

**ACADEMIA MILITAR DAS AGULHAS NEGRAS  
ACADEMIA REAL MILITAR (1811)  
CURSO DE CIÊNCIAS MILITARES**

**Gustavo Souza Borges Silva**

**A UTILIZAÇÃO DE SOFTWARE E HARDWARE LIVRE PARA MEDIDAS DE  
APOIO À GUERRA ELETRÔNICA**

**Resende  
2023**

## TERMO DE AUTORIZAÇÃO DE USO DE DIREITOS AUTORAIS DE NATUREZA PROFISSIONAL

**TÍTULO DO TRABALHO:** A UTILIZAÇÃO DE SOFTWARE E HARDWARE LIVRE PARA MEDIDAS DE APOIO À GUERRA ELETRÔNICA

**AUTOR:** GUSTAVO SOUZA BORGES SILVA

Este trabalho, nos termos da legislação que resguarda os direitos autorais, é considerado de minha propriedade.

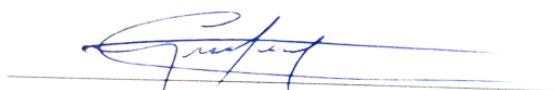
Autorizo a Academia Militar das Agulhas Negras (AMAN) a utilizar meu trabalho para uso específico no aperfeiçoamento e evolução da Força Terrestre, bem como a divulgá-lo por publicação em periódico da Instituição ou outro veículo de comunicação do Exército.

A AMAN poderá fornecer cópia do trabalho mediante ressarcimento das despesas de postagem e reprodução. Caso seja de natureza sigilosa, a cópia somente será fornecida se o pedido for encaminhado por meio de uma organização militar, fazendo-se a necessária anotação do destino no Livro de Registro existente na Biblioteca.

É permitida a transcrição parcial de trechos do trabalho para comentários e citações desde que sejam transcritos os dados bibliográficos dos mesmos, de acordo com a legislação sobre direitos autorais.

A divulgação do trabalho, em outros meios não pertencentes ao Exército, somente pode ser feita com a autorização do autor ou do Diretor de Ensino da AMAN.

Resende, 1 de junho de 2023



Cad Gustavo Souza **Borges Silva**

Dados internacionais de catalogação na fonte

S586u SILVA, Gustavo Souza Borges

A utilização de software e hardware livre para medidas de apoio à guerra eletrônica / Gustavo Souza Borges Silva – Resende; 2023. 41 p. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Felipe Barcellos Brasil  
TCC (Graduação em Ciências Militares) - Academia Militar das Agulhas Negras, Resende, 2023.

1. RDS. 2. Hardware Livre. 3. Software livre. 4. Rádio Definido por Software. I. Título.

CDD: 355

Ficha catalográfica elaborada por Aline Viegas da Costa CRB-7/7409

Gustavo Souza Borges Silva

**A UTILIZAÇÃO DE SOFTWARE E HARDWARE LIVRE PARA MEDIDAS DE  
APOIO À GUERRA ELETRÔNICA**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Ciências Militares, da Academia Militar das Agulhas Negras (AMAN – RJ), como requisito parcial para obtenção do título de **Bacharel em Ciências Militares**.

Orientador: Maj QEM Felipe Barcellos Brasil

Resende  
2023

**Gustavo Souza Borges Silva**

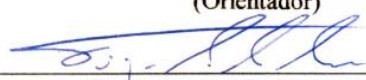
**A UTILIZAÇÃO DE SOFTWARE E HARDWARE LIVRE PARA MEDIDAS DE  
APOIO À GUERRA ELETRÔNICA**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Ciências Militares, da Academia Militar das Agulhas Negras (AMAN, RJ), como requisito parcial para obtenção do título de **Bacharel em Ciências Militares**.

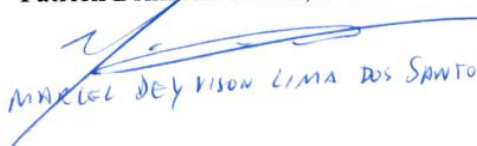
Aprovado em 18 de agosto de 2023.

Banca examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
**Felipe Barcellos Brasil, Maj**  
(Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
**Tiago Santos de Sousa, 1º Ten**

*No impedimento*  
\_\_\_\_\_  
**Patrick Bonifácio Santos, 1º Ten**

  
*MARCEL DE VISON LIMA DOS SANTOS*

Resende  
2023

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço à Deus, neste último ano, e à minha família por estar acompanhando a minha formação durante esses cinco anos longe de casa e por acreditarem em mim mesmo depois de ter largado uma graduação para iniciar uma carreira brilhante nas forças armadas.

Aos meus amigos, pelo acompanhamento neste Trabalho de Conclusão de Curso, especialmente à Gabriela, por contribuir e sempre incentivar durante o curso.

Ao Major Brasil, pela disponibilidade, pelo incentivo para a pesquisa e pela flexibilidade durante os dois últimos anos; obrigado pela ajuda dispensada durante o desenvolvimento deste trabalho.

## RESUMO

### A UTILIZAÇÃO DE SOFTWARE E HARDWARE LIVRE PARA MEDIDAS DE APOIO À GUERRA ELETRÔNICA

AUTOR: Gustavo Souza Borges Silva  
ORIENTADOR: Felipe Barcellos Brasil

O trabalho em questão tem como objetivo explorar a utilização de software e hardware livre para medidas de apoio à Guerra Eletrônica. Considera-se, nesse sentido, o problema de que a implementação de equipamentos importados de MAGE se torna um problema oneroso, e propõe projetos de baixo custo para o monitoramento de sinais e localização eletrônica em relação aos equipamentos importados, com foco na substituição desses equipamentos por rádios de baixo custo. A metodologia adotada é bibliográfica e exploratória, com abordagem quantiquantitativa. Realizou-se uma pesquisa qualitativa no referencial teórico para embasar a análise da contribuição do emprego do Rádio Definido por Software (RDS) na área de Guerra Eletrônica (GE), e um questionário com intuito de empregar esses equipamentos na AMAN. O rádio, definido por software de baixo custo, é uma tecnologia que permite o processamento digital de sinais de rádio usando hardware genérico e um software especializado. A utilização de RDS de baixo custo é uma alternativa economicamente viável para o Brasil que não possui recursos para adquirir equipamentos importados. Os resultados que a pesquisa apresentou podem ser de interesse para as Forças Armadas, além de contribuir para a disseminação do conhecimento sobre Guerra Eletrônica na AMAN, como também mostrar que a substituição desses equipamentos importados pode ser uma solução viável.

**Palavras-Chave:** RDS, Hardware Livre , Software livre, Rádio Definido por Software, Baixo custo.

## ABSTRACT

The work in question aims to explore the use of free software and hardware for measures to support Electronic Warfare. The research starts from the problem that the implementation of imported ESM equipment becomes a costly problem, and proposes low-cost projects for monitoring signals and electronic localization in relation to imported equipment, with a focus on replacing this equipment with low-cost radios. cost. The methodology adopted is bibliographical and exploratory, with a quantitative and qualitative approach. A qualitative research was carried out on the theoretical framework to support the analysis of the contribution of the use of Software Defined Radio (RDS) in the Electronic Warfare (GE) area, and a questionnaire was carried out with the aim of using this equipment in AMAN. Low-cost software-defined radio is a technology that allows digital processing of radio signals using generic hardware and specialized software. The use of low-cost RDS is an economically viable alternative for Brazil that does not have the resources to purchase imported equipment. The results that the research presented may be of interest to the Armed Forces, in addition to contributing to the dissemination of knowledge about Electronic Warfare at AMAN, as well as showing that the replacement of these imported equipment can be a viable solution.

**Keywords:** SDR, Free Hardware, Free Software, Software Defined Radio, Low cost



## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 — TDAO.....                       | 15 |
| Figura 2 — Antena Omni Polarização .....   | 17 |
| Figura 3 – PLADIS.....                     | 18 |
| Figura 4 – Wolfhound .....                 | 19 |
| Figura 5 – Chapéu com RDS.....             | 19 |
| Figura 6 – Plataforma terrestre de GE..... | 20 |
| Figura 7 – Aplicativo KerberosRDS .....    | 21 |
| Figura 8 – Esquema do Projeto Fênix .....  | 22 |
| Figura 9 – PR100.....                      | 23 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|   |    |
|---|----|
| Gráfico 1 – A importância da inclusão da disciplina de introdução à programação no currículo..... | 28 |
| Gráfico 2 – Grau de confiança em utilizar os conhecimentos de Python.....                         | 29 |
| Gráfico 3 – Grau de satisfação em relação às instruções de Introdução a Guerra Eletrônica ..      | 29 |
| Gráfico 4 – Nível de concordância de equipamentos de baixo custo .....                            | 30 |
| Gráfico 5 – Nível de conhecimento sobre Raspberry Pi ou Arduino .....                             | 31 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|            |  |
|------------|--|
| AMAN       | Academia Militar das Agulhas Negras      |
| C2         | Comando e Controle                       |
| CIGE       | Centro de Instrução de Guerra Eletrônica |
| <i>ESM</i> | <i>Electronic Support Measures</i>       |
| <i>FSF</i> | <i>Free Software Foundation</i>          |
| GE         | Guerra Eletrônica                        |
| <i>HF</i>  | <i>High Frequency</i>                    |
| <i>HW</i>  | <i>Hardware</i>                          |
| MAE        | Medidas de Ataque Eletrônico             |
| MAGE       | Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica     |
| MPE        | Medidas de Proteção Eletrônica           |
| RDS        | Rádio Desenvolvido por Software          |
| <i>SDR</i> | <i>Software Defined Radio</i>            |
| TDOA       | Diferença do tempo de chegada            |
| <i>VHF</i> | <i>Very High Frequency</i>               |
| VPN        | <i>Virtual Private Network</i>           |

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                  | <b>11</b> |
| 1.1 OBJETIVOS .....  | 12        |
| 1.1.1 Objetivo geral.....                                  | 12        |
| 1.1.2 Objetivos específicos.....                           | 12        |
| <b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>                         | <b>13</b> |
| 2.1 RDS .....  | 13        |
| 2.2 HARDWARE LIVRE.....                                    | 13        |
| 2.3 SOFTWARE LIVRE.....                                    | 14        |
| 2.4 GUERRA ELETRÔNICA .....                                | 14        |
| 2.5 MEDIDAS DE PROTEÇÃO ELETRÔNICA (MPE) .....             | 16        |
| 2.6 MEDIDAS DE APOIO À GUERRA ELETRÔNICA (MAGE) .....      | 16        |
| 2.7 FORMAÇÃO DO OFICIAL DE COMUNICAÇÕES .....              | 17        |
| 2.8 PROJETO 1.....   | 18        |
| 2.9 PROJETO 2.....   | 20        |
| 2.10 PROJETO FÊNIX.....                                    | 21        |
| 2.11 EQUIPAMENTO UTILIZADOS PELO EXÉRCITO BRASILEIRO ..... | 22        |
| 2.12 O PROGRAMA RDS-DEFESA .....                           | 24        |
| <b>3 REFERENCIAL METODOLÓGICO .....</b>                    | <b>26</b> |
| 3.1 TIPO DE PESQUISA.....                                  | 26        |
| 3.2 MÉTODOS .....  | 26        |
| 3.3 AMOSTRA .....  | 26        |
| 3.4 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS.....                   | 26        |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                      | <b>28</b> |
| 4.1. PROJETO 1.....  | 31        |
| 4.2. PROJETO 2.....  | 32        |
| 4.3. PROJETO FÊNIX .....                                   | 33        |
| <b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                        | <b>34</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                   | <b>37</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

O campo de batalha, com a tecnologia, estendeu-se para a dimensão do espectro eletromagnético. As comunicações dependem, cada vez mais, desse espectro para o ataque, em relação à interceptação de rádio frequência e à localização do inimigo. O aumento da guerra eletrônica revela a necessidade de desenvolvimento de uma tecnologia capaz de fornecer a localização do inimigo para a tomada de decisão.

Nesse aspecto, a arma de Comunicações do Exército Brasileiro impõe medidas de apoio à guerra eletrônica (MAGE), definido como “ações tomadas para a monitoração, busca de interceptação, localização, análise, avaliação e correlação e registro dos sinais eletromagnéticos irradiados pelo inimigo”, conforme o *Caderno de Instrução Medidas de Proteção Eletrônica* (EXÉRCITO BRASILEIRO, 2014b, p. A-3).

Ademais, cabe à arma de Comunicações oferecer o comando e controle no ambiente urbano e na região de fronteira. Entretanto, a implementação de equipamentos importados de MAGE se torna um problema oneroso. Buscando baratear o equipamento, o uso de hardware livre e software livre seria uma inovação compacta para a redução de custos e a facilitação da aquisição de equipamento para a localização de sinais. Além do alto custo dos equipamentos de Guerra Eletrônica, há outros problemas como a dependência de fornecedores estrangeiros, a dificuldade de manutenção e reparo, e a necessidade de treinamento especializado para operar esse tipo de equipamento.

Considerando-se a economia de recursos, a utilização de rádio definido por software, um tipo de hardware (HW) livre, tornou-se viável pela sua vasta aplicabilidade na inteligência dos sinais. Os primeiros estudos de rádio definidos por software (RDS, ou SDR, sigla em inglês) remontam à década de 1990, quando o Departamento de Defesa Americano precisou integrar classes de rádios diferentes. Segundo Mitola (2009), o RDS seria um tipo de rádio capaz de ser reconfigurado por um algoritmo, ou seja, um mesmo rádio poderia mudar sua aplicabilidade com códigos. Para ilustrar, apenas com uma linha de programação, pode-se transformar um rádio de modelo *High Frequency* (HF) em um *Very High Frequency* (VHF), sem adicionar componentes eletrônicos.

Acredita-se, por meio da pesquisa apresentada neste trabalho, que a inserção de pequenos projetos para substituir um equipamento MAGE convencional aumenta a quantidade de receptores nas organizações militares por meio de pequenas ideias. O primeiro contato pode ser feito durante a formação da AMAN; para isso, é necessário averiguar a importância da proteção eletrônica a respeito da exploração rádio e da utilização de hardware

e software livre durante o curso. Assim, este trabalho se dividirá numa pesquisa bibliográfica com dispositivos de hardware e software livre, ou seja, o referencial teórico com conceitos básicos. Por fim, analisam-se a importância desses projetos e o contexto que a AMAN está inserida em medidas de proteção à guerra eletrônica com enfoque na localização como informe de inteligência.

Dessa maneira, analisa-se, neste trabalho, o emprego de protótipos de dispositivos localizadores de sinais de baixo custo e de baixa complexidade eletrônica, já que utilizam hardware e software livre, além de apresentar as vantagens desses sistemas para a possível substituição de equipamentos importados e de alto custo.

Para alcançar esse objetivo, é necessário realizar uma revisão bibliográfica sobre o tema de Guerra Eletrônica, monitoramento de sinais e localização eletrônica, incluindo pesquisas sobre equipamentos importados e de baixo custo.

Ao final da pesquisa, espera-se ter um conjunto de recomendações práticas sobre a viabilidade de projetos de baixo custo para monitoramento de sinais e localização eletrônica, bem como sobre a implementação de um curso de comunicações que possa fornecer aos cadetes experiência na área de Guerra Eletrônica.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

Apresentar projetos de baixo custo para o monitoramento de sinais e localização eletrônica em relação aos equipamentos importados

### 1.1.2 Objetivos específicos

Verificar os protótipos já existentes para serem utilizados no monitoramento de sinais.

Identificar as vantagens e as aplicações de software livre, hardware livre e rádio definido por software.

Descrever técnicas para determinar a localização eletrônica, como a medida da diferença do tempo de chegada (TDOA).

Explicar as Medidas de Proteção Eletrônica (MPE) e Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica (MAGE), conteúdo em destaque no Plano de Disciplina da AMAN.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 RDS

Como visto na introdução, por meio do RDS, podem-se atualizar e obter novas funcionalidades apenas pela mudança do software, sem a necessidade de mudança do hardware. Um dos objetivos do RDS é permitir o desenvolvimento de novos sistemas com o reaproveitamento do hardware, ou seja, ele é a contraposição dos rádios tradicionais que exercem funções específicas.

Segundo o artigo de Castellani (2019), receptores de televisão digital podem ser usados como SDRs. No mercado, são vendidos como RTL-SDR, esses receptores funcionam conforme o mesmo princípio: não dependem da frequência rádio e componentes físicos, são dispositivos programáveis que podem ter suas funcionalidades alteradas.

O RDS assegura que a informação possa chegar a todos envolvidos. Nesse sentido aumenta a interoperabilidade dos sistemas, reduz os custos de manutenção, aumenta a segurança nas comunicações e facilita a atualização de softwares (BRUSCATON, 2015).

### 2.2 HARDWARE LIVRE

O hardware livre é um projeto que pode ser disponibilizado de forma aberta e gratuita, permitindo qualquer pessoa modificar e distribuir, ou seja, os usuários têm a capacidade de utilizar o código-fonte e de personalizar as funcionalidades de acordo com interesse. Um tipo de hardware livre seria como o Arduino e o Raspberry Pi, que é aplicável na automatização de casas e em impressoras 3D.

Segundo McRoberts (2018), Arduino e Raspberry Pi são computadores robustos que podem processar, por meio das suas entradas, saídas e componentes externos conectados — sensores, luzes ou *displays*. Além disso, há uma comunidade na Internet, isto é, fóruns com usuários divulgando ideias sobre projetos e soluções com os computadores. Dessa maneira, esses dispositivos pré-montados e compostos por eletrônica pouco rebuscada permitem que o usuário comum possa montar qualquer dispositivo por meio de um site.

Conforme Kondaveeti *et al.* (2021), o uso desse hardware apresenta algumas desvantagens, como baixa capacidade de memória, poder de processamento — quão rápido ele entrega a informação — e design, pois, normalmente, os circuitos ficam expostos. Entretanto, esses projetos têm um ótimo potencial para oferecer inovação tecnológica ou um

produto substancialmente aprimorado.

### 2.3 SOFTWARE LIVRE

Software proprietário é aquele sobre o qual apenas uma empresa possui controle para realizar melhoramentos e correções. Em contrapartida, há o software livre, que possibilita a qualquer pessoa o acesso ao código fonte. Diante desse cenário, o Exército Brasileiro, pela sua dimensão, não tem interesse em gastar com licenças de software proprietário, devido à grande quantidade de equipamentos. Segundo Stallman (2002), a restrição do uso de um programa traz prejuízo para a sociedade, pois impede voluntários de melhorarem suas funcionalidades.

Stallman é o fundador da *Free Software Foundation (FSF)*, organização responsável pela divulgação de software livre. Ele trabalhava com pesquisa no *Massachusetts Institute of Technology (MIT)* e, como era da área da computação, manipulava os softwares para realizarem outras funções, porém os desenvolvedores começaram a fechar os códigos fonte na década de 1970. Esse pesquisador pediu algumas vezes pelo acesso ao código fonte de softwares proprietários para os desenvolvedores, entretanto, as empresas começaram a recusar compartilhar esse código. Diante disso, ele se sentiu frustrado com o fechamento dos programas e decidiu trabalhar na criação de softwares livres, conceito definido pelas seguintes liberdades:

- A liberdade de executar o programa como quiser, para qualquer propósito (liberdade 0).
- A liberdade de estudar como o programa funciona, e alterá-lo de forma que ele faça sua computação como você deseja (liberdade 1). Acesso ao código-fonte é uma pré-condição para isso.
- A liberdade de redistribuir cópias e assim você pode ajudar outros (liberdade 2).
- A liberdade de distribuir cópias de suas versões modificadas para outros (liberdade 3). Ao fazer isso, você pode dar a toda uma comunidade a chance de se beneficiar de suas alterações. Acesso ao código-fonte é uma pré-condição para isso (STALLMAN, 2002, p. 20).

### 2.4 GUERRA ELETRÔNICA

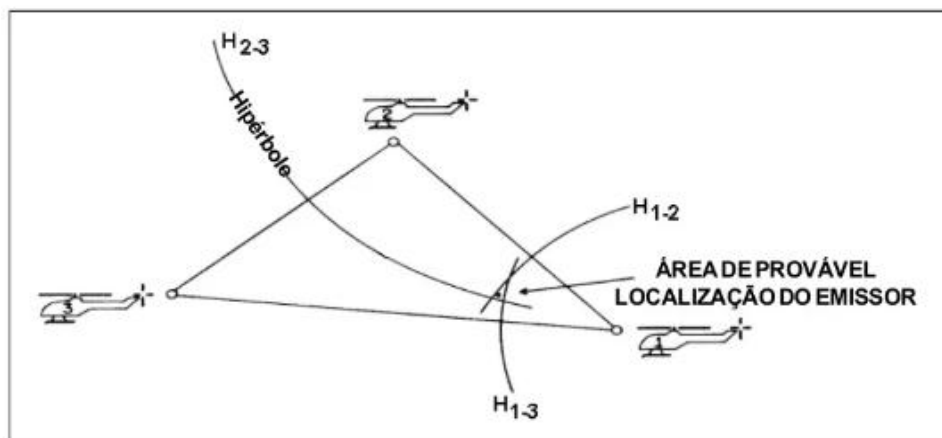
O manual Emprego da Guerra Eletrônica define Guerra Eletrônica (GE) como “o conjunto de atividades que visam desenvolver e assegurar a capacidade de emprego eficiente das emissões eletromagnéticas próprias, ao mesmo tempo em que buscam impedir, dificultar ou tirar proveito das emissões inimigas” (EXÉRCITO BRASILEIRO, 1999, p. 2-3). A GE, no



entanto, é dividida em alguns ramos, como Medidas de Apoio de Guerra Eletrônica (MAGE), Medidas de Proteção Eletrônica (MPE) e Medidas de Ataque de Guerra Eletrônica (MAE), de acordo com o mesmo manual (EXÉRCITO BRASILEIRO, 1999).

Neste trabalho especificamente serão analisados projetos para a localização eletrônica (Loc Elt), que é o processo de determinação da fonte emissora. Os experimentos, em grande parte, utilizam a Diferença do Tempo de Chegada (TDAO), que, por meio de cálculos matemáticos com hipérbole, conforme a Figura-1, definirão a localização; e também podem utilizar a técnica Direção de Chegada (DOA), que consiste na utilização de um ou mais azimutes para localizar o emissor.

Figura 1 — TDAO



Fonte: Exército Brasileiro (1999, p. 4-7).

O sinal trafega à velocidade da luz e a diferença de seu tempo de chegada em uma estação monitoradora — ou helicóptero — resultam nas sobreposições gráficas hiperbólicas em volta do emissor (CAFFERY JR.; STÜBER, 1998).

Essa técnica é útil no contexto de operações ofensivas, já que o ataque coordenado precisa da Loc Elt, pois é um dado complementar para o planejamento desse tipo de operação. Obter a localização eletrônica é uma técnica definida como Medidas de Apoio de Guerra Eletrônica (MAGE). Pelo manual Emprego da Guerra Eletrônica, Loc Elt são medidas que visam à obtenção e análise de dados, a partir das emissões eletromagnéticas de interesse, oriundas do oponente (EXÉRCITO BRASILEIRO, 1999). A localização eletrônica é uma técnica importante em operações militares, pois permite que monitore a localização de tropas, equipamentos e alvos inimigos em tempo real. Isso pode ajudar a tomar decisões táticas e estratégicas importantes em operações militares.

## 2.5 MEDIDAS DE PROTEÇÃO ELETRÔNICA (MPE)

As MPE têm como objetivo impedir: interceptar transmissões eletromagnéticas, localizar os emissores, obter informações por meio da análise de sinais, interferir nos sistemas eletrônicos e obter êxito em suas ações de dissimulação e despistamento (EXÉRCITO BRASILEIRO, 1999). Algumas contramedidas eletrônicas são utilizadas como: mensagens preestabelecidas, redução do número de mensagens, autenticação de postos, autenticação de mensagens e mudança de frequência.

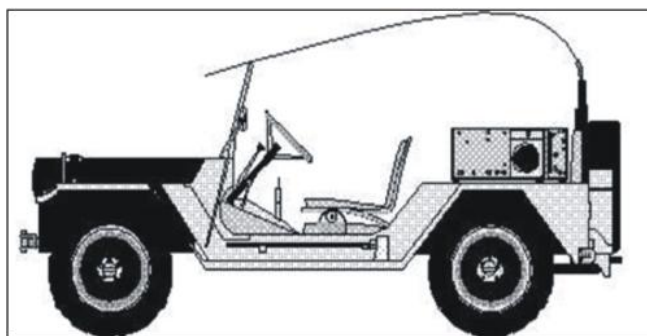
## 2.6 MEDIDAS DE APOIO À GUERRA ELETRÔNICA (MAGE)

As Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica, de acordo com o Manual de Guerra Eletrônica (EB-70-MC-10.402), são aquelas que têm como objetivo apoiar a ação da guerra eletrônica por meio de detecção, identificação, análise e interpretação dos sinais de rádio. As MAGE podem ser implementadas por técnicas como varredura, utilização de equipamentos de análise de sinais, desenvolvimento de inteligência artificial para análise e interpretação de sinais e utilização de equipamentos de comunicação segura para garantir a confidencialidade.

Neste trabalho, considerando-se a localização e as MAGE, a mudança de posição dos emissores seria uma medida de proteção que dificulta a análise porque altera a localização para achar a direção geral. Entretanto, o manual 34-1 ressalta a importância de as medidas de proteção serem bem treinadas, porque podem prejudicar a comunicação e colocar em risco a missão.

Outra medida ANTI-MAGE seria a mudança de polarização da antena, já que dois postos-rádio necessitam estar polarizados para se comunicarem. Esse parâmetro obriga o posto MAGE a ter a mesma polarização, entretanto com a mudança isso não é possível. Essa medida dificulta o alcance da MAGE para achar a localização. Na figura 2, apresenta-se a antena da viatura inclinada para horizontal, ou seja, esta foi coordenada para que houvesse a mudança da polarização.

Figura 2 — antena Omni Polarização



Fonte: Exército Brasileiro (2014, p. 2-6).

## 2.7 FORMAÇÃO DO OFICIAL DE COMUNICAÇÕES

As disciplinas oferecidas em um curso de Comunicações podem não incluir Eletrônica básica e Eletricidade, que são fundamentais para montar projetos com Arduino. É comum que as habilidades em projetos com Arduino não sejam ensinadas em muitas faculdades. De fato, o objetivo da formação do curso de Comunicações não é formar guerreiros eletrônicos, mas formar cadetes capazes de gerenciar e ter conhecimento sobre esses equipamentos. Para ter um conhecimento mais aprofundado, há o curso “Guerra Eletrônica” que pode ser realizado, posteriormente, depois dos 5 anos de formação.

É importante destacar que o conhecimento básico em Guerra Eletrônica pode ser extremamente útil para os cadetes em situações futuras. Por exemplo, em situações de operações, pode-se deparar com equipamentos de Guerra Eletrônica. Ressalta-se que nem todos os oficiais farão Guerra Eletrônica. Além disso, o conhecimento prático pode ser útil em outras áreas de atuação, como no planejamento e execução de operações militares que envolvam o uso de equipamentos eletrônicos.

O estudo dos ramos da guerra eletrônica (MAE, MAGE e MPE) é importante para a formação do futuro oficial. Entretanto, o enfoque no curso de Comunicações, no Plano de Disciplina da AMAN (2022), conforme a figura 3, seria as Medidas de Proteção Eletrônica com 6 horas previstas de instrução, ou seja, assuntos como MAGE e MAE são pouco abordados, assim como o contato com esses equipamentos de guerra eletrônica.

Figura 3 – PLADIS

| UD VII: Introdução à Guerra Eletrônica<br>ASSUNTOS                                | Cg H: 08 |   | OBJETIVOS DA APRENDIZAGEM / EIXO TRANSVERSAL  |
|---|----------|---|---|
|   | D        | N |   |
| a. Organização da GE em campos e ramos de atuação.                                | 01       | - | - Definir Guerra Eletrônica. (CONCEITUAL)<br>- Identificar a organização da GE em campos e ramos de atuação. (FACTUAL)<br><b>ET - AUTOCONFIANÇA</b>   |
| b. Ações abrangidas pela MAE e MAGE   | 01       | - | - Compreender as ações abrangidas pela MAE e MAGE. (CONCEITUAL)<br><b>ET - AUTOCONFIANÇA</b>  |
| c. Medidas de Proteção Eletrônica nos sistemas de comunicações e não comunicações | 06       | - | - Compreender os principais aspectos relativos ao ambiente eletromagnético hostil. (CONCEITUAL)<br>- Compreender as MPE de Com e N Com (CONCEITUAL)<br>- Compreender as Ações Anti-MAE e Anti-MAGE. (CONCEITUAL)<br>- Identificar as MPE Com e N Com nas ações Anti-MAE e Anti-MAGE. (FACTUAL).<br>- Identificar os principais procedimentos e tecnologias de MPE Com e N Com. (FACTUAL).<br>- Compreender os principais aspectos relativos ao treinamento das MPE Com e N Com. (CONCEITUAL).<br>- Realizar o preenchimento do Relatório de Bloqueio e Despistamento (RBD) (PROCEDIMENTAL)<br><b>ET - AUTOCONFIANÇA</b> |

Fonte: Pladis, 2022.

Mesmo que o objetivo da AMAN não seja formar profissionais técnicos, alterou-se em 2022 o currículo para os novos cadetes do curso básico, pois inseriu-se a disciplina Introdução à Programação. Isso pode ser uma vantagem para os alunos que desejam se aprofundar no tema com Python e desenvolver projetos de baixo custo por iniciativa própria para o monitoramento de sinais. Normalmente, os usuários utilizam tutoriais e kits básicos de Arduino para desenvolver projetos, não necessita saber muita programação para executar esses projetos.

Outro fato importante é que o único exercício no terreno que o destacamento de Guerra Eletrônica está no quadro pessoal dos cadetes é na Manobra Escolar, em que militares de Brasília são convidados a participarem da manobra, ou seja, o único momento que equipamentos de GE são aplicados na AMAN, porém nem todos os cadetes são designados a trabalharem no pelotão de guerra eletrônica, sendo assim, o militar, às vezes, passa seus 3 anos na arma de Comunicações sem ter o contato com essa tropa especializada; logo, a pesquisa busca projetos de baixo custo que podem ser confeccionados e inseridos no contexto acadêmico.

A seguir, segue alguns projetos de baixo custo de rádio direcionadores, isto é, dispositivos localizadores de sinais, úteis para o levantamento de informes do inimigo.

## 2.8 PROJETO 1

O primeiro projeto, conforme a figura 4, tem como base um equipamento chamado Wolfhound, que é capaz de captar a direção de um posto rádio. É um dispositivo portátil

direcionador utilizado pelo o Corpo de Fuzileiros Navais dos Estados Unidos, nele consegue a localização do emissor.

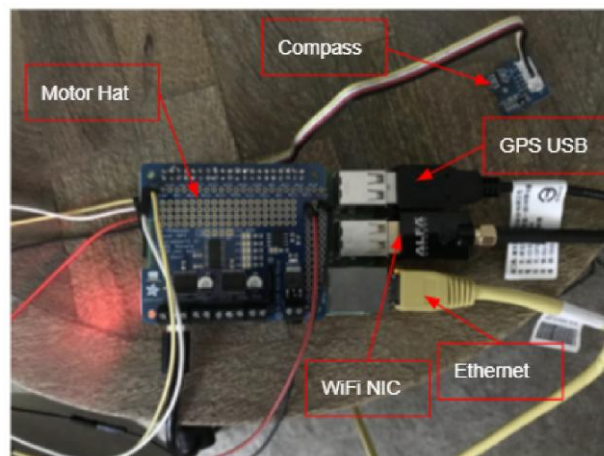
Figura 4 – Wolfhound



Fonte: Taub, Colon (2021, p. 4).

Em contrapartida para baratear Woulfwound, um projeto foi desenvolvido na Santa Clara University, nos Estados Unidos, o mesmo direcionador, mas em um chapéu militar conforme figura 5. Nessa peça de roupa, há um rádio direcionador mais compacto e leve com um Raspberry Pi (TAUB; COLON, 2021).

Figura 5 – Chapéu com RDS



Fonte: Taub, Colon (2021, p. 31).

Esse protótipo utiliza:

- a) 1 Raspberry Pi;
- b) GPS;
- c) Bússola;
- d) 4 Antenas;
- e) Motor HAT;

f) RTL-RDS.

Por meio de cálculos matemáticos específicos, e utilizando a técnica TDAO, encontra-se a direção geral. Esse experimento gira as 4 antenas sob um minimotor para obter os resultados. Assim, por meio de um projeto simples, consegue substituir o Woulfwound \$2,750.00.

## 2.9 PROJETO 2

O primeiro projeto traz a solução de substituir um produto caro. Porém, esse segundo projeto tem a finalidade de ser colocado em um veículo. O Exército Brasileiro utiliza as plataformas veiculares para o deslocamento no terreno, conforme figura 6.

Figura 6 – plataforma terrestre de GE



Fonte: Exército Brasileiro (2019, p. 4-2).

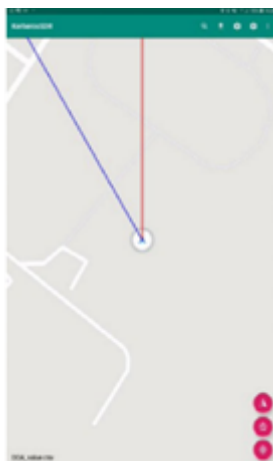
Segundo o manual da Guerra Eletrônica na Força Terrestre, as plataformas veiculares de GE garantem a “mobilidade e força, rapidez e o deslocamento entre as posições de operação”. A ideia do projeto 2 é o aproveitamento de um aplicativo de celular Android para guiar a direção e a utilização de um veículo como locomoção (BRASIL; BRUSCATO, 2021).

Os materiais utilizados foram:

- a) RDS Kerberos;
- b) Raspberry Pi 3;
- c) 4 antenas;
- d) Celular com sistema operacional Android;
- e) Base para suporte e configuração do sistema.

Esse experimento busca seguir os passos de um tutorial,<sup>1</sup> o celular cria uma rede WiFi para conectar ao Raspberry Pi, já o SDR com 4 antenas é conectado via USB. Dessa vez, o aplicativo móvel KerberosRDS dará uma direção por uma linha azul. Os detalhes gráficos das formas de ondas são captados pela antena e a amplitude capta o ângulo incidente do emissor. No Figura 7, apresenta-se a direção por uma linha azul, e a linha vermelha serve para indicar a direção da navegação.

**Figura 7 – aplicativo KerberosRDS**



Fonte: Brasil, Bruscato (2021, p. 32).

Assim, a ideia do projeto 2 é trazer a mobilidade das plataformas de GE empregadas pelo Exército Brasileiro; na verdade, seria a utilização de outros veículos não equipados como Vtr Marruá ou qualquer veículo sem equipamento localizador.

## 2.10 PROJETO FÊNIX

O projeto Fênix é uma solução inovadora para coleta de sinais em regiões remotas e com pouca infraestrutura, permitindo a operação remota de estações de monitoração por meio da utilização de RTL-SDRs e software SDR#.

Esse projeto são estações improvisadas e instaladas em áreas com EBNet, conforme a imagem 8. Segundo Castellani, 2019, a partir da faixa de 8Mhz e com o software SDR#, é possível fazer a demodulação de sinais e mensagens de voz com o custo de 6 mil reais, isto é, com custo cerca de 250 vezes menor. Esse projeto não trabalha com a localização de sinais, mas sim com a escuta do espectro eletromagnético para aproveitar informes, visto que não possui um circuito com Arduino ou Raspberry Pi com programação. Entretanto, utiliza um

---

<sup>1</sup> Disponível em: <https://www.rtl-sdr.com/ksdr/>.

software livre para monitoramento de sinais.

Figura 8 – Esquema do Projeto Fênix



Fonte: Castellani (2019, p. 40).

Diante dessas inovações, a pesquisa analisará alguns parâmetros de um equipamento importado, o R&S PR100, como as vantagens e desvantagens. Nesse sentido, a precisão é um aspecto muito importante para apresentar um informe confiável de inteligência sobre o inimigo. A quantidade de estações, também, pode oferecer um resultado mais preciso, visto que equipamentos militares importados são de alto custo.

O Centro de Instrução de Guerra Eletrônica adquiriu de SDRs da família USRP juntamente à empresa Ettus Research, ou seja, expandiu as possibilidades de treinamento e estudo no Laboratório de Sinais, permitindo atividades de adestramento em MAGE, treinamentos de MAE em laboratório e estudo de medidas de proteção eletrônica (Castelani, 2019).

Os SDRs USRP também possibilitam novas formas de integração da guerra eletrônica e da guerra cibernética, permitindo a maximização da eficiência de ataques conjuntos e a busca por vulnerabilidades em redes de Comando e Controle.

## 2.11 EQUIPAMENTO UTILIZADOS PELO EXÉRCITO BRASILEIRO

-R&S PR100: É um receptor portátil projetado e fabricado pela Rohde & Schwarz, utilizado, principalmente, para monitorar e analisar sinais de Radiofrequência (RF) em várias aplicações, como monitoramento de espectro e análise de sinais. O PR100 tem uma faixa de frequência de 9Khz a 7,5 GHz, possui um analisador de espectro embutido que fornece análise em tempo real de sinais de RF e os exibe em vários formatos. Dessa forma, é um dispositivo portátil conforme a figura 9, que pode ser transportado em locais diferentes e possui um design robusto, que permite aos operadores acessar rapidamente diversas funções (PETKOV, 2014).



Figura 9 – PR100



Fonte: R&S®PR100 Portable receiver (c2023).

Esse é um exemplo de dispositivo importado, utilizado pelas unidades de Guerra Eletrônica R&S PR100, que tem o valor estimado de R\$ 46.827,13. No Núcleo do Centro Regional de Inteligência do Sinal do Comando Militar do Sul (NuCRIS/CMS), até 2020, existiam 3 equipamentos e 1 estava em manutenção (LOMBELO,2020). Na pesquisa de Lombelo, destacaram-se as vantagens de estações sensoras de baixo custo como a flexibilidade de reconfiguração, interface mais intuitiva e melhor classificação e gerenciamento de frequência. Em seu trabalho trata da importância do hardware livre, pois traz como vantagem a possibilidade de desenvolvimento de novos plugins e a correção do software sem custo. A respeito da parte técnica, destacou a maior largura de banda, a melhor varredura FScan e o mesmo desempenho na varredura programável PScan.

Apresenta, também, desvantagens como desempenho inferior em parâmetros técnicos, menor faixa de operação, menor sensibilidade do receptor e manutenção não atendida pela cadeia logística do EB, isto é, qualquer problema de classe VII seria substituído pelo comércio local. Um defeito no receptor MAGE, uma manutenção especializada ou reposição de peças não é fácil e nem rápida. A solução RDS apresenta uma situação mais favorável nesse sentido, devido ao custo relativamente baixo das peças (LOMBELO, 2020).

Mesmo com limitações, uma solução com projetos de baixo custo foi utilizada pelo NuCRIS no Comando Militar do Sul apenas para a decodificação de sinais digitais, utilizando o RTL-SDR e o software livre DSDPlus para o processo de decodificação.

Essa mesma solução foi realizada em 2017 com RTL-SDR para funcionar como estação remota de Inteligência de Sinais, isto é, para se obterem informes como a localização eletrônica, o estudo de viabilidade durou 120 dias. Chegou-se num esquema semelhante ao Projeto Fênix, em que uma antena instalada captava com RDS o sinal para análise do espectro. Em suma, a estação sensora de valor reduzido depois do estudo de viabilidade mostrou uma solução para um novo equipamento para ser utilizado em missões, exercícios de

adestramentos e não um substituto do equipamento importado.

A seguir foi elencado nos testes de 120 dias as vantagens e desvantagens do uso de RDS de baixo custo.

Vantagens do RDS de baixo custo:

- **Flexibilidade para reconfiguração:** por se tratar de um hardware livre, o usuário pode adaptar as capacidades da operação. Juntamente a isso, traz a possibilidade de mexer no software de monitoramento trazendo outra vantagem a seguir.
- **Possibilidade de desenvolvimento de novos plugins e correção de software:** o software livre DSDPlus pode ser atualizado por milhares de pessoas na internet, pois é uma plataforma livre.
- **Baixo custo:** o RTL-SDR custa em torno de 150 reais. O Airspy R\$ 2000,00. Isso viabiliza a compra de mais equipamentos e conseguir analisar mais emissões em diversas localidades; quanto maior o número de equipamentos, maior a precisão de localização.
- **Automação dos informes de inteligência:** com aquisição de novos RTL-SDR, permitirá que operadores de inteligência consigam gravar, por meio de um plugin, somente no caso de transmissão, reduzindo o tamanho da gravação.
- **Melhor largura de Banda e Melhor Varredura FScan:** /9\*-Hz. A Varredura FScan utilizada para sintonizar e decodificar sinais com tempo de 16s; em contrapartida, o equipamento importado faz no tempo de 38s.

Desvantagens:

- **Segurança:** uma preocupação, pois não tem as mesmas medidas de segurança que um equipamento importados, as informações no RDS devem ser bem protegidas. Mas, para solucionar isso, deve utilizar conexões seguras como a VPN, utilizar um software seguro e utilizar um hardware livre atualizado com correções feitas pelos usuários.
- **Menor Faixa de Operação:** o RTL-SDR opera até 1766 MHz, enquanto o equipamento importado do EB ocupa até 7,5 GHz.
- **Menor sensibilidade do receptor:** a figura de ruído do R&S foi de 22 dB enquanto do RTL-SDR de 7 dB. Representa perda da qualidade do Sinal.

## 2.12 O PROGRAMA RDS-DEFESA

O Centro Tecnológico do Exército (CTEx) criou um programa estratégico com o objetivo de desenvolver uma tecnologia nacional para substituir tecnologias importadas, como os rádios Harris, e padronizar o uso do mesmo rádio pelas três Forças Armadas. Essa

iniciativa evidencia o compromisso do Exército Brasileiro com o desenvolvimento tecnológico nacional, que pode ser fortalecido com a incorporação de projetos de baixo custo, como os realizados com Raspberry Pi. Esses projetos podem oferecer soluções inovadoras e acessíveis para a aquisição e desenvolvimento de equipamentos de comunicação, impulsionando o avanço tecnológico e reduzindo custos para a instituição. Assim, a busca por tecnologia nacional é uma prioridade estratégica do CTEEx e pode ser beneficiada com a incorporação de projetos de baixo custo em suas iniciativas.

O Projeto Rádio Definido por Software do Ministério da Defesa foi autorizado pela Portaria n.º 2.110-MD em 9 de agosto de 2012, e atribuído ao Exército Brasileiro a sua coordenação. Dessa maneira, o Centro de Tecnologia do Exército criou o Programa RDS-Defesa com o objetivo de desenvolver protótipos de rádios veiculares, portáteis (*manpack*) e de porte (*handheld*). O projeto teve orçamento de R\$100 milhões para execução ao longo de dez anos (PRADO FILHO; GALDINO; MOURA, 2017).

Esse projeto surgiu devido à dependência tecnológica, que vai além de adquirir um produto, pois os rádios necessitam de manutenção em longo prazo. Nesse sentido, com a tecnologia desenvolvida nacionalmente, os fornecedores poderão prestar apoio técnico e tirar dúvidas com custo zero sobre como operar os aparelhos. Dessa forma, o desenvolvimento da pesquisa sobre rádio definido por software cumpre parâmetros para um segmento estratégico e acompanha o cenário da arma de comunicações de estabelecer enlaces para a transmissão de voz, vídeo e dados em condições variáveis.

### **3 REFERENCIAL METODOLÓGICO**

#### **3.1 TIPO DE PESQUISA**

A abordagem é quantitativa e qualitativa. Primeiramente, realizou-se a pesquisa qualitativa no referencial teórico. Nesse sentido, utilizaram-se documentos, artigos científicos, cadernos de instrução, manuais e fóruns relacionados ao uso de software e hardware livre. Essa primeira parte foi feita para elencar principais projetos e comparar um caso de sucesso no Comando Militar do Sul na substituição de um equipamento importado.

Entretanto, para avaliar o ensino de Guerra Eletrônica na AMAN, realizou-se uma pesquisa quantitativa, pois permite que os dados coletados sejam facilmente analisados e quantificados. Além disso, uma resposta mais fechada pode ajudar a garantir que as informações coletadas sejam mais objetivas, sem a influência de opiniões e subjeções.

A escolha da abordagem foi pautada com o objetivo da pesquisa, pois o foco da pesquisa é mostrar que rádios de baixo custo podem substituir equipamentos importados. Entretanto, para aumentar a massa de conhecedores e de pequenos projetos, esses rádios de baixo custo devem estar inseridos na AMAN. Logo, deve ser medido o grau de conhecimento acerca de Guerra Eletrônica e de entendimento sobre a montagem de projetos de baixo custo.

#### **3.2 MÉTODOS**

O referencial teórico, quanto ao método, é a bibliográfica, e tem o objetivo de ser exploratório. Nesse sentido, utilizou-se, no trabalho, o Google Scholar e a Biblioteca Digital do Exército. Procurou-se um repositório científico de instituições conhecidas como IEEE Xplor, Revistas do Exército e ACM Digital Library.

#### **3.3 AMOSTRA**

A amostra foi composta por cadetes do curso de Comunicações, sendo 34 do 4º ano, 32 do 3º ano e 31 cadetes do 2º ano.

#### **3.4 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS**

Aplicou-se um questionário, por meio do formulário do Google Forms, para a coleta e

análise de dados. Primeiramente, questionou-se sobre a opinião dos estudantes a respeito da importância da inclusão da disciplina de introdução à programação no currículo, a confiança para entender um código Python já completo em um fórum, a concordância para substituir equipamentos caros de baixo custo e o nível de conhecimento sobre MAGE.

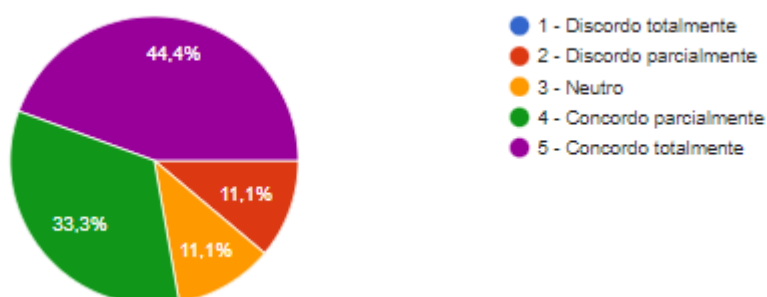
Essas perguntas foram feitas para medir o conhecimento acerca do tema que tem como problema a falta de equipamentos MAGE nas Organizações Militares, devido ao alto custo. E a discussão de RDS nos estabelecimentos de ensino para o pesquisador pode trazer maior quantidade de formadores de opinião acerca desses equipamentos.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, foi perguntado apenas para o segundo ano de comunicações a importância da inclusão da disciplina de introdução à programação no currículo do primeiro ano em 2022 para o prosseguimento no curso de Comunicações.

No gráfico 1, mostra-se que os cadetes 33,3 % concordam parcialmente. 44,4% concordam com a importância da inclusão da disciplina de introdução à programação no currículo totalmente. Nesse contexto, pode-se inferir que a maioria das pessoas concorda parcialmente com a importância da inclusão da disciplina de introdução à programação no currículo do primeiro ano para o prosseguimento no curso de Comunicações. É possível que essas pessoas acreditem que a introdução à programação seja útil para o curso de comunicações, mas, talvez, não considerem essa disciplina indispensável ou suficiente para o sucesso no curso. A minoria que concorda totalmente com a inclusão da disciplina pode acreditar que a programação é uma habilidade essencial para o curso de Comunicações e que deve ser ensinada desde o início do curso.

Gráfico 1 – a importância da inclusão da disciplina de introdução à programação no currículo

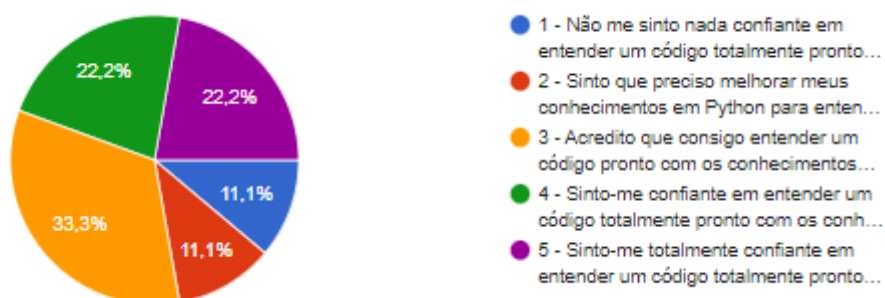


Fonte: Autor (2023).

A segunda pergunta abordou grau de confiança em utilizar os conhecimentos de Python adquiridos, no primeiro ano, para entender um código totalmente pronto em um fórum, já que muitos dos projetos seguiam tutoriais para realizar as funções. De acordo com o gráfico, 33,3 % acreditam que conseguem entender um código pronto com os conhecimentos de Python adquiridos no primeiro ano, mas com algumas dificuldades e 22,2% sentem-se confiante em entender um código totalmente pronto com os conhecimentos de Python adquiridos no primeiro ano. Com base nos resultados, pode-se concluir que a maioria dos cadetes tem alguma confiança em utilizar os conhecimentos de Python adquiridos no primeiro ano para entender um código totalmente pronto em um fórum, mas com algumas dificuldades.

No entanto, uma minoria significativa se sente totalmente confiante em utilizar esses conhecimentos para entender o código. Isso sugere que pode haver espaço para melhorias na forma como a disciplina de Python é ensinada aos cadetes ou na exposição a projetos práticos que os ajudem a desenvolver mais confiança em suas habilidades de programação.

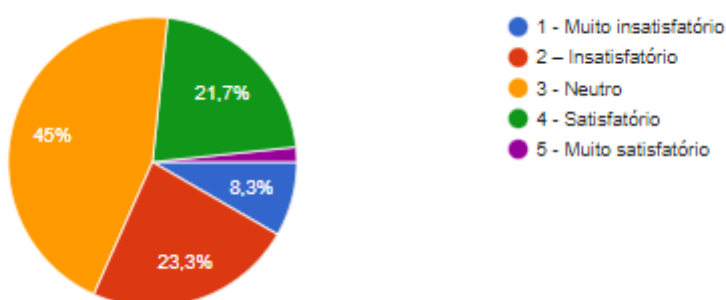
Gráfico 2 – Grau de confiança em utilizar os conhecimentos de Python



Fonte: Autor (2023).

A outra parte da pesquisa foi direcionada para o 3º ano e 4º ano, pois já concluíram o segundo ano de Comunicações e realizaram a disciplinas de Introdução a Guerra Eletrônica. Para isso foi perguntado o nível de satisfação em relação às instruções de Introdução à Guerra Eletrônica do segundo ano, em que exploraram-se conceitos como MAGE, MAE e, principalmente, MPE. Extraíram-se os seguintes resultados: 21,7% Satisfatório 1,7% Muito Satisfatório 8,3% Muito insatisfatório 45 % Neutro 23,3% Insatisfatório.

Gráfico 3 – Grau de satisfação em relação às instruções de Introdução a Guerra Eletrônica



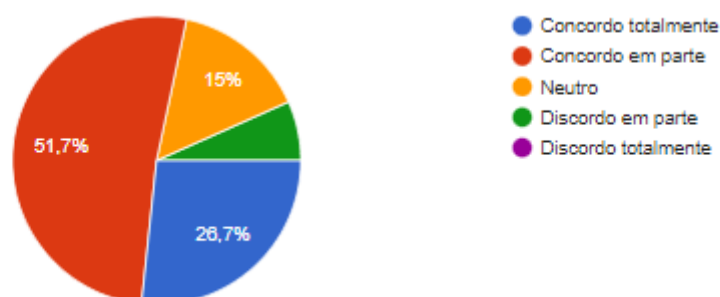
Fonte: autor (2023).

A partir desses resultados, pode-se concluir que a maioria dos cadetes ficou em uma posição neutra em relação às instruções de Introdução a Guerra Eletrônica (Unidade Didática VII) do segundo ano. Além disso, um número significativo de cadetes (31,6%) avaliou as

instruções como insatisfatórias ou muito insatisfatórias; enquanto apenas 1,7% as avaliaram como muito satisfatórias. Isso sugere que há espaço para melhorias nas instruções e na abordagem de conceitos importantes como MAGE, MAE e MPE na AMAN.

Também com o 3º e 4º, foi perguntado o nível de concordância em relação à substituição de equipamentos importados por produtos alternativos de valor reduzido no terreno. Selecionaram-se, apenas, esses dois últimos anos, pois referem-se à realização dos exercícios no terreno no curso de Comunicações e a maior ocorrência de experiência com equipamentos.

Gráfico 4 – Nível de concordância de equipamentos de baixo custo



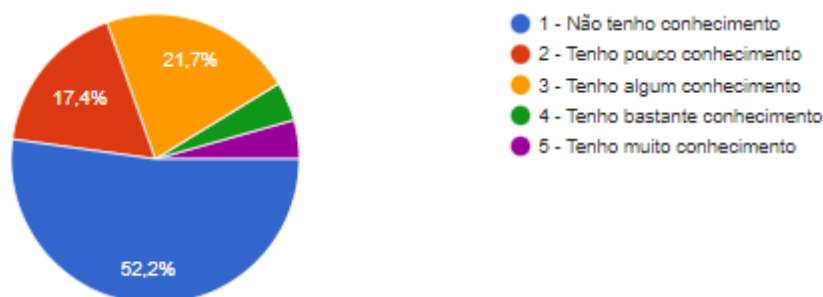
Fonte: Autor (2023).

Com base nos dados fornecidos, pode-se concluir que a maioria das pessoas concorda, pelo menos em parte, com a substituição de equipamentos importados por produtos alternativos de valor reduzido no terreno. No entanto, ainda há uma parcela significativa de pessoas que não concorda ou que não tem uma posição clara sobre o assunto. É possível que as pessoas que discordam ou que têm uma posição neutra estejam preocupadas com a qualidade ou eficácia dos produtos alternativos de baixo custo em comparação aos produtos importados mais caros.

Por fim, foi perguntado o nível de conhecimento sobre Raspberry Pi ou Arduino, hardware livre essencial para a execução desses projetos, essa pergunta foi realizada âmbito Curso de Comunicações para poder entender o perfil acerca do tema.



Gráfico 5 – Nível de conhecimento sobre Raspberry Pi ou Arduino



Fonte: autor (2023).

Com base nos resultados, conclui-se que a maioria dos cadetes do curso de Comunicações não tem conhecimento sobre o uso de placas Arduino ou Raspberry Pi. Apenas uma pequena porcentagem dos militares relatou ter algum ou bastante conhecimento sobre o assunto. Uma maneira de melhorar a formação em relação a projetos com Arduino seria oferecer cursos extracurriculares, workshops e projetos práticos que envolvam essas tecnologias para que os cadetes possam aplicar o conhecimento na prática e adquirir habilidades relevantes. O oferecimento de cursos extracurriculares já ocorre na AMAN, por meio de um grêmio de Cibernética coordenado pelo curso de Comunicações. Entretanto, o enfoque é a Guerra Cibernética, uma alternativa seria implementar Guerra Eletrônica, devido à integração dos dois temas.

#### 4.1. PROJETO 1

Em relação aos projetos de baixo custo 1, obtiveram-se os seguintes resultados: foi feito um sistema leve, capaz de localizar um emissor de um watt a uma distância de até 200. O sistema foi capaz de identificar a direção em que estava virado graças à bússola e a localização de onde a medição foi feita através do GPS.

O sistema apresentou vários problemas que inibiram sua capacidade de trabalho. O primeiro deles refere-se ao fato de que o motor não era forte o suficiente para girar a antena de forma confiável em incrementos consistentes. Isso se deveu em parte a problemas com o motor HAT. O motor HAT enviava pulsos falsos para o motor, fazendo com que ele fizesse um som de tique-taque e aquecesse sem se mover. Outro problema foi que nenhum dos membros da equipe tinha conhecimento suficiente em Python para converter os arquivos de GPS do Python 2 para o Python 3. A equipe aprendeu muito sobre o processo de design de

engenharia e descobriu muitas mudanças que poderiam ter sido feitas para alcançar melhor seus objetivos.

Nesse contexto, houve a inclusão da disciplina "Introdução à Programação", para os novos cadetes do curso básico, que agora aprendem Python. Isso pode ser vantajoso para aqueles que desejam se aprofundar no tema e desenvolver projetos, como o projeto de baixo custo mencionado anteriormente. Atualmente, os cadetes têm a oportunidade de desenvolver suas habilidades de programação e aplicá-las em projetos que possam ser úteis para a carreira de oficial. Aprender Python pode ajudar a desenvolver soluções para problemas técnicos, como o mencionado no projeto de baixo custo, e pode ser uma habilidade valiosa em uma variedade de contextos, incluindo na área de defesa.

#### 4.2. PROJETO 2

A implementação de equipamentos importados da MAGE é um problema caro, e existem problemas adicionais, como dependência de fornecedores estrangeiros, dificuldades de manutenção e reparo e a necessidade de treinamento especializado para operar tais equipamentos. No entanto, uma solução foi proposta na forma de um projeto que utiliza um aplicativo Android para orientar a direção e o uso de um veículo para plataformas de GE baseadas em solo.

Os materiais utilizados neste projeto incluem RDS Kerberos, Raspberry Pi 3, quatro antenas, um telefone celular com sistema operacional Android e uma base para suporte e configuração do sistema. O experimento segue os passos descritos em um tutorial e usa o aplicativo móvel KerberosRDS, que cria uma rede WiFi para se conectar ao Raspberry Pi. O SDR, com quatro antenas, é conectado via USB e o aplicativo móvel fornece uma direção por meio de uma linha azul.

Os resultados dos testes foram considerados satisfatórios e o sistema foi capaz de estimar a DOA com coerência ao empregar a geometria ULA usando os quatro algoritmos. Os testes foram realizados em dois cenários diferentes e o sistema se mostrou produtivo em ambos os casos.

No primeiro cenário, o software Kerberos foi utilizado no Raspberry Pi, por meio do navegador do celular, com o aplicativo KerberosRDS, mas a utilização do aplicativo não foi proveitosa porque os equipamentos estavam estáticos e a direção da linha vermelha do aplicativo mudava constantemente, gerando confusão na inserção das linhas azuis no mapa. No entanto, verificou-se que o sistema conseguiu estimar a DOA (direção geral) com

coerência. No segundo cenário, os equipamentos foram colocados dentro de um veículo em movimento, e o aplicativo. O teste com o aplicativo em movimento mostrou-se muito produtivo, pois, além de estimar as DOA, foi possível estimar a localização eletrônica por meio da verificação das linhas direcionadoras azuis no aplicativo. Constatou-se que a estimação da localização eletrônica obteve uma boa precisão.

#### 4.3. PROJETO FÊNIX

O projeto Fênix se trata de uma solução altamente inovadora para a coleta de sinais em regiões remotas e pouco estruturadas. Graças à utilização de RTL-SDRs e software SDR#, as estações do Fênix são capazes de operar remotamente e cobrir, em tempo real, uma faixa de 8 MHz do espectro eletromagnético, com a capacidade de processar até 30 canais de comunicações simultaneamente.

Adicionalmente, o software SDR# permite a demodulação de sinais digitais e a extração da mensagem de voz em protocolos digitais, como P25, DMR e TETRA, bem como a realização de trabalhos de análise. O custo total de uma estação de monitoração remota do Fênix é bastante acessível, ficando abaixo de seis mil reais, cerca de 250 vezes inferior ao custo de uma estação que utiliza equipamento militarizado com aplicações similares.

Com a aquisição de SDRs da família USRP juntamente à empresa Ettus Research, o CIGE (Centro de Instrução de Guerra Eletrônica) ampliou suas possibilidades de treinamento e estudo no Laboratório de Sinais, possibilitando atividades de adestramento em MAGE, treinamentos de MAE em laboratório e estudo de medidas de proteção eletrônica. Os SDRs USRP também permitem novas formas de integração da guerra eletrônica e cibernética, maximizando a eficiência de ataques conjuntos e a busca por vulnerabilidades em redes de Comando e Controle (C2).

Dessa forma, pode-se concluir que o projeto Fênix é uma solução altamente inovadora e de baixo custo para coleta de sinais em regiões remotas, permitindo a realização de trabalhos de análise e contribuindo para a ampliação das possibilidades de treinamento e estudo em GE. A utilização dos SDRs USRP também abre novas possibilidades de integração da guerra eletrônica e cibernética, tornando-se um importante recurso para a maximização da eficiência de ataques conjuntos e a busca por vulnerabilidades em redes de C2.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se com este trabalho que o SDR é uma tecnologia que permite um único dispositivo possa ser configurado em operar em diversas frequências e modos de comunicação, como AM, FM, 3G, SSB. Isso significa que um único dispositivo é possível comunicar em diferentes bandas de frequência. O uso de SDR de baixo custo permite que escolas militares tenha acesso a tecnologia sem a necessidade de altos investimentos. O uso de SDR na AMAN permite a realização de treinamentos mais realistas e próximas das operações reais, o que pode preparar melhor os cadetes em situações que enfrentarão no futuro.

Entretanto, o SDR de baixo custo pode incluir desafios na utilização, a segurança das comunicações deve ser garantida, pois esse equipamento de baixo custo pode aumentar a vulnerabilidade das comunicações a ataques ou interceptações, o que pode ser um grande desafio. Outro desafio seria a interferência eletromagnética que pode afetar a capacidade do SDR e seus resultados para a LocElt. Além disso, outro problema seria a complexidade técnica, inserir uma nova tecnologia exige militares com experiência. Sendo assim, deve haver um treinamento de militares para operar esses equipamentos. Esses desafios podem ser superados com treinamento adequado, planejamento na utilização de redes seguras e monitoramento constante dos sistemas.

Nessa pesquisa, o RDS de baixo custo apresenta vantagens em termos de preço e flexibilidade, mas é importante considerar que esses equipamentos podem não ter a mesma qualidade que um importado de alto custo. Além disso, os RDSs importados podem ter recursos que não estão disponíveis no de baixo custo. Portanto, é importante avaliar as necessidades específicas de cada aplicação, mas cabe destacar que o RDS de baixo custo mostrou como uma alternativa como no Comando Militar do Sul para determinadas frequências.

Além disso, a inserção de projetos de baixo custo para a formação de cadetes da AMAN pode ser benéfica de várias maneiras. Primeiramente, pode ajudar a desenvolver habilidades práticas e podem ser aplicadas em situações reais, além disso, projetos de baixo custo incentivam a criatividade e o pensamento inovador. Realizando a pesquisa de referencial teórico, notou que oficial do exército não necessita ter muito o conhecimento a fundo, porém o reconhecimento desses equipamentos de baixo custo pode ser importante para a carreira do Oficial, já que nem todos os cadetes realizarão o Curso de Guerra Eletrônica.

Em suma, para não enfrentar problemas, a arma de Comunicações deve-se atualizar

constantemente e deve operar de forma eficiente. É importante que as forças armadas tenham acesso a equipamentos modernos e confiáveis para garantir a segurança e o sucesso das missões. A capacidade de transmitir informações, em tempo real, faz a diferença em situações críticas.

Nesse sentido, a atualização constante e o uso de equipamentos modernos e confiáveis são essenciais. Isso é particularmente verdadeiro na área de Comunicações, que desempenha um papel crucial na transmissão de informações em tempo real. No entanto, um desafio para as forças armadas é a precisão na direção do inimigo usando a MAGE, em que alguns projetos mostraram dificuldades em obter precisão com uma antena pequena. Uma possível solução para este problema é o uso de mais dispositivos monitoradores de sinais, o que pode aumentar a precisão. No entanto, é importante notar que esses pequenos projetos não têm um acabamento robustecido adequado para situações de guerra.

Mostrou-se, também, que o Exército Brasileiro está investindo em tecnologia nacional e está em uma tentativa de substituir os rádios americanos da Harris. Esses equipamentos nacionais devem seguir alguns fatores como a interoperabilidade dos rádios com outras forças. Além disso, devem construir rádios robustecidos, capazes de operar em condições adversas com a alta temperatura, umidade e choque mecânico.

Nesse aspecto, a criação de novas tecnologias retira a dependência de equipamentos importados e cria uma tecnologia nacional. Outro problema no desenvolvimento de um rádio direcionador seria uma interface intuitiva, a título de exemplo, os rádios da Harris têm uma configuração complexa para inserir alguns parâmetros, com a criação de rádio nacional facilitará na configuração, pois trará as demandas operativas do Exército Brasileiro.

Dessa forma, a criação de novas tecnologias nacionais, como o Programa RDS, retira a dependência de equipamentos importados e pode proporcionar uma tecnologia mais adaptada às demandas operacionais do Exército Brasileiro, além de trazer investimento nacional. É importante lembrar que um plano de comunicações utiliza uma variedade de rádios para não depender de um único sistema que possa ser comprometido por guerra eletrônica inimiga, e que a precisão na direção do inimigo pode ser melhorada com a existência de mais dispositivos monitoradores de sinais, garantindo maior precisão. A utilização de SDR de baixo custo permite que escolas militares, como a AMAN, tenham acesso a essa tecnologia sem a necessidade de altos investimentos, o que pode proporcionar treinamentos mais realistas e próximos das operações reais, preparando melhor os cadetes em situações que enfrentarão no futuro.

A pesquisa realizada sobre rádios desenvolvidos por software de baixo custo possui

uma relevância significativa tanto para a área específica de comunicações militares quanto para a ciência de maneira mais ampla. Ao explorar as possibilidades e desafios relacionados ao uso de SDR de baixo custo, essa pesquisa contribui para o avanço do conhecimento na área de tecnologia de comunicações, fornecendo informações valiosas sobre a viabilidade e as limitações dessa abordagem.

A importância dessa pesquisa para a área de comunicações militares reside na possibilidade de oferecer soluções acessíveis e eficientes para as forças armadas. O uso de rádios desenvolvidos por software de baixo custo permite que escolas militares e instituições similares tenham acesso a tecnologias avançadas sem a necessidade de altos investimentos financeiros. Isso possibilita a realização de treinamentos mais realistas e próximos das operações reais, preparando melhor os militares para enfrentar desafios futuros.

Além disso, a pesquisa destaca a importância da segurança das comunicações militares e identifica desafios que devem ser superados, como a vulnerabilidade a ataques e interceptações. Ao fornecer essas informações, a pesquisa contribui para o desenvolvimento de estratégias e protocolos de segurança mais eficazes, garantindo a confiabilidade e a integridade das comunicações militares.

No contexto da ciência em geral, essa pesquisa amplia nosso conhecimento sobre a aplicação de SDR de baixo custo, explorando suas vantagens e limitações. Portanto, esse trabalho sobre rádios desenvolvidos por software de baixo custo desempenha um papel crucial na promoção do avanço tecnológico e científico na área de comunicações militares, ao mesmo tempo em que contribui para o conhecimento geral sobre o uso de SDR.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Neuler André Soares de; RODAS, Saulo Erick Rocha; MARQUES, Wiston Muniz Ramos. Investimento em pesquisa e inovação tecnológica: um estudo de caso para o Brasil. **Estudo & Debate**, v. 27, n. 1, p. 7-28, 2020. Disponível em: <http://www.univates.br/revistas/index.php/estudoedebate/article/view/2195>. Acesso em: 22 jul. 2022.

AMAN. **Plano de Disciplina**. Resende: Exército Brasileiro, 2022.

AMAN. **Plano Integrado de Disciplina**. Resende: Exército Brasileiro, 2022

BRASIL. **Lei Complementar n.º 97, de 9 de junho de 1999**. Dispõe sobre as normas gerais para a organização, o preparo e o emprego das Forças Armadas. Brasília: Presidência da República, 1999. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/lcp/lcp97.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp97.htm). Acesso em: 22 jul. 2022.

BRASIL. **Decreto n.º 3.897, de 24 de agosto de 2001**. Fixa as diretrizes para o emprego das Forças Armadas na garantia da lei e da ordem, e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 2001. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/2001/d3897.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2001/d3897.htm). Acesso em: 22 jul. 2022.

BRASIL, Felipe Barcellos; BRUSCATO, Anderson Tavares. O emprego de softwares e hardwares livres, da atualidade, na localização de emissões. **Data & Hertz**, v. 2, n. 2, p. 26-33, jan./dez. 2021.

BRUSCATON, Anderson Tavares. **Instalação e configuração de uma estação de rádio base (ERB) utilizando rádio definido por softwares (RDS) e softwares livres**. 2015. Disponível em: <https://bdex.eb.mil.br/jspui/bitstream/123456789/8251/1/Cap%20Tavares.pdf>. Acesso em: 14 fev 2023.

CAFFERY JR., James; STÜBER, Gordon L. Subscriber location in CDMA cellular networks. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, v. 47, n. 2, p. 406-416, maio 1998. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/669079>. Acesso em: 22 jul. 2022.

CASTELLANI, Fernando Henrique. O emprego de rádios definidos por *software* de baixo custo no ensino de guerra eletrônica. **Doutrina Militar Terrestre em Revista**, v. 7, n. 20, p. 36-41, out./dez. 2019. Disponível em: <http://ebrevistas.eb.mil.br/DMT/article/view/3277>. Acesso em: 22 jul. 2022.

EXÉRCITO BRASILEIRO. **Manual de campanha sobre o Emprego da Guerra Eletrônica**. Brasília: Ministério da Defesa, 1999.

EXÉRCITO BRASILEIRO. **Caderno de Instrução de Guerra Eletrônica de Comunicações**. Brasília: Ministério da Defesa, 2014a.

EXÉRCITO BRASILEIRO. **Caderno de Instrução Medidas de Proteção Eletrônica**. Brasília: Ministério da Defesa, 2014b.

EXÉRCITO BRASILEIRO. **Manual de Campanha**: operações. 5. ed. Brasília: Comando de Operações Terrestres, 2017. Disponível em: <https://bdex.eb.mil.br/jspui/bitstream/1/848/3/EB70-MC-10.223-%20Opera%C3%A7%C3%B5es>. Acesso em: 22 jul. 2022.

EXÉRCITO BRASILEIRO. **Manual de Campanha**: a guerra eletrônica na força terrestre. Brasília: Comando de Operações Terrestres, 2019. Disponível em: <https://bdex.eb.mil.br/jspui/bitstream/123456789/3217/3/EB70MC10201.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2022.

KONDAVEETI, Hari Kishan *et al.* A systematic literature review on prototyping with Arduino: applications, challenges, advantages, and limitations. **Computer Science Review**, v. 40, 100364, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1574013721000046>. Acesso em: 24 jul. 2022.

LOMBELO, Daniel Michel Najm. **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**. 2020. Disponível em: <https://bdex.eb.mil.br/jspui/bitstream/123456789/8844/1/MO%206291%20-%20LOMBELO.pdf> Acesso em 22 abr 2023

MCROBERTS, Michael. **Arduino básico**. São Paulo: Novatec Editora, 2018.

MITOLA, Joseph. Cognitive radio for flexible mobile multimedia communications. *In*: 1999 IEEE INTERNATIONAL WORKSHOP ON MOBILE MULTIMEDIA COMMUNICATIONS, 1999, San Diego. **Proceedings** [...]. San Diego: IEEE, 1999. p. 3-10. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/819467>. Acesso em: 22 jul. 2022.

MITOLA, Joseph. Cognitive radio architecture evolution. **Proceedings of the IEEE**, v. 97, n. 4, p. 626-641, 2009. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4814771>. Acesso em: 22 jul. 2022.

PATOLIYA, Jignesh; MEHTA, Haard; PATEL, Hitesh. Arduino controlled war field spy robot using night vision wireless camera and Android application. *In*: NIRMA UNIVERSITY INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING (NUiCONE), 5., 2015, Ahmedabad. **Proceedings** [...]. Ahmedabad: IEEE, 2015, p. 1-5. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7449624>. Acesso em: 22 jul. 2022.

PAULA, Luiz Antonio Ramos de; FIGUEIRA, Nina Machado. O emprego do rádio definido por software como equipamento de medida de apoio à guerra eletrônica de baixo custo: uma proposta de estudo de viabilidade em grandes centros urbanos. **Giro do Horizonte**, v. 9, n. 1, p. 48-60, 2020. Disponível em: <http://ebrevistas.eb.mil.br/GH/article/view/8727>. Acesso em: 22 jul. 2022.

PETKOV, Matej; PIDANIC, Jan. Remote control software for R&S PR100 receiver. *In*: **Proceedings ELMAR-2014**. IEEE, 2014. p. 1-4. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6923367>. Acesso em 22 abr 2023

PRADO FILHO, Hildo Vieira; GALDINO, Juraci Ferreira; MOURA, David Fernandes Cruz.



Pesquisa e Desenvolvimento de Produtos de Defesa: reflexões e fatos sobre o projeto Rádio Definido por Software do Ministério da Defesa à luz do modelo de inovação em tríplice hélice. **Revista Militar de Ciência e Tecnologia**, v. 34, n. 1, p. 6-19, 2017. Disponível em: [http://rmct.ime.eb.br/arquivos/RMCT\\_1\\_sem\\_2017/artigo1\\_2017.pdf](http://rmct.ime.eb.br/arquivos/RMCT_1_sem_2017/artigo1_2017.pdf). Acesso em: 22 jul. 2022.

R&S@PR100 Portable receiver. [S. l.], 2023. Disponível em: [https://www.google.com.br/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.rohde-schwarz.com%2Fae%2Fproduct%2Fpr100-productstartpage\\_63493-9653.html&psig=AOvVaw1sqAVJBcu3HnPSIZjnlcCG&ust=1682280888701000&source=images&cd=vfe&ved=0CBMQjhxqFwoTCJj96fWmvv4CFQAAAAAdAAAAABAh](https://www.google.com.br/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.rohde-schwarz.com%2Fae%2Fproduct%2Fpr100-productstartpage_63493-9653.html&psig=AOvVaw1sqAVJBcu3HnPSIZjnlcCG&ust=1682280888701000&source=images&cd=vfe&ved=0CBMQjhxqFwoTCJj96fWmvv4CFQAAAAAdAAAAABAh). Acesso em: 22 abr. 2023.

STALLMAN, Richard M. **Free Software, Free Society**: Selected Essays of Richard M. Stallman. Boston: GNU Press, 2002.

TAUB, Jacob; COLON, Austin. **Radio Frequency Direction Finding System**. 2021. Tese (Bacharelado em Engenharia Elétrica e Computacional) - Universidade de Santa Clara, Santa Clara, Califórnia, 2021. Disponível em: [https://scholarcommons.scu.edu/elec\\_senior/63/](https://scholarcommons.scu.edu/elec_senior/63/). Acesso em: 22 jul. 2022.