações de Inteligência de Comunicações, o RDS pode ser programado para implementar algoritmos de última geração, permitindo uma análise mais rápida e precisa dos sinais interceptados.

Mas, para além de suas capacidades intrínsecas, o RDS representa uma reconfiguração mais ampla da ecologia da comunicação naval. Tradicionalmente, a evolução e modernização de sistemas de rádio requeriam uma substituição de hardware, muitas vezes dispendiosa e demorada. Com o RDS, a atualização pode ser realizada através da reprogramação, permitindo uma adaptação mais rápida às novas ameaças e desafios.

Conforme Laufer (2017), o Rádio Definido por Software emerge como uma tecnologia revolucionária com potencial para transformar profundamente a maneira como a patrulha naval e as operações de inteligência são conduzidas. Sua flexibilidade, capacidade de adaptação e profundo alinhamento com os desafios do cenário moderno o posicionam como uma ferramenta essencial na busca pela eficácia operacional no mar.

3.2. Evolução do RDS e suas vantagens sobre os sistemas tradicionais

O desenvolvimento das comunicações via rádio foi um dos marcos mais significativos do século XX. Desde as experiências pioneiras de Marconi até os sofisticados sistemas de hoje, a comunicação por ondas de rádio tem sido vital para a progressão de diversas áreas, incluindo a defesa naval. Neste contexto, o Rádio Definido por Software (RDS) emerge como uma revolução tecnológica, que refina e amplifica o potencial de comunicação e monitoramento em cenários marítimos.

Historicamente, as primeiras décadas do rádio foram dominadas por aparelhos analógicos com funções fixas, determinadas por seu hardware interno. Cada alteração de frequência, modulação ou protocolo exigia uma reconfiguração física ou até mesmo um dispositivo diferente.

Esta realidade começou a mudar com os avanços em microprocessadores e capacidades de programação na segunda metade do século XX. A ideia fundamental era substituir as funções tradicionalmente desempenhadas pelo hardware do rádio, como modulação e filtragem, por software. Em vez de uma mudança física, os operadores poderiam reprogramar o rádio para se adequar a diferentes necessidades e padrões.

Segundo Soares (2022), ao considerarmos o contexto naval, a urgência por sistemas de rádio mais versáteis torna-se evidente. Operações navais, frequentemente, demandam adaptações rápidas a cenários variados e a capacidade de se comunicar com diferentes entidades, sejam elas aliadas ou potencialmente hostis. Assim, a necessidade de um sistema de rádio que possa ser rapidamente adaptado a diferentes protocolos e frequências é de extrema relevância.

Uma das principais vantagens do RDS é sua flexibilidade. Em operações navais, esta característica permite que embarcações ajustem suas comunicações de acordo com as especificidades de uma missão. Por exemplo, um navio de patrulha pode precisar alternar entre comunicações de alta frequência para longas distâncias e comunicações de banda ultralarga para transmissões de dados de alta velocidade. Com o RDS, estas transições podem ser feitas sem a necessidade de múltiplos dispositivos de rádio, mas sim com a reprogramação do *software*.

Do ponto de vista econômico, a capacidade de atualizar e ampliar as capacidades de um rádio apenas por meio de atualizações de software representa uma economia substancial. Reduz-se a necessidade de investimentos frequentes em novo hardware, além de minimizar os custos de manutenção e treinamento (LAUFER, 2017).

A interoperabilidade é outra vantagem fundamental do RDS, especialmente quando se considera a complexidade das operações navais modernas, que frequentemente envolvem forças multinacionais. Em exercícios ou operações conjuntas, a capacidade de se comunicar eficientemente entre diferentes forças armadas é crucial. Tradicionalmente, essa comunicação poderia ser prejudicada por diferenças nos equipamentos de rádio e nos protocolos utilizados. Com o RDS, essa barreira é significativamente reduzida, já que o rádio pode ser programado para se adaptar a diferentes padrões.

De acordo com Laufer (2017), a crescente demanda por espectro de rádio, especialmente com o advento de tecnologias como 5G, torna a gestão eficiente do espectro mais crítica do que nunca. Aqui, o RDS também demonstra sua superioridade. Em ambientes de espectro congestionado, o RDS pode ser adaptado em tempo real para operar nas frequências mais claras, otimizando a qualidade da comunicação.

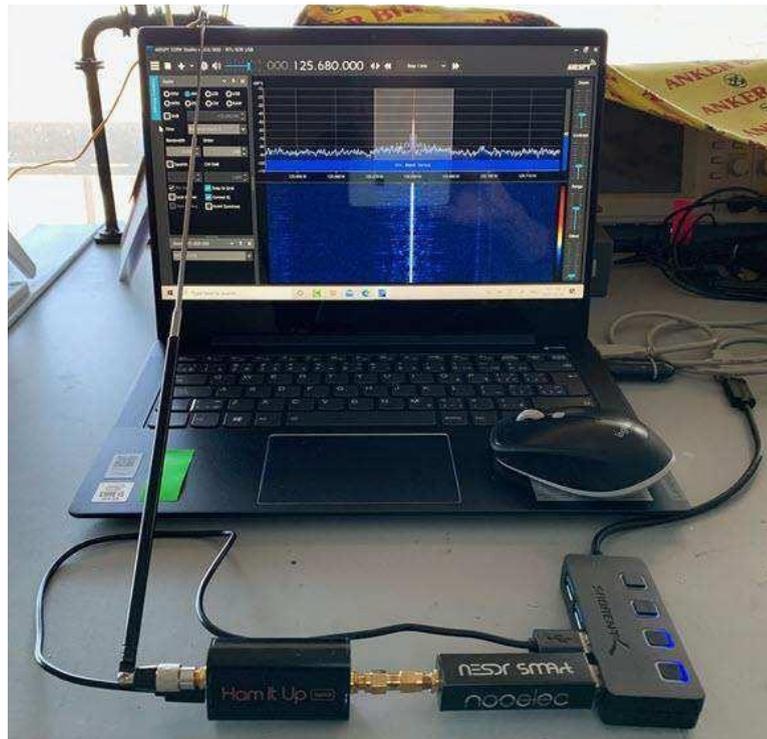
Finalmente, no mundo moderno, a segurança das comunicações tornou-se uma preocupação premente. A capacidade de implementar, via software, algoritmos de criptografia avançada e técnicas de proteção oferece uma camada adicional de segurança, essencial em operações navais, onde a integridade da comunicação é muitas vezes uma questão de vida ou morte.

Segundo Sruthi (2013), o RDS representa um avanço tecnológico de imensa importância no campo das comunicações. Suas vantagens em relação aos sistemas tradicionais são notáveis, especialmente no âmbito naval, onde a adaptabilidade, eficiência e segurança são cruciais. Com a evolução contínua dessa tecnologia, espera-se que o RDS continue a desempenhar um papel cada vez mais central nas operações navais do futuro.

3.3. O equipamento RTL-SDR

Na revolução contínua das tecnologias de rádio, o RTL-SDR surgiu como uma peça fundamental para a compreensão e exploração do espectro de rádio. Originalmente concebido como um dispositivo simples para a recepção de sinais de televisão digital terrestre (DVB-T), ele logo revelou seu potencial multifacetado quando entusiastas da comunidade de rádio descobriram sua capacidade de funcionar como um receptor de rádio de amplo espectro. Na Figura 1 pode-se observar um equipamento RTL-SDR instalado e configurado em um computador pessoal do tipo laptop.

Figura 1: Equipamento RTL-SDR



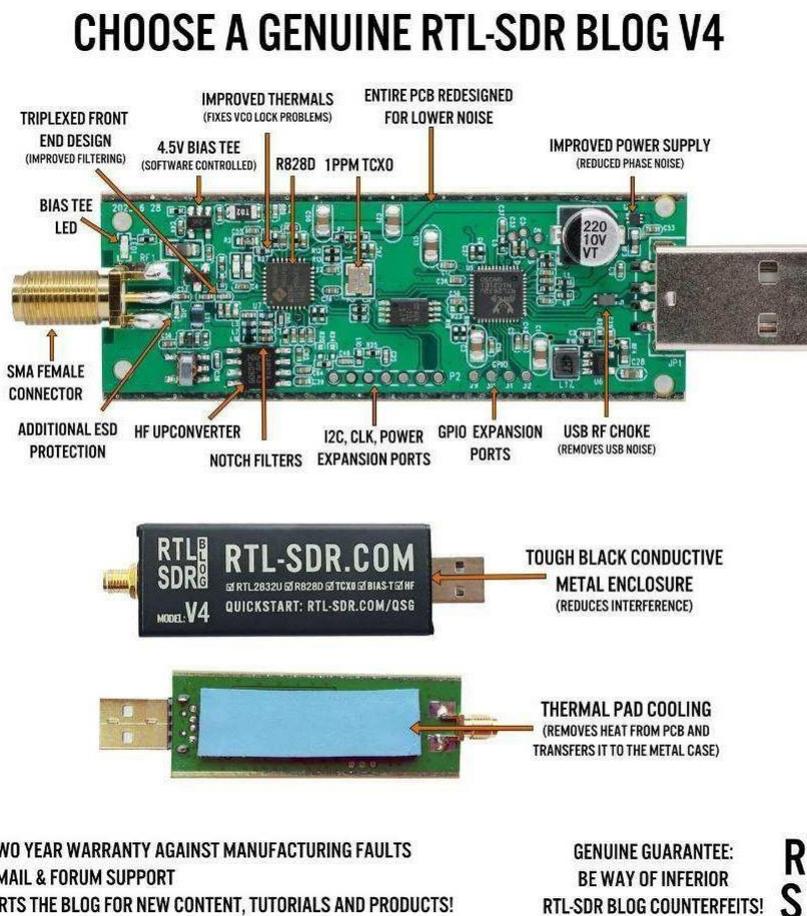
Fonte: Clark, 2020¹

¹ CLARK, Jeremy. Telecommunications, Navigation & Electronics. Disponível em: <<https://jeremyclark.ca/wp/telecom/rtl-sdr-for-am-on-gnu-radio/>>. Acesso em: 12 out. 2023.

O núcleo do RTL-SDR é seu chipset, muitas vezes baseado no RTL2832U. Este componente, em sua essência, desempenha a função de um conversor analógico-digital (ADC). Ele recebe os sinais analógicos captados do ambiente e os transforma em informação digital. Esse processo de digitalização é vital para a capacidade do dispositivo de interpretar e representar graficamente o espectro de rádio em software especializado.

Ao realizar essa conversão, a complexidade e amplitude dos sinais de rádio tornam-se mais acessíveis, permitindo uma ampla gama de análises e aplicações. Na Figura 2 está exposta uma visão dos componentes internos do RTL-SDR modelo V4, um equipamento que custa 40 dólares americanos e pode ser facilmente adquirido por um vasto público, de radioamadores a forças de segurança (LAUFER, 2017).

Figura 2: RTL-SDR modelo V4



Fonte: RTL-SDR.com²

² RTL-SDR.com. Rtl-Sdr Blog V4 Dongle Initial Release. Disponível em: < <https://www.rtl-sdr.com/tag/rtl-sdr-blog/>>. Acesso em: 12 out. 2023.

Uma característica técnica marcante do RTL-SDR é a técnica de amostragem direta. Em vez de se basear em conversões de frequência complexas e múltiplas etapas de processamento, a amostragem direta permite que o dispositivo capture diretamente os sinais de frequência intermediária (IF) ou de frequência de rádio (RF). Em termos práticos, isso proporciona uma representação mais direta e imediata do ambiente de rádio, tornando o RTL-SDR uma ferramenta extremamente reativa e sensível (LOMBELO, 2020).

A aplicabilidade dessa sensibilidade é mais profundamente compreendida quando olhamos para o domínio da Inteligência de Comunicações naval. A capacidade de detectar, monitorar e analisar um espectro vasto e variado de frequências é inestimável. Seja rastreando uma embarcação suspeita, interceptando comunicações potencialmente hostis ou decodificando transmissões não identificadas, a versatilidade do RTL-SDR é uma ferramenta de valor inestimável para qualquer equipe de inteligência (SOARES, 2022).

Acompanhando o hardware do RTL-SDR está uma suíte de software altamente adaptável. Ao ser pareado com programas específicos, o RTL-SDR pode ser transformado de acordo com a necessidade do operador. Ele pode se tornar um scanner de rádio robusto, capaz de peneirar dezenas de frequências em questão de segundos, ou um receptor ADS-B, que pode rastrear aeronaves em tempo real ao decodificar seus sinais de transponder. A adaptabilidade do dispositivo é o seu principal potencial (LAUFER, 2017).

No entanto, enquanto as capacidades técnicas do RTL-SDR são impressionantes, o que realmente amplia sua eficácia é a escolha da antena. Uma antena bem escolhida, ajustada para as frequências de interesse, pode drasticamente melhorar a sensibilidade e seletividade do dispositivo. Em áreas onde os sinais são fracos ou estão enterrados em ruído, uma antena de alta qualidade pode fazer a diferença entre detectar uma transmissão vital ou perder completamente.

Especificamente, dentro da faixa de frequência que o RTL-SDR pode cobrir, que se estende de 24 MHz a 1.7 GHz, a escolha da antena torna-se ainda mais crucial. Essa faixa abrange uma variedade de aplicações, desde a transmissão de rádio FM até satélites de comunicação em órbita, passando por sinais marítimos e meteorológicos (LAUFER, 2017). Com a antena certa, o RTL-SDR pode ser afinado para focar em qualquer um desses domínios, proporcionando uma visão clara e detalhada das transmissões em andamento.

Conforme o exposto acima, o RTL-SDR, em sua simplicidade, representa um marco na revolução do rádio definido por software. Ele oferece uma janela para o espectro eletromagnético como poucos dispositivos conseguem. Em mãos treinadas, especialmente dentro do contexto da Inteligência de Comunicações naval, pode tornar-se uma ferramenta

poderosa, transformando ondas de rádio em inteligência acionável, dando aos operadores uma vantagem decisiva em ambientes cada vez mais complexos e saturados (SOARES, 2022).

4 APLICAÇÕES DO RTL-SDR NA COMINT

A crescente complexidade do cenário global tem exigido das forças navais e fluviais uma abordagem mais tecnológica e sofisticada para combater atividades ilícitas, como tráfico de drogas, pesca ilegal e pirataria. Nestas circunstâncias, o RTL-SDR emerge como uma ferramenta revolucionária, com grande potencial para auxiliar nas operações de repressão às atividades ilegais, tanto em alto-mar quanto nos intrincados rios da Bacia Amazônica.

O monitoramento dos canais de comunicação é fundamental para entender os padrões de comportamento e operações dos agentes ilegais (LOMBELO, 2020). Utilizando o RTL-SDR para essa finalidade, as forças de segurança podem interceptar, em tempo real, comunicações entre os envolvidos nessas atividades. Em um ambiente marítimo, onde as distâncias são vastas e os meios de comunicação limitados, o rádio ainda é um meio predominante para tais agentes. A capacidade de monitorar essas comunicações fornece informações valiosas sobre as operações ilegais, incluindo rotas de tráfico, pontos de encontro e transações.

No ambiente amazônico, a situação torna-se ainda mais complexa. Os rios da Amazônia são labirintos naturais, com múltiplas rotas de navegação, tornando a vigilância convencional um desafio. Entender a comunicação entre os criminosos ajuda as autoridades a preverem e anteciparem movimentos, planejando operações de repressão e fiscalização mais eficazes.

Após a interceptação dessas comunicações, a gravação e o armazenamento adequado dessas informações são cruciais. O RTL-SDR, com sua capacidade de digitalizar e armazenar dados, permite que as autoridades criem um banco de dados de inteligência robusto. Essas informações, quando analisadas em conjunto com outros dados, podem revelar padrões, identificar líderes de grupos criminosos, estabelecer conexões entre diferentes entidades e fornecer uma visão geral das operações ilícitas. Este acervo pode ser consultado posteriormente, ajudando na tomada de decisões estratégicas, identificação de alvos prioritários e construção de um panorama mais claro sobre a natureza da ameaça (NAYAK, 2019).

Segundo Reddy et al (2016), a capacidade de geolocalização do RTL-SDR talvez seja uma das suas características mais valiosas. Ao determinar a origem das emissões de

rádio, as forças de segurança podem rastrear a localização de embarcações suspeitas em tempo real. No vasto oceano, isso ajuda a focar os recursos de patrulha, direcionando-os para áreas onde a atividade suspeita é mais provável. Na Amazônia, onde a geografia é desafiadora e as embarcações podem se esconder facilmente, a geolocalização pode ser a diferença entre interceptar um carregamento de drogas ou perdê-lo na vastidão amazônica.

Ao integrar essas capacidades - monitoramento, armazenamento de informações e geolocalização - as forças navais e fluviais têm em mãos uma ferramenta poderosa para planejar e executar operações de repressão. Em vez de patrulhas aleatórias, podem realizar operações focadas, com base em informações de inteligência confiáveis, maximizando a eficácia de suas intervenções. Estas tarefas estão detalhadas nos subtópicos a seguir.

4.1 Monitoramento dos canais de comunicação

A digitalização e o avanço da tecnologia de rádio têm proporcionado inovações que reformulam o cenário das comunicações e do monitoramento de frequências. O RTL-SDR, um dispositivo econômico inicialmente desenvolvido para a recepção de transmissões de televisão, emergiu como uma ferramenta essencial no domínio da inteligência de comunicações. No contexto do monitoramento de canais de rádio marítimo, seu emprego representa um avanço considerável na luta contra atividades ilícitas, como pesca ilegal, pirataria e tráfico de drogas.

A vastidão dos oceanos e a complexidade de suas rotas marítimas tornam a patrulha e o monitoramento uma tarefa desafiadora. As atividades ilegais se aproveitam dessa vastidão para operar nas sombras, evitando a detecção e maximizando seus lucros ilícitos. As comunicações são vitais para tais operações, e é aqui que o RTL-SDR se mostra uma ferramenta estratégica.

A capacidade do RTL-SDR de operar em uma ampla gama de frequências, de 24 MHz a 1.7 GHz, abrange várias faixas de comunicação marítima. Essas frequências, quando devidamente monitoradas, podem revelar uma riqueza de informações, desde coordenadas de pontos de encontro para transferências ilegais até detalhes sobre rotas e cargas (SOARES, 2022). Interceptando e decodificando essas transmissões, as autoridades podem obter informações cruciais, que são fundamentais para a prevenção, interceptação e repressão dessas atividades ilícitas.

No contexto da pesca ilegal, por exemplo, a comunicação via rádio é frequentemente utilizada para coordenar atividades entre embarcações e para informar sobre a

presença de autoridades ou patrulhas. O RTL-SDR, ao monitorar essas comunicações, pode ajudar as autoridades a rastream embarcações suspeitas, determinar suas áreas de operação e até mesmo identificar rotas de fuga, permitindo uma resposta mais rápida e efetiva.

Quando se trata de pirataria, a prevenção é a chave. Os piratas muitas vezes se comunicam entre si e com embarcações "mãe" para coordenar ataques. Ao monitorar ativamente as frequências de rádio marítimo com o RTL-SDR, é possível obter um entendimento mais claro dos movimentos e táticas dos piratas, permitindo que as autoridades antecipem e previnam potenciais ameaças.

O tráfico de drogas, por sua vez, depende fortemente da clandestinidade. As rotas são frequentemente alteradas e as comunicações são vitais para a coordenação entre navios de abastecimento, navios-mãe e pequenas embarcações que transportam as drogas para a costa. Monitorar essas comunicações pode revelar não apenas a localização dessas operações, mas também informações sobre a cadeia de comando e a estrutura organizacional dos traficantes.

A adaptabilidade do RTL-SDR é outro ponto forte, especialmente quando combinado com softwares especializados. Estes permitem a visualização em tempo real do espectro de rádio, identificação de sinais suspeitos e até mesmo a decodificação de transmissões específicas. Em áreas de alta densidade de tráfego marítimo, essa capacidade de sintonizar e analisar múltiplas frequências simultaneamente é inestimável (LOMBELO, 2020).

No entanto, é crucial observar que, para maximizar a eficácia do RTL-SDR, a escolha e a configuração correta da antena são essenciais. Em um ambiente marítimo, onde as condições podem variar drasticamente, uma antena bem ajustada pode ser a diferença entre interceptar uma comunicação vital ou perder uma oportunidade.

Conforme o trabalho de Soares (2022), o RTL-SDR, com sua versatilidade e capacidade de monitoramento de amplo espectro, representa uma ferramenta inestimável no combate às atividades ilegais no ambiente marítimo. Seja ajudando a rastrear embarcações envolvidas em pesca ilegal, prevenindo atos de pirataria ou desmantelando operações de tráfico de drogas, a contribuição dessa tecnologia para as ações de patrulha naval se reveste de valor estratégico considerável.

4.2 Gravação e armazenamento de informações para inserção nos bancos de dados de inteligência

Em uma era de comunicações digitais e capacidades avançadas de coleta de dados, as ferramentas disponíveis para as forças de segurança e defesa tornaram-se essenciais para combater atividades ilícitas nos mares e oceanos, como a pirataria, pesca ilegal e tráfico de drogas. Uma dessas ferramentas, o RTL-SDR, tem se destacado não apenas pela sua capacidade de interceptação de sinais, mas também pelo potencial em gravar, armazenar e disponibilizar informações cruciais para bancos de dados de inteligência (LOMBELO, 2020).

A capacidade de gravar transmissões em tempo real, especialmente em áreas de alto risco ou de interesse, é uma característica vital do RTL-SDR. Tradicionalmente, os dispositivos de escuta tinham como principal objetivo a interceptação em tempo real, com pouco foco no registro de longo prazo. No entanto, com o avanço da tecnologia e o surgimento de ameaças mais sofisticadas, tornou-se evidente a necessidade de manter registros de comunicações, que poderiam ser analisados retrospectivamente ou usados como evidências.

O RTL-SDR, quando equipado com software apropriado, pode gravar um espectro inteiro ou focar em frequências específicas, capturando comunicações e metadados associados. Estas gravações podem ser vitais para entender padrões de comunicação, identificar membros-chave de redes ilegais ou mesmo decifrar códigos e linguagens específicos. Em operações de longa duração, esta capacidade de revisitar comunicações anteriores pode ser a chave para descobrir detalhes antes ignorados ou incompreendidos.

O armazenamento dessas informações apresenta um desafio adicional. Dada a quantidade substancial de dados que um dispositivo como o RTL-SDR pode gerar, soluções robustas de armazenamento e gerenciamento são cruciais. A implementação de sistemas de armazenamento em nuvem, bem como soluções locais de alta capacidade, permite que as autoridades marítimas mantenham registros detalhados sem comprometer a integridade ou a segurança dos dados. É imperativo que esses dados sejam protegidos, garantindo não apenas sua integridade, mas também evitando que informações sensíveis caiam em mãos erradas.

Além do armazenamento, a capacidade de consultar e analisar esses dados de forma eficiente é de suma importância. Integrar as gravações do RTL-SDR em bancos de dados de inteligência permite que analistas e operadores acessem informações em tempo real, combinem-nas com outros conjuntos de dados e desenvolvam uma compreensão mais clara das ameaças e dos operadores ilegais (GAMANETO, 2017).

Por exemplo, uma gravação interceptada de um navio suspeito de pesca ilegal pode ser combinada com imagens de satélite, relatórios de patrulha e dados históricos para criar um perfil completo da embarcação, de sua tripulação e de suas operações. Da mesma

forma, comunicações consistentemente interceptadas em uma determinada área podem indicar rotas de tráfico de drogas, permitindo que as autoridades tomem medidas proativas.

No combate à pirataria, a capacidade de identificar vozes, codinomes e padrões de comunicação pode fornecer informações cruciais para localizar e neutralizar grupos piratas. As gravações do RTL-SDR podem ser usadas para criar "impressões de voz", que podem ser comparadas com bancos de dados de inteligência, identificando indivíduos-chave e construindo uma hierarquia das operações piratas.

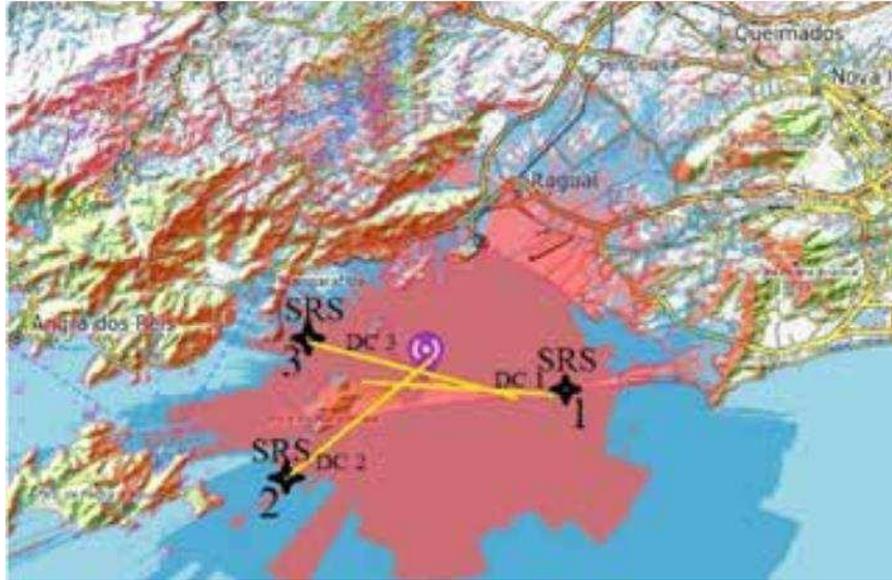
Entretanto, enquanto o RTL-SDR oferece uma série de capacidades avançadas, é crucial lembrar que ele é apenas uma ferramenta dentro de um ecossistema mais amplo de inteligência e monitoramento. A combinação de suas capacidades com outras tecnologias e métodos de coleta de informações garantirá uma abordagem holística e eficaz para combater atividades ilegais nos mares. Conforme o exposto anteriormente, podemos inferir que o RTL-SDR desempenha um papel significativo na modernização das operações de inteligência naval. A capacidade de gravar, armazenar e consultar informações não apenas fortalece as capacidades de monitoramento, mas também enriquece os bancos de dados de inteligência, tornando as forças marítimas mais preparadas e informadas para enfrentar e prevenir atividades ilegais.

4.3 Geolocalização das fontes emissoras

A capacidade de identificar e localizar fontes emissoras de sinais de rádio é fundamental para ações de inteligência de comunicações (LOMBELO, 2020), especialmente quando se trata de combater atividades ilegais em ambientes marítimos, como a pirataria, a pesca ilegal e o tráfico de drogas.

O RTL-SDR, além de ser uma ferramenta de recepção de sinais de baixo custo e alto rendimento, tem potencial para ser utilizado em tarefas de geolocalização, ampliando sua relevância no contexto da segurança marítima. A Figura 3 ilustra o resultado de uma simulação de geolocalização, com o software Radio Mobile (VE2DBE), utilizando 3 estações receptoras (SRS 1, 2 e 3) e uma fonte transmissora com potência de 50W e frequência de 52 MHz na região da Restinga da Marambaia, localizada no Estado do Rio Janeiro.

Figura 3: Simulação de geolocalização



Fonte: Satlher, 2021³

A geolocalização, em termos de inteligência de sinais, refere-se à determinação da origem física de um sinal de rádio. Com o RTL-SDR, essa tarefa torna-se viável, especialmente quando empregada em conjunto com técnicas específicas de análise. Alguns dos principais métodos que são aplicados no contexto do RTL-SDR incluem triangulação, análise de tempo de chegada (*Time Difference of Arrival* – TDOA) e análise de intensidade de sinal (REDDY et al, 2016).

A triangulação envolve o uso de múltiplos receptores RTL-SDR posicionados em diferentes localidades (REDDY et al, 2016). Ao medir a diferença na hora de chegada de um sinal específico a cada receptor, é possível calcular o ponto de origem do sinal. Essa técnica é especialmente útil em ambientes marítimos, onde a disposição dos receptores pode ser estrategicamente posicionada, seja em diferentes embarcações ou em combinação com estações terrestres, para maximizar a cobertura e a precisão.

A técnica de análise de tempo de chegada (TDOA) é similar à triangulação, mas enfatiza mais na medição exata do tempo em que o sinal chega a diferentes receptores. Com precisão de cronometragem e algoritmos sofisticados, o TDOA pode localizar fontes emissoras com uma precisão notável (PANORADIO, 2017), tornando-o um método valioso para rastrear embarcações suspeitas em vastas extensões oceânicas.

³ SATHLER, Willian. Aplicação de software de predição de área de cobertura de sinais de radiofrequência em VHF no apoio ao planejamento da guerra eletrônica em operações do Corpo de Fuzileiros Navais da Marinha do Brasil. Disponível em: <<https://portaldeperiodicos.marinha.mil.br/index.php/ancorasefuzis/article/view/2261>>. Acesso em: 11 out. 2023.

Já a análise de intensidade de sinal se baseia na premissa de que a força de um sinal de rádio diminui com a distância. Com base na intensidade do sinal recebido e no conhecimento prévio das características de transmissão do sinal, é possível estimar a distância até a fonte emissora. Embora essa técnica possa não ter a precisão de outras abordagens, ela pode oferecer informações valiosas, especialmente quando combinada com outras técnicas.

No contexto da segurança marítima, a capacidade de localizar fontes emissoras de rádio tem implicações profundas. Por exemplo, uma embarcação envolvida em pesca ilegal pode tentar comunicar-se com outras embarcações ou com agentes em terra. Ao geolocalizar essas comunicações, as autoridades podem identificar, rastrear e interceptar a embarcação em questão, antes mesmo dela realizar ou concluir atividades ilícitas.

No combate ao tráfico de drogas, a geolocalização de comunicações pode revelar rotas de tráfico, pontos de transferência e identificar navios-tanque. Em cenários de pirataria, localizar fontes emissoras permite que as forças de segurança antecipem ameaças, posicionando-se estrategicamente para enfrentar ou dissuadir piratas.

No entanto, é crucial compreender que a geolocalização via RTL-SDR não está isenta de desafios. Os mares apresentam variáveis, como salinidade e temperatura, que podem afetar a propagação de sinais. Além disso, atores mal-intencionados podem empregar técnicas para mascarar ou distorcer suas emissões, buscando confundir ou desviar esforços de localização.

Apesar desses desafios, o potencial do RTL-SDR na geolocalização em segurança marítima é inegável, ao ser empregado por um conjunto de embarcações. Quando integrado a uma estratégia abrangente de inteligência de comunicações, essa ferramenta pode significar a diferença entre detectar uma ameaça em tempo hábil ou ser pego de surpresa. Em um ambiente tão vasto e imprevisível quanto os oceanos, qualquer vantagem tecnológica é não apenas benéfica, mas muitas vezes essencial para garantir a segurança e a integridade das operações marítimas.

5 BENEFÍCIOS E LIMITAÇÕES DO RTL-SDR NA INTELIGÊNCIA DE COMUNICAÇÕES

O cenário contemporâneo de comunicações tem sido palco de rápidas e impressionantes evoluções tecnológicas. O RTL-SDR destacou-se como uma ferramenta particularmente influente na esfera da Inteligência de Comunicações. Dada sua relevância crescente, é imperativo dissecar

seus benefícios e limitações, lançando luz sobre as promessas e desafios desta inovadora ferramenta de análise do espectro eletromagnético.

5.1 Benefícios do RTL-SDR aplicado na COMINT

A acessibilidade econômica do RTL-SDR se posiciona como um dos seus mais expressivos benefícios. Comparando-o a outros dispositivos de monitoramento e análise de espectro, torna-se evidente a disparidade de valores. Equipamentos tradicionais tendem a ser proibitivamente caros, especialmente para entidades com orçamentos mais enxutos. A capacidade do RTL-SDR de oferecer, a um custo reduzido, uma janela para o mundo da análise de sinais é notável. Esta acessibilidade permitiu que uma gama mais ampla de usuários explorasse o domínio das comunicações de rádio, expandindo o alcance e aplicabilidade da COMINT.

A flexibilidade inerente ao design baseado em software do RTL-SDR amplia ainda mais seu valor. O paradigma tradicional de hardware para tarefas específicas foi desafiado pelo surgimento do RDS. Com o software adequado, o RTL-SDR pode ser transformado e adaptado para uma variedade de tarefas, desde interceptações simples a operações mais complexas, como geolocalização de fontes emissoras. Esta flexibilidade permite que as agências de inteligência e pesquisadores ajustem suas abordagens em tempo real, adaptando-se a um ambiente de ameaças em constante evolução (LOMBELO, 2020).

Por ser uma ferramenta popular, o RTL-SDR é apoiado por uma comunidade ativa e entusiasmada. Esta comunidade global de desenvolvedores, entusiastas e profissionais contribui com uma infinidade de softwares e técnicas. O resultado é um ecossistema vibrante de inovação, no qual novos desafios encontram soluções em tempo recorde (LAUFER, 2017). Além disso, sua natureza compacta e discreta permite que seja usado em operações onde a sutileza é primordial. Em contrapartida, a integração fluida do RTL-SDR com outras tecnologias permite a criação de sistemas mais robustos, combinando antenas, amplificadores e sistemas computacionais avançados.

Porém, como qualquer ferramenta, o RTL-SDR não está isento de limitações. Uma de suas restrições mais notáveis é sua largura de banda relativamente estreita (LAUFER, 2017). Em situações em que o monitoramento simultâneo de múltiplas frequências é necessário, essa limitação pode ser um obstáculo, o que pode ser contornado ao utilizar estações de RTL-SDR operando em conjunto. Além disso, embora o RTL-SDR seja competente em muitos cenários, ele não possui a sensibilidade e a seletividade de dispositivos

de alta gama. Em ambientes altamente congestionados (como em locais próximos a portos) ou quando se tenta capturar sinais particularmente fracos, essa lacuna técnica torna-se mais aparente, o que pode ser mitigado com antenas mais capazes.

A questão da durabilidade também surge como um ponto de atenção. Originalmente concebido para uso doméstico, o RTL-SDR não foi projetado para resistir às adversidades de ambientes operacionais hostis. Portanto, o uso em tais condições exigiria adaptações ou encapsulamentos específicos para proteger o dispositivo. Em relação à segurança, a natureza aberta do software associado pode representar um risco. Garantir a integridade e a segurança das comunicações é crucial, e o RTL-SDR pode ser uma porta potencial para ameaças cibernéticas (GAMANETO, 2017).

Além disso, questões de calibração e precisão surgem frequentemente quando se discute o RTL-SDR em contextos profissionais. Equipamentos dedicados e especializados são rigorosamente calibrados para oferecer resultados precisos e consistentes. Por outro lado, o RTL-SDR pode exigir calibrações frequentes, e ainda assim, pode não atingir o nível de precisão de dispositivos mais sofisticados.

Conclui-se que o RTL-SDR, com seus benefícios e limitações, é uma ferramenta intrigante na paisagem da Inteligência de Comunicações. Suas vantagens, especialmente em termos de custo e flexibilidade, são impressionantes. Porém, é essencial reconhecer e mitigar suas limitações para utilizá-lo de forma otimizada. Enquanto sua ascensão na IC é justificada, um entendimento holístico de suas capacidades e desafios é crucial para navegar com eficácia no complexo mundo das comunicações modernas.

5.2 Desafios e Considerações para a Implementação Bem-sucedida em Navios

A integração de tecnologia em plataformas marítimas tem um papel fundamental na modernização das forças navais, em especial para combater atividades ilícitas como tráfico de drogas, pirataria e pesca ilegal. Dentre as ferramentas tecnológicas disponíveis, o RTL-SDR (Receptor Definido por Software) surgiu como um dispositivo econômico e versátil, capaz de realizar a análise do espectro eletromagnético e contribuir para operações de Inteligência de Comunicações. No entanto, enquanto o RTL-SDR oferece múltiplas vantagens, sua implementação a bordo de navios apresenta um conjunto de desafios que merecem uma consideração cuidadosa para ser usado com o nível de segurança e tecnologia adequado para atuar de forma eficiente contra essas atividades ilegais.

5.2.1. Desafios dos Ambientes Marítimo e Amazônico

O ambiente marítimo é singular, apresentando desafios inerentes que influenciam significativamente a operacionalização e eficácia de tecnologias avançadas, como o RTL-SDR, especialmente quando a tarefa é o monitoramento e combate a atividades ilegais. Este cenário não apenas exige precisão técnica, mas também uma profunda compreensão das adversidades que o vasto oceano e suas variáveis impõem aos sistemas de comunicação e inteligência.

As vastas extensões de água salgada têm implicações claras sobre a propagação de sinais eletromagnéticos. A água do mar, rica em sais minerais, possui uma elevada condutividade elétrica, que pode atenuar e distorcer os sinais de rádio. Isto é agravado quando a frequência do sinal é mais baixa, resultando em uma atenuação significativa do sinal em ambientes salinos. Por isso, a escolha da frequência é determinante para garantir uma captação eficiente em alto mar (VIEIRA, 2021).

A refração também é uma preocupação. Em função da variação da temperatura, salinidade e pressão, as camadas oceânicas podem influenciar o trajeto das ondas de rádio. Em algumas situações, pode ocorrer o fenômeno chamado *ducting*, em que o sinal é guiado entre duas camadas da atmosfera ou da água, podendo se propagar por distâncias muito maiores do que o normal (VIEIRA, 2011).

A salinidade, além de seu impacto na propagação dos sinais, também representa uma ameaça corrosiva direta para os equipamentos. O ambiente marinho é notório pela sua hostilidade em relação a materiais metálicos, com o sal corroendo e degradando rapidamente as superfícies expostas. Dessa forma, um equipamento como o RTL-SDR, se não devidamente protegido e encapsulado em materiais resistentes à corrosão, pode ter sua vida útil drasticamente reduzida.

A instabilidade do ambiente marítimo, com seus movimentos constantes causados por ondas e correntes, é mais uma variável desafiadora. Equipamentos de precisão, como o RTL-SDR, precisam de estabilidade para operar corretamente. Assim, sistemas de amortecimento ou ancoragem podem ser necessários para garantir que o dispositivo mantenha sua eficácia, independentemente das condições do mar.

Por fim, o aspecto climático não pode ser ignorado. O ambiente marítimo é frequentemente assolado por tempestades, neblina, chuvas intensas e outros fenômenos que podem comprometer a clareza e a eficácia dos sinais recebidos e transmitidos. Essas variações

climáticas podem afetar diretamente a capacidade de detecção, exigindo calibrações frequentes e adaptações em tempo real (VIEIRA, 2021).

Com o propósito de demonstrar as capacidades de interceptação, recepção, do sinal do RTL-SDR no ambiente oceânico na propagação de sinais RF, foi elaborada uma simulação através do *software* Radio Mobile configurado com as especificações de um equipamento RTL-SDR comercial genérico e um rádio transmissor portátil comum comercial no modelo Motorola GP-78: potência do rádio transmissor (*walkie talkie*) de 5W, transmitindo na frequência de 145 MHz, com uma antena omnidirecional, com uma altura estimada de 2m do elemento adverso, supondo-o em pé em um barco. Já o equipamento RTL-SDR interceptando o sinal, com ganho da antena dipolo de 3 dB e altura da antena de 5 metros (valor aproximado da altura do passadiço de um navio-patrolha), com sensibilidade estimada de 0.7uV (-110.1 dBm). O sinal verde significa sinal forte para recepção do RTL-SDR e o sinal amarelo significa sinal fraco para recepção. A área escolhida foi a região próxima à Ilha da Trindade, território brasileiro mais distante do litoral e ponto de elevada importância estratégica. De acordo com o modelo matemático utilizado pelo *software* para o cálculo de propagação eletromagnética, chegou-se ao valor estimado para uma transmissão de sinal forte de um rádio transmissor portátil (*walkie talkie*), com a recepção do equipamento RTL SDR, uma distância de aproximadamente 8km para interceptação, o que para ações de patrulha naval se configuraria em uma significativa vantagem tática para a detecção de sinais RF de interesse. A Figura 4 ilustra o resultado obtido na simulação.

Figura 4: Predição da propagação de sinais RF do rádio transmissor (*walkie talkie*) na Ilha da Trindade para recepção do RTL-SDR.



Fonte: Elaborado pelo autor através do software VE2DBE.

Já o ambiente amazônico é um dos mais complexos e diversificados do planeta, não apenas em termos biológicos, mas também geográficos e atmosféricos. Essa riqueza se transforma em um conjunto único de desafios quando abordamos a propagação de sinais de RF e a implementação de tecnologias como o RTL-SDR.

A floresta tropical densa e exuberante da Amazônia é caracterizada por uma vasta cobertura de copas altas e interligadas que formam uma espécie de "teto" verde. Esse dossel contínuo é um obstáculo formidável para a propagação de sinais de rádio, pois as ondas de RF são absorvidas, refletidas e refratadas pelas árvores e sua folhagem. Essa característica pode levar à atenuação severa dos sinais, exigindo transmissões de maior potência ou frequências mais altas para efetivar a comunicação (ALEM, 2011).

Outro fator que afeta a propagação na Amazônia é a alta umidade. A região é notória por sua umidade relativa do ar quase sempre elevada, o que pode resultar em absorção adicional do sinal, especialmente em determinadas frequências (ALEM, 2011). Além disso, a presença constante de chuvas e precipitações intensas pode causar a atenuação das ondas de rádio, dificultando a comunicação em momentos cruciais.

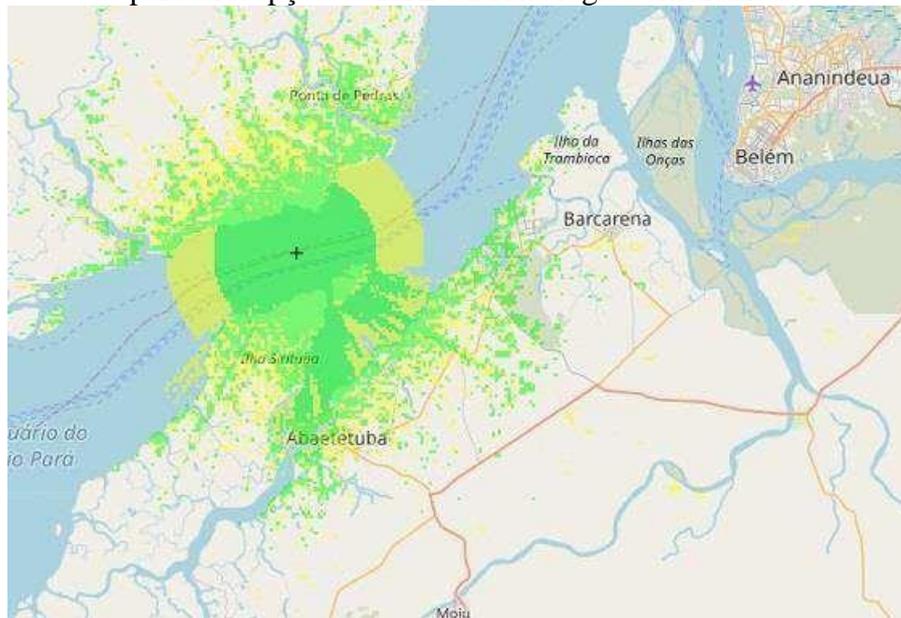
A topografia variada da região, com vastas extensões de rios, planícies alagadas e áreas montanhosas, adiciona outra camada de complexidade. As ondas de rádio podem ser bloqueadas ou refletidas por montanhas e colinas, enquanto os grandes rios podem introduzir reflexões adicionais ou, em alguns casos, facilitar a propagação de certas frequências.

No contexto do RTL-SDR, a Amazônia representa um cenário desafiador. A mobilidade e a capacidade de reconfiguração do dispositivo são ativos valiosos, mas também exigem estratégias específicas de posicionamento e calibração. Para operações de inteligência, especialmente aquelas que visam combater atividades ilegais, é crucial levar em consideração os mencionados obstáculos de propagação para garantir uma coleta de dados eficaz e precisa. O isolamento de muitas áreas na Amazônia também impõe desafios logísticos. A manutenção regular, a substituição de peças ou a recalibração de dispositivos como o RTL-SDR pode ser dificultada pela distância de centros de suporte técnico e pela limitada infraestrutura de transporte. Esse isolamento também reforça a necessidade de robustez e confiabilidade do equipamento, reduzindo a necessidade de intervenções frequentes.

Conforme o realizado anteriormente para verificar a propagação de sinais RF de uma transmissão de um rádio transmissor (*walkie talkie*) em ambiente oceânico, foi elaborada uma nova simulação através do *software* Radio Mobile configurado com as mesmas especificações de um equipamento RTL-SDR, como receptor, comercial genérico do exemplo anterior.

Porém, agora foi escolhida uma área fluvial, em uma região próxima à Belém, capital do Estado do Pará e ponto de elevada relevância no combate às atividades ilegais na Bacia Amazônica. De acordo com o modelo matemático utilizado pelo *software* para o cálculo de propagação eletromagnética, chegou-se ao valor estimado para a transmissão de um sinal forte do rádio transmissor, para recepção do RTL-SDR, de aproximadamente 14km de distância, o que para ações de patrulha fluvial se configuraria em uma significativa vantagem tática para a detecção de sinais RF de interesse na área compreendida pelo Estuário do rio Pará. A Figura 5 ilustra o resultado obtido na simulação.

Figura 5: Predição da propagação de sinais RF de um rádio transmissor (*walkie talkie*) para a recepção do RTL-SDR na região amazônica.

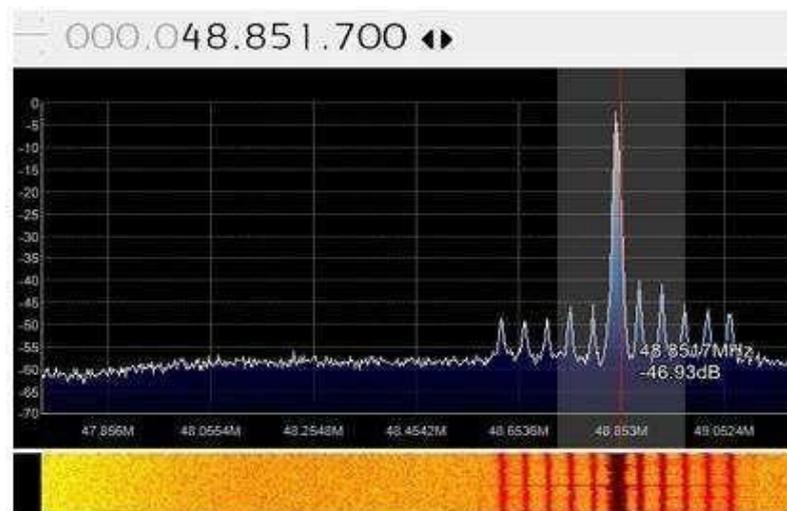


Fonte: Elaborado pelo autor através do software VE2DBE.

Conforme verificado nas simulações acima, percebe-se que RTL-SDR pode ser usado para a interceptação de sinais de rádio transmissores de elementos adversos praticando diversas atividades ilegais seja de pesca ilegal, roubo de cargas, a tráfico de drogas. Destaca-se que o RTL-SDR é capaz de sintonizar uma ampla gama de frequências, incluindo as frequências VHF (*Very High Frequency*) e UHF (*Ultra High Frequency*) usadas por esses equipamentos. Além disso, a interceptação de sinais de rádios portáteis pode ser útil para planejamento de ações e antecipar situações adversas. A Figura 6 a seguir ilustra um espectrograma com um sinal de rádio transmissor (*walkie talkie*) interceptado pelo RTL-SDR. Observa-se que o sinal de rádio foi transmitido em uma frequência principal de 48,8 MHz com intensidade de 46 decibéis, porém possui outras frequências espaçadas igualmente no espectro eletromagnético

demonstrando uma assinatura eletromagnética característica deste rádio transmissor.

Figura 6: Um espectrograma FFT em formato de “Waterfall” de um sinal de rádio transmissor portátil (*walkie talkie*) interceptado pelo equipamento RTL-SDR.



Fonte: Rahman, 2016.

5.2.2. Aspectos Operacionais e Logísticos

O uso do RTL-SDR, desempenha um papel crucial na obtenção de parâmetros do sinal interceptado de um rádio transmissor em contextos de patrulha naval. Essa tecnologia é de extrema importância para melhorar a prontidão das forças navais, o levantamento de dados de inteligência eletrônica tanto no porto quanto no mar e, conseqüentemente, garantir a segurança das operações marítimas. Ele nos oferece inúmeras vantagens operacionais e logísticas listadas a seguir:

Resposta Rápida: O RTL-SDR permite uma resposta rápida à detecção de sinais de rádio, fornecendo informações essenciais em tempo real. Isso é crucial para ações de patrulha naval, pois a velocidade de reação pode ser determinante em situações críticas.

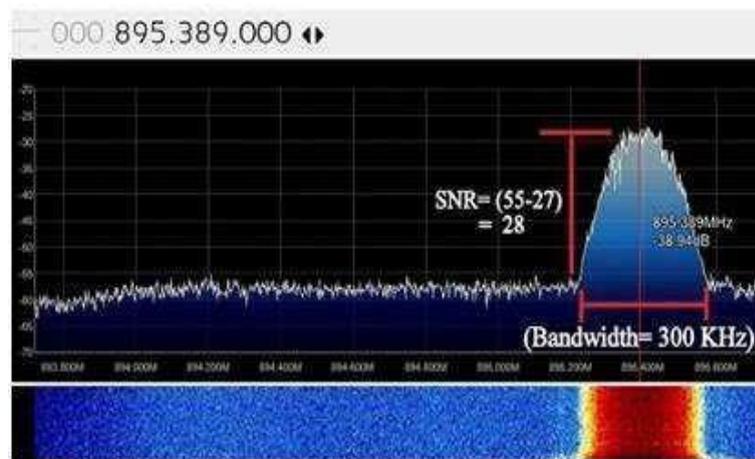
Identificação de Fontes de Sinal: O RTL-SDR possibilita a identificação precisa das fontes de sinal, sejam elas amigáveis, neutras ou hostis. Isso ajuda a evitar conflitos não intencionais e a responder de maneira apropriada a ameaças potenciais, principalmente em

patrulhas navais noturnas, onde o monitoramento do espectro eletromagnético de comunicações é mais um auxílio na identificação de eventuais ameaças, além da identificação visual.

Aprimoramento da Prontidão: O uso de RTL-SDR aprimora a prontidão operacional das forças navais, permitindo que estejam sempre preparadas para lidar com situações imprevistas a uma distância de segurança para uma eventual abordagem. A monitorização constante dos sinais de rádio ajuda a manter um estado de alerta elevado da tripulação.

Levantamento de Dados de Inteligência Eletrônica: O RTL-SDR é uma ferramenta valiosa para coletar dados de inteligência eletrônica. Ele pode ser usado para rastrear e analisar comunicações de rádio inimigas, o que fornece informações críticas para planejamento, como a frequência utilizada, a tecnologia empregada, se possui criptografia ou não, intensidade do sinal, todos esses parâmetros são subsídios de inteligência para obtenção de informações sobre a fonte do sinal. A Figura 7, ilustra alguns desses parâmetros.

Figura 7: Um espectrograma FFT em formato de “Waterfall” de um sinal de rádio interceptado pelo equipamento RTL-SDR.



Fonte: Rahman, 2016.

Como observado na figura acima, pode-se retirar diversas informações do sinal, como a largura de banda do sinal de 300Khz, relação sinal-ruído de 28 decibéis, intensidade do sinal de 38,9 decibéis, frequência central de operação do sinal de 895,3MHz, além da quantidade de mensagens trafegando naquela frequência em uma exibição gráfica didática. Todos esses parâmetros serão analisados pela COMINT para obtenção de informações a respeito do sinal interceptado.

Operações no Porto e Mar: A versatilidade do RTL-SDR permite que as operações de inteligência eletrônica sejam conduzidas tanto no porto quanto no mar. Isso garante que as informações sejam coletadas em todas as fases da operação naval, contribuindo para a contínua atividade de COMINT aproveitando todas as circunstâncias em que o navio se encontra seja atracado ou no mar.

Economia de Recursos: Além de ser uma ferramenta eficaz, o RTL-SDR é acessível em termos de custos, o que possibilita sua adoção generalizada nas forças navais, mesmo em orçamentos limitados. Já que, com apenas o equipamento, uma antena adequada e um notebook é possível utilizá-lo para fazer a atividade de COMINT.

Aquisição de sobressalentes: Uma vez que o conjunto de equipamentos utilizados juntamente com o RTL-SDR são de baixo custo, pode-se ter a bordo uma quantidade suficiente de equipamentos sobressalentes, em caso de eventual falha e reposição imediata e em tempo real, já que o navio navegará na maior parte do seu ciclo de vida, portanto, o equipamento evidencia seu forte caráter naval relativo à disponibilidade.

Redução de Peso e Espaço: O RTL-SDR é notavelmente compacto e leve em comparação com equipamentos de rádio convencionais, economizando espaço precioso em uma embarcação naval e reduzindo o peso total, o que é crítico para otimizar o desempenho e a eficiência do navio, já que se abordou uma atividade de patrulha naval com navios de deslocamento pequeno e médio.

Assim, verifica-se que o RTL-SDR é de suma importância tanto nos aspectos operacionais quanto logísticos de uma patrulha naval, pois proporciona versatilidade, eficiência, economia e principalmente segurança das tripulações contra elementos adversos. Este dispositivo reduz a carga logística, simplifica a manutenção, economiza espaço e peso, promove a adaptação a diferentes cenários de comunicação e integra-se facilmente a sistemas de informação, tornando as operações navais mais ágeis, econômicas e eficazes.

5.2.3. Integração com Outros Sistemas e Segurança

A integração do RTL-SDR com outros sistemas de inteligência de comunicações é fundamental para maximizar a eficácia das operações, especialmente em ambientes marítimos e de fronteira, onde o combate às atividades ilegais exige uma abordagem multidisciplinar e em tempo real. A combinação do RTL-SDR com sistemas avançados de processamento de

sinal, análise de dados e redes de comunicação pode potencializar as capacidades individuais de cada componente, criando uma solução de inteligência mais robusta e adaptável.

A interação do RTL-SDR com sistemas de processamento de sinal permite, por exemplo, a rápida identificação de sinais de interesse. Quando integrados a algoritmos avançados, podem-se reconhecer padrões específicos, filtrar ruídos e identificar comunicações ocultas ou codificadas. Esta colaboração é essencial para descartar tráfego de rádio benigno e focar nos sinais que apresentam relevância para a missão em andamento.

A integração com sistemas de análise de dados e bancos de dados existentes é crucial para contextualizar as informações coletadas. As comunicações interceptadas pelo RTL-SDR podem ser comparadas com registros anteriores, permitindo identificar ameaças recorrentes, padrões de comportamento ou redes de comunicação estabelecidas. Esta abordagem histórica fortalece o processo de tomada de decisão, facilitando a previsão e a resposta a ameaças potenciais (ESTADOS UNIDOS, 2015).

A comunicação entre o RTL-SDR e outros sistemas também deve ser priorizada. Em ambientes operacionais, a troca de informações em tempo real entre diferentes plataformas – seja via satélite, redes terrestres ou sistemas de comunicação marítima – é vital para a coordenação e eficácia das operações.

No entanto, essa interconexão traz desafios inerentes de segurança cibernética. A integração de sistemas amplia a superfície de ataque, tornando o conjunto de soluções mais vulnerável a ameaças externas. Os agentes maliciosos estão cientes das vantagens operacionais proporcionadas por sistemas integrados e podem tentar explorar vulnerabilidades, interromper comunicações ou inserir informações falsas.

Para mitigar tais riscos, é essencial implementar protocolos de segurança robustos. A criptografia de ponta a ponta das comunicações entre o RTL-SDR e outros sistemas é uma medida inicial fundamental, garantindo que os dados transmitidos permaneçam confidenciais e íntegros. Além disso, mecanismos de autenticação forte podem garantir que apenas dispositivos e operadores autorizados possam acessar e interagir com o sistema.

O monitoramento contínuo do tráfego de rede e a implementação de soluções de detecção de intrusões também são essenciais para identificar e responder rapidamente a qualquer atividade suspeita. Com o crescente avanço das ameaças cibernéticas, a resiliência e a adaptabilidade tornam-se pilares fundamentais de qualquer sistema integrado, e o RTL-SDR, como componente deste ecossistema, deve ser considerado tanto em sua capacidade operacional quanto em seus potenciais riscos de segurança.

Logo, a integração do RTL-SDR com outros sistemas de inteligência de comunicações tem o potencial de revolucionar a forma como as operações são conduzidas em ambientes desafiadores. No entanto, essa integração deve ser abordada com uma consideração cuidadosa dos riscos e vulnerabilidades associados, garantindo que as operações não apenas sejam eficazes, mas também seguras.

5.2.4. Capacitação e Treinamento

A capacitação e treinamento adequados dos operadores são vitais para garantir que a potência do RTL-SDR seja totalmente explorada e maximizada em operações navais, especialmente quando se busca combater atividades ilegais. Dada a natureza técnica do dispositivo e sua aplicação nas esferas da inteligência de comunicações, é fundamental que os operadores não apenas entendam os princípios básicos do funcionamento do dispositivo, mas também as nuances e especificidades da detecção e análise de sinais.

Neste contexto, a Gestão do Conhecimento (GC) desempenha um papel crucial. A GC não se concentra apenas na transferência de informações, mas busca cultivar e aprimorar habilidades, entendimento e expertise ao longo do tempo. Para a operação eficiente do RTL-SDR, a capacitação deve ser vista como um processo contínuo, não apenas um evento pontual. Isso se deve ao fato de que o cenário de comunicações e as ameaças associadas estão em constante evolução, assim como as atualizações e melhorias técnicas do próprio RTL-SDR.

Primeiramente, uma compreensão fundamental da teoria de radiofrequência e propagação de sinais é vital. Os operadores devem entender como os sinais se comportam em diferentes ambientes, como são refletidos, refratados ou absorvidos, e como as condições atmosféricas ou geográficas podem afetar a qualidade do sinal. Esta base teórica formará a fundação sobre a qual as habilidades práticas de operação do RTL-SDR serão construídas.

Em seguida, a capacitação prática no uso do RTL-SDR é essencial. Isso inclui desde a configuração inicial do dispositivo e sua calibração até a busca e análise de sinais em tempo real. Os operadores devem estar familiarizados com a interface do software, as ferramentas de análise disponíveis e como interpretar os dados coletados.

Dada a relevância da inteligência de comunicações na identificação e combate a atividades ilegais, uma formação em criptoanálise e decodificação de sinais pode ser benéfica. Isso permitirá que os operadores identifiquem comunicações codificadas ou ocultas e, possivelmente, decifrem-nas para obter informações valiosas.

A longo prazo, a prática de revisões regulares e atualizações de treinamento é fundamental. À medida que novas versões do software são lançadas, ou à medida que novas técnicas e ameaças emergem, os operadores devem ser reavaliados e reeducados conforme necessário. A capacitação contínua, alimentada pela Gestão do Conhecimento, assegura que os operadores estejam sempre no auge de sua competência, maximizando a eficácia do RTL-SDR em suas missões.

Como podemos observar, a capacitação e treinamento no uso do RTL-SDR vão muito além do simples manuseio do equipamento. Eles exigem uma abordagem holística que combine teoria e prática, adaptando-se às mudanças do cenário operacional e técnico, e fundamentada nos princípios da Gestão do Conhecimento para garantir excelência contínua.

5.2.5. A Necessidade de Adaptação Contínua

No mundo em rápida evolução das telecomunicações, a capacidade de se adaptar continuamente é mais do que uma vantagem: é uma necessidade. As forças navais, especialmente aquelas que usam dispositivos como o RTL-SDR para monitorar e combater atividades ilegais, encontram-se em constante evolução em resposta aos criminosos que utilizam tecnologias emergentes e métodos inovadores de comunicação.

Em primeiro lugar, é vital compreender a rapidez e o alcance das mudanças no domínio das telecomunicações. A cada ano, são lançadas novas versões de protocolos de comunicação, padrões de codificação e técnicas de modulação. Esses avanços, originalmente projetados para melhorar a eficiência e segurança das comunicações legítimas, também são adotados por aqueles envolvidos em atividades ilegais. Isso significa que os sistemas de inteligência naval, como o RTL-SDR, devem ser regularmente atualizados e adaptados para continuar sendo eficazes.

Os agentes envolvidos em atividades ilícitas, sejam eles traficantes de drogas, piratas ou envolvidos em pesca ilegal, estão cientes da vigilância constante das autoridades. Como resposta, muitos mudaram suas táticas de comunicação, optando por métodos menos convencionais e mais difíceis de interceptar ou decodificar. Esta é uma evolução contínua: à medida que as autoridades desenvolvem novas técnicas de detecção, os criminosos mudam seus métodos de comunicação, e assim por diante.

Um exemplo notável é o crescente uso de Comunicações via Satélite (SATCOM) por entidades criminosas. Historicamente, as comunicações via satélite eram caras e, portanto, menos acessíveis. No entanto, com a comercialização e a democratização da tecnologia de

satélites, sua acessibilidade aumentou. Para os criminosos, o SATCOM oferece uma série de vantagens. O alcance global dos satélites significa que eles podem se comunicar com aliados ou comparsas em qualquer lugar do mundo, muitas vezes sem a necessidade de infraestrutura terrestre que possa ser fisicamente rastreada ou interceptada. Além disso, muitos sistemas de comunicação via satélite empregam codificação robusta e técnicas de modulação complexas, tornando-os desafiadores para interceptação e análise.

Dada essa realidade, é imperativo que os sistemas de inteligência naval, incluindo aqueles baseados em RTL-SDR, estejam equipados para lidar com as comunicações via satélite. Isso pode envolver a integração de novos módulos de hardware, a implementação de algoritmos avançados de decodificação ou a capacitação de operadores em técnicas específicas de interceptação e análise de SATCOM.

6 CONCLUSÃO

Ao longo deste trabalho, exploramos profundamente a potencialidade do RTL-SDR como ferramenta de inteligência de comunicações, desvendando seus mecanismos, vantagens e implicações práticas. Agora, nos voltamos para a importância da implementação dessa ferramenta no cenário da patrulha naval brasileira, em especial nas Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB).

Um dos grandes desafios enfrentados pela Marinha do Brasil, em seu compromisso de proteger nossas águas, é o combate eficaz às atividades ilegais que ameaçam não apenas nossa segurança, mas também nossos recursos e a soberania. A pesca ilegal, o tráfico de drogas e a pirataria têm se mostrado ameaças persistentes, e sua erradicação exige ferramentas ágeis e precisas que correspondam à natureza dinâmica desses crimes.

6.1 Considerações Finais

O RTL-SDR, em sua capacidade de monitorar, gravar, armazenar e geolocalizar comunicações, oferece à Marinha um nível sem precedentes de percepção situacional. No nível tático, essa capacidade de interceptar comunicações em tempo real e determinar a origem de transmissões pode ser a diferença entre detectar uma ameaça em potencial e ser pego de surpresa. Além disso, a criação de um banco de dados de inteligência, que pode ser analisado para identificar padrões e líderes de sindicatos criminosos, transforma o modo como operamos estrategicamente.

Em termos logísticos, a implementação do RTL-SDR tem um footprint mínimo. Ao contrário de sistemas tradicionais de interceptação e inteligência de comunicações, que muitas vezes requerem infraestrutura volumosa e complexa, o RTL-SDR é compacto e versátil. Isso significa que pode ser facilmente integrado aos navios da Marinha sem exigir grandes modificações ou reconfigurações. Esta simplicidade não só acelera a implementação, mas também garante que os custos associados sejam drasticamente reduzidos.

Tal custo-benefício é, sem dúvida, uma das principais vantagens do RTL-SDR. Em um cenário global onde os recursos são limitados e as necessidades de defesa são muitas, a capacidade de maximizar o impacto operacional sem comprometer grandes cifras para a sua implementação é inestimável. Finalizando, a conjunção de eficácia operacional com economia torna esse sistema uma adição valiosa à nossa estratégia de segurança marítima.

Por fim, vale ressaltar que a necessidade de adaptação contínua vai além da mera reação às táticas dos criminosos. Para ser verdadeiramente eficaz, as forças navais devem se antecipar às tendências emergentes em telecomunicações, adotando uma abordagem proativa ao desenvolvimento e atualização de suas capacidades de inteligência de comunicação. Isso exige um investimento contínuo em pesquisa, desenvolvimento e treinamento, garantindo que as forças navais estejam sempre um passo à frente no combate às atividades ilegais no domínio marítimo.

6.2 Sugestões para trabalhos futuros

A investigação sobre o RTL-SDR como ferramenta de Inteligência de Comunicações (IC) em apoio às operações navais nas Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB) apresentou insights significativos. No entanto, a dinâmica do ambiente marítimo, juntamente com os avanços tecnológicos e mudanças nos padrões de comunicação, sugere a necessidade de pesquisas e análises contínuas nessa área. Nesse contexto, algumas sugestões para trabalhos futuros são propostas:

- a) Estudo de viabilidade de instalação em navios-patrolha;
- b) Pesquisa de campo envolvendo teste de equipamento RTL-SDR em áreas com denso tráfego de embarcações, a fim de avaliar a capacidade de operar em ambiente com saturação de emissões no espectro eletromagnético; e
- c) Análise de sistemas RTL-SDR e similares que possibilitem o monitoramento de emissões relacionadas à SATCOM.

REFERÊNCIAS

ALEM, R. A. **Análise e Projeto de Antenas para Sistemas de Comunicações Táticas Pessoais em Florestas**. Disponível em: <https://pgee.ime.eb.br/pdf/ramon_alem.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2023.

BRASIL. Exército Brasileiro. **Manual de Fundamentos – Inteligência militar terrestre**. 2 ed. Brasília, 2015.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, National Security Agency. **Communication Intelligence**. Disponível em: <<https://www.nsa.gov/portals/75/documents/news-features/declassified-documents/tech-journals/communication-intelligence.pdf>>. Acesso em: 07 ago. 2023.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. National Security Agency. **A Priceless Advantage – U.S. Navy communications intelligence and the battles of Coral Sea, Midway and the Aleutians**. Disponível em: <https://media.defense.gov/2021/Jul/13/2002761544/-1/-1/0/PRICELESS_ADVANTAGE.PDF>. Acesso em: 07 ago. 2023.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. U.S. Marine Corps. **Signals Intelligence**. Disponível em: <<https://www.marines.mil/portals/1/Publications/MCRP%202-10A.1%20Formerly%20MCWP%202-22.pdf>>. Acesso em: 05 ago. 2023.

GAMANETO, R. B. **Guerra cibernética / guerra eletrônica – conceitos, desafios e espaços de interação**. Revista Política Hoje, [S. l.], v. 26. N. 1, 2017. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/poticahoje/article/viewFile/9180/16123>>. Acesso em: 19 set. 2023.

GARDNER, C. **Software-Defined Radio Techniques For Geolocation of First-Responder Transceivers**. Disponível em: <<https://honors.libraries.psu.edu/catalog/1088>>. Acesso em: 21 jul. 2023.

LAUFER, C. **The World of Low Cost Software Defined Radio**. Disponível em: <https://www.rtl-sdr.com/wp-content/uploads/2017/05/The-world-of-low-cost-software-defined-radio_2.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2023.

LOMBELO, D. M. **As vantagens e desvantagens de estações sensoras de inteligência do sinal, de baixo custo, na faixa de fronteira terrestre do Comando Militar do Sul, no combate aos crimes transnacionais**. Disponível em: <<https://bdex.eb.mil.br/jspui/bitstream/123456789/8844/1/MO%206291%20-%20LOMBELO.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2023.

MACHADO-FERNÁNDEZ, J. **Software defined radio: basic principles and applications**. Disponível em: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S012111292015000100007&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 02 jun. 2023.

- NAYAK, A. **Spectrum Sensing and Signal Identification Using RTL-SDR**. Disponível em: <<https://core.ac.uk/reader/80147910>>. Acesso em: 29 mai. 2023.
- OLIVEIRA, H. **Coletânea história da guerra eletrônica**. Brasília: Centro Integrado de Guerra Eletrônica, 2002.
- PANORADIO. **TDOA Transmitter Localization with RTL-SDRs**. Panoradio SDR, 2017. Disponível em: <<https://panoradio-sdr.de/tdoa-transmitter-localization-with-rtl-sdrs/>>. Acesso em: 15 ago. 2023.
- RAHMAN, M. H.; ISLAM, M. M. **A Practical Approach to Spectrum Analyzing Unit Using RTL-SDR**. Rajshahi University Journal of Science and Engineering, v. 44, p. 151, 2016. Disponível em: <(PDF) A Practical Approach to Spectrum Analyzing Unit using RTL- SDR | Md. Mamunoor Islam - Academia.edu> Acesso em: 15 ago. 2023.
- REDDY, D. et al. **Software Defined Radio-Based ELINT System for Geolocation of RF Emitters**. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-981-19-5550-1_42>. Acesso em: 15 ago. 2023.
- REZENDE, M. H. **Estudo e Análise de Propagação de Sinais de RF na Faixa de Ondas Centimétricas**. Disponível em: <<https://ufsj.edu.br/portal-repositorio/File/ppgel/138-2017-08-25-DissertacaoMateusRezende.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2023.
- SOARES, A. S. **Inteligência de comunicações e sua importância como suporte às operações navais**. Revista Passadiço, v. 34, n. 42. Disponível em: <<https://portaldeperiodicos.marinha.mil.br/index.php/passadico/article/view/3724>>. Acesso em: 04 jun. 2023.
- SRUTHI, M. B. et al. **Low cost digital transceiver design for software defined radio using RTL-SDR**. IEEE Communications Magazine, [S. I.], p. 852-855, 2013. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6526525>>. Acesso em: 07 ago. 2023.
- VIEIRA, P. **Análise da Resposta em Banda Estreita em Canal Marítimo na Faixa de 3,5 GHz**. Disponível em: <https://www.ppgeet.uff.br/site/wp-content/uploads/2021/01/Pedro_Armando_Vieira.pdf>. Acesso em> 25 mai. 2023.