



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

CURSO DE APERFEIÇOAMENTO AVANÇADO EM
GUERRA ELETRÔNICA

1º Ten (QC-CA) WILLIAN SATHLER LINO SOARES

**ANÁLISE DE RÁDIOS MÓVEIS DE COMUNICAÇÃO COM ENFOQUE EM
GUERRA ELETRÔNICA E APLICAÇÃO DE SOFTWARE PARA A PREDIÇÃO DE
ÁREA DE COBERTURA DE SINAIS DE RADIOFREQUÊNCIA EM VHF NO APOIO
AO PLANEJAMENTO DA GUERRA ELTRÔNICA.**

Rio de Janeiro

2018

1° Ten (QC-CA) WILLIAN SATHLER LINO SOARES

**ANÁLISE DE RÁDIOS MÓVEIS DE COMUNICAÇÃO COM ENFOQUE EM
GUERRA ELETRÔNICA E APLICAÇÃO DE SOFTWARE PARA A PREDIÇÃO DE
ÁREA DE COBERTURA DE SINAIS DE RADIOFREQUÊNCIA EM VHF NO APOIO
AO PLANEJAMENTO DA GUERRA ELTRÔNICA.**

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

Orientador:

CC Robson Ribeiro Carreira, M.Sc.

CIAW

Rio de Janeiro

2018

1º Ten (QC-CA) WILLIAN SATHLER LINO SOARES

**ANÁLISE DE RÁDIOS MÓVEIS DE COMUNICAÇÃO COM ENFOQUE EM
GUERRA ELETRÔNICA E APLICAÇÃO DE SOFTWARE PARA A PREDIÇÃO DE
ÁREA DE COBERTURA DE SINAIS DE RADIOFREQUÊNCIA EM VHF NO APOIO
AO PLANEJAMENTO DA GUERRA ELTRÔNICA.**

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

Aprovada em _____

Banca Examinadora:

CMG EN Gian Karlo Huback Macedo de Almeida, Msc – CIAW

CF T Wagner Santana de Freitas, Esp. – CIAW _____

CC Robson Ribeiro Carreira, MSc – CIAW _____

CIAW
Rio de Janeiro
2018

Dedico este trabalho a todos aqueles que me apoiaram no decorrer do curso de Aperfeiçoamento Avançado em Guerra Eletrônica, em especial minha esposa Evânia.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me permitiu chegar até aqui, aos meus pais Wiron e Maria das Dores que me educaram e me ajudaram em todos os momentos de minha vida. A minha querida esposa Evânia, pela companhia e pela ajuda nos afazeres do dia a dia. Ao meu orientador, pelos ensinamentos que em muito contribuíram no desenvolvimento do trabalho. A todos os militares e servidores do CIAW, aos professores do curso de Aperfeiçoamento Avançado em Guerra Eletrônica que com muita dedicação me transmitiram os conhecimentos necessários à elaboração deste trabalho.

Pessimismo leva à fraqueza, otimismo ao poder.
William James

ANÁLISE DE RÁDIOS MÓVEIS DE COMUNICAÇÃO COM ENFOQUE EM GUERRA ELETRÔNICA E APLICAÇÃO DE SOFTWARE PARA A PREDIÇÃO DE ÁREA DE COBERTURA DE SINAIS DE RADIOFREQUÊNCIA EM VHF NO APOIO AO PLANEJAMENTO DA GUERRA ELTRÔNICA.

Resumo

A comunicação é de fundamental importância para o sucesso de operações militares, pois permite obter o controle das ações empregadas. A guerra eletrônica de comunicações é hoje um ponto chave, pois com o avanço tecnológico é possível monitorar o espectro eletromagnético, impedir o uso do mesmo e obter informações importantes a respeito do inimigo. Desta maneira é fundamental o emprego de rádios móveis de comunicação que possuam recursos que garantam o uso do espectro eletromagnético com segurança. O presente trabalho realiza a análise de técnicas que permitem diminuir o risco na utilização de rádios móveis, como: Controle da potência de transmissão, o espalhamento em frequência e o uso de criptografia. Sendo o enfoque no controle da potência de transmissão. Também apresenta conceitos sobre o espectro eletromagnético, guerra eletrônica, predição da área de cobertura do sinal rádio, triangulação para localização de fontes emisoras e sobre bloqueio eletrônico. Adicionalmente é mostrado qual é o futuro para os rádios móveis de comunicação. Também, é realizada a análise dos rádios mais utilizados pelo Corpo de Fuzileiros Navais da Marinha do Brasil em relação aos recursos apresentados e com a utilização do software VE2DBE é feito a análise da predição da área de cobertura para diferentes valores de potência de transmissão para estes rádios. Foi possível concluir que os rádios móveis utilizados pelo Corpo de Fuzileiros Navais possuem os recursos descritos e que ao aumentar a potência de transmissão, a área de cobertura também aumenta, possibilitando que o inimigo consiga obter a posição do transmissor com mais facilidade, assim softwares de predição podem ser utilizados para prever a área de cobertura e ajudar no emprego da potência adequada para realizar a comunicação, contribuindo para o planejamento de guerra eletrônica em operações militares.

Palavras-chave: Guerra eletrônica, comunicação, recursos tecnológicos, predição da área de cobertura, rádios móveis de comunicação, corpo de fuzileiros navais da Marinha do Brasil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Rádio de comunicação móvel.....	17
Figura 2 – Ambiente de guerra eletrônica.....	19
Figura 3 - Espectro eletromagnético.....	23
Figura 4 - Mecanismos de propagação de ondas de VHF.....	24
Figura 5 - Predição da propagação do sinal de rádio pelo software VE2DBE.....	25
Figura 6 - Estrutura das medidas de guerra eletrônica.....	30
Figura 7- Relação entre a potência de transmissão e a área de cobertura.....	31
Figura 8 - Esquema da técnica de triangulação.....	34
Figura 9 - Geometria da triangulação.....	34
Figura 10 - Triangulação utilizando um único SRS em movimento.....	35
Figura 11 - Técnica empregada na tecnologia de saltos em frequência.....	36
Figura 12 - Distribuição espacial de radiação de uma antena omnidirecional.....	37
Figura 13 - Padrão de radiação direcional.....	38
Figura 14 - Representação da chegada do sinal do bloqueador.....	39
Figura 15 - Propriedades dos Rádios Cognitivos.....	41
Figura 16 - O ciclo cognitivo.....	42
Figura 17 - Simulação com frequência 52 MHz e potência de transmissão de 5W.....	50
Figura 18 - Simulação com frequência 52 MHz e potência de transmissão de 20W.....	53
Figura 19 - Simulação com frequência 52 MHz e potência de transmissão de 50W.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros de entrada para o modelo ITS e seus limites.....	26
Tabela 2 – Sugeridos para os parâmetros do modelo ITM.....	27
Tabela 3 – Tipo de terra.....	27
Tabela 4 – Climas e valores sugeridos para a refratividade da superfície.....	28
Tabela 5 – Recursos presente nos RCM mais utilizados pelo CFN.....	48
Tabela 6 – Diferentes pontos próximos ao rádio transmissor.....	49
Tabela 7 - Pontos para potência de transmissão de 5 W.....	51
Tabela 8 – Pontos para potência de transmissão de 20 W.....	52
Tabela 9 – Pontos para potência de transmissão de 50 W.....	55
Tabela 10 - Frequência e ganho para a antena AT-1288B.....	61

LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS

RCM	Rádio Móvel de Comunicação
PRC	Portable Radio Communication
CFN	Corpo de Fuzileiros Navais da Marinha do Brasil
GE	Guerra Eletrônica
EEM	Espectro Eletromagnético
UIT	União Internacional das Telecomunicações
ANATEL	Agencia Nacional de Telecomunicações
DBM	Doutrina Básica da Marinha
AçGE	Ações de Guerra Eletrônica
CGE	Capacidade de Guerra Eletrônica
AGE	Atividades de Guerra Eletrônica
MGE	Medidas de Guerra Eletrônica
MAGE	Medidas de Apoio à GE
MAE	Medidas de Ataque Eletrônico
MPE	Medidas de Proteção Eletrônica
RRI	Rádios Receptores de Interesse
BPI	Baixa Probabilidade de Interceptação
SRS	Sistemas Receptores de Sinal
DC	Direção de Chegada
RC	Rádio Cognitivo

RDS	Rádios Definidos por Software
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
BL	Sistemas Bloqueadores
ABL	Sistemas Anti-Bloqueadores

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Apresentação do Problema	14
1.2 Justificativa e Relevância	15
1.3 Objetivos	16
1.3.1 <i>Objetivo Geral</i>	16
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	17
2. REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 O Espectro Eletromagnético e Propagação em VHF	19
2.2 Predição da Área de Cobertura e o Software VE2DBE	21
2.3 Conceitos de Guerra Eletrônica	25
2.4 Controle da Potência de Transmissão e Relação Sinal Ruído	27
2.5 Localização de Fontes Emissoras	30
2.6 Salto em Frequência (<i>Frequency Hopping</i>)	33
2.7 Padrão de Radiação de Antenas	33
2.8 Bloqueio em Comunicações Táticas	35
2.9 Criptografia	36
2.10 O Futuro Dos Rádios: Rádio Cognitivo e Rádio Definido por <i>Software</i>	37
3. METODOLOGIA	40
3.1 Classificação da Pesquisa	40
3.1.1 <i>Classificação Quanto aos Fins</i>	40
3.1.2 <i>Classificação Quanto aos Meios</i>	41
3.2 Limitações do Método	41
3.3 Coleta e Tratamento de Dados	42
4. DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	44
4.1 Análise Técnica	44
4.2 Controle da Potência de Transmissão e Aplicação de Software de Predição de Área de Cobertura de Sinais Rádio no Apoio ao Planejamento de GE	45

5. CONCLUSÃO	54
5.1 Considerações Finais	54
5.2 Sugestões para Futuros Trabalhos	54
REFERÊNCIAS	56
APÊNDICE A- Entrevista.	56
ANEXO - Manual Tadiran CNR-9000HDR/ IP Radio.	61
ANEXO - Manual Tadiran CNR-710	61

1. INTRODUÇÃO

Os rádios de comunicação móvel (RCM) são largamente utilizados em operações militares ao redor do mundo e desempenham papel fundamental na comunicação e controle das ações empregadas em combate. A Figura 1 apresenta o RCM modelo PRC-710, que é utilizado pelo Corpo de Fuzileiros Navais da Marinha do Brasil (CFN). Contudo o uso destes rádios pode gerar resultados indesejáveis, pois o inimigo pode utilizar as emissões eletromagnéticas produzidas por tais equipamentos para obter informações de seu interesse, como a localização, o conteúdo das informações ou utilizar métodos para negar o uso destes rádios.

Figura 1 – Rádio de comunicação móvel.



Fonte: Tadiran (1998).

Para se aumentar a segurança na utilização dos RCM, se destaca o controle da potência de transmissão, espalhamento em frequência e o uso de criptografia. Esses métodos são de fundamental importância e devem estar presentes em RCM militares.

O CFN está sendo constantemente empregado para garantir a segurança pública nas comunidades da cidade do Rio de Janeiro-RJ e em missões de paz, onde utilizam diariamente RCM. Desta maneira é de fundamental importância que utilizem RCM que garantam a segurança de suas manobras.

O presente trabalho tem por objetivo apresentar métodos para aumentar a segurança no emprego de RCM, abordar o uso de software para a predição da área de cobertura de sinais de rádio em VHF e realizar simulações para que se possa estimar a área de cobertura do sinal para diferentes valores da potência de transmissão.

1.1 Apresentação do Problema

A comunicação eficaz em combate sempre foi decisiva para o sucesso de uma operação militar, sendo o RMC uma das principais ferramentas de comunicação (KUCUKOZYIGIT, 2017). Este equipamento é largamente utilizado em todo mundo, pois é uma maneira eficaz de manter o fluxo de informações em tempo real e controlar toda a ação, essencial para o comando e controle de operações militares. Porém com o desenvolvimento tecnológico observado nas últimas décadas surgiram grandes desafios devido ao fato do Espectro Eletromagnético (EEM) poder ser completamente monitorado e controlado por agentes que possuam recursos tecnológicos para isso.

O uso destes rádios pode gerar resultados indesejados, tendo em vista que o inimigo pode utilizar as emissões eletromagnéticas produzidas por tais equipamentos para obter informações de seu interesse, como a localização, o conteúdo das informações ou utilizar métodos para negar o uso destes rádios. Para se garantir a utilização com segurança dos RCM, diversos métodos foram desenvolvidos. Dentre eles se destaca o controle da potência de transmissão, espalhamento em frequência e o uso de criptografia. Esses métodos são de fundamental importância e devem estar presentes em RCM militares (SAARNISAARI, 2017). Desta forma é importante realizar a análise se o Corpo de Fuzileiros Navais da Marinha do Brasil (CFN) utilizam RCM que empregam métodos que possam garantir sua utilização sob o ponto de vista da GE.

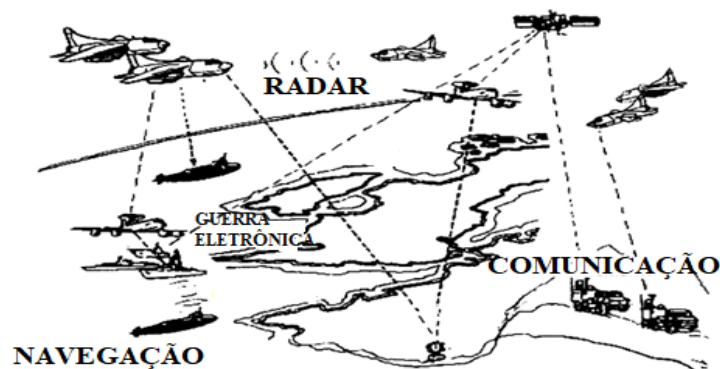
A predição da área de cobertura de rádios é de fundamental importância para o planejamento de uma operação militar, pois define em quais pontos se pode obter comunicação e evitar que o sinal se espalhe por áreas maiores que a necessária para a comunicação, diminuindo o risco de o inimigo monitorar os sinais rádios transmitidos. Desta forma é desejável que o CFN utilize tal ferramenta no apoio ao planejamento de GE.

Adicionalmente, o presente trabalho aborda o assunto de Rádios Cognitivos (RC), apenas para agregar conhecimento sobre o futuro da comunicação por RCM. Os RC exploram o EEM e são concebidos como dispositivos conscientes, adaptáveis e inteligentes, capazes de aprender e operar de forma autônoma em uma ampla gama de cenários, possuindo importantes características em aplicações militares (SILVA, 2011). Sendo alvo de forte pesquisa no cenário mundial, considerado o futuro para a área de comunicação no meio militar e civil, desta maneira é importante que a Marinha do Brasil (MB) acompanhe esse assunto.

1.2 Justificativa e Relevância

Com o avanço tecnológico a GE se tornou ponto chave em um campo de batalha, definindo a vitória ou a derrota. Países como os Estados Unidos da América e Israel, estão investindo fortemente em tecnologias para aprimorar seus equipamentos de comunicação tornando-os mais seguros. A GE é hoje um dos tópicos mais falados na indústria de defesa e espera-se que o mercado de GE cresça (SPEZIO, 2002). A Figura 2 apresenta um ambiente de GE, onde é fundamental obter o controle do EEM (SPEZIO, 2002).

Figura 2 - Ambiente de guerra eletrônica.



Fonte: Spezio (2002, p.634).

O CFN está sendo constantemente empregado para garantir a segurança pública nas comunidades da cidade do Rio de Janeiro, em missões de paz e exercícios militares onde os RCM possuem papel decisivo para as comunicações. O uso de RCM antigos e que não possuem recursos tecnológicos suficientes pode resultar em graves falhas para as comunicações realizadas do CFN, como: Permitir que o inimigo obtenha o conteúdo das informações transmitidas na comunicação, revelar a localização do rádio transmissor, transmitir indícios de ações do CFN para o inimigo pela monitoração do fluxo de comunicação, ter a comunicação interrompida por bloqueio (SAARNISAARI, 2017).

A não utilização de equipamentos adequados compromete a eficiência de uma operação militar devido às modernas tecnologias empregadas na GE. Os RCM são equipamentos muito dependentes de técnicas que evitam revelar a posição de quem o está utilizando, ter o conteúdo da informação transmitida interceptada pelo inimigo e evitar o bloqueio da comunicação (SPEZIO, 2002). Assim a Marinha do Brasil precisa empregar

equipamentos que estejam atualizados com as inovações tecnológicas e que garantam uma comunicação segura.

A predição da área de cobertura é de fundamental importância para saber o alcance do sinal rádio e a potência de transmissão a ser utilizada. Ao utilizar maiores potências de transmissão o sinal se propaga em distâncias maiores. Desta forma tendo a informação da correta potência de transmissão se pode garantir mais segurança a uma operação militar, pois evita que o sinal se propague em grandes áreas.

O presente trabalho se propõe a abordar os principais recursos tecnológicos empregados para aumentar a segurança no emprego dos RCM, analisar os principais RCM que o CFN fazem uso, realizar a predição da área de cobertura para diferentes valores de potência de transmissão utilizando o software VE2DBE, verificar a utilização de softwares de predição de área de cobertura no planejamento de guerra eletrônica e apresentar as perspectivas futuras para esses equipamentos.

1.3 Objetivos

O RCM possuem papel fundamental para a comunicação em combate e com a evolução da GE se tornou um ponto chave para se obter informações sobre o inimigo. Ter o conhecimento da área em que o sinal rádio está disponível é uma informação valiosa e os softwares atualmente disponíveis permitem obter essa informação de maneira prática. Esta seção tem por finalidade especificar o objetivo geral e específico do presente trabalho.

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar as tecnologias presentes em RCM utilizados pelo CFN com enfoque em GE, tendo como objetivo verificar se os RCM utilizados pelo CFN são adequados para serem empregados em um campo de batalha, onde se deseja equipamentos confiáveis em relação a GE.

Realizar entrevista a militares que possuem experiência no emprego de RCM, de forma a obter conhecimento em relação à forma como esses equipamentos são empregados e sobre o nível de conscientização dos militares em relação a GE. Adicionalmente, realizar simulações no software VE2DBE, que realiza a predição da propagação de sinais de rádio

frequência, com o objetivo de verificar a variação da cobertura do sinal transmitido com a variação de parâmetros como a potência de transmissão, em regiões importantes estrategicamente para a Marinha do Brasil.

Abordar sobre as principais tecnologias que estão em fase de desenvolvimento e que estarão presentes nos RCM em um futuro próximo. Possibilitando verificar em que rumo a MB precisa navegar para estar preparada para acompanhar o desenvolvimento tecnológico mundial em relação ao assunto abordado.

Ao termino, seremos capazes de analisar a situação dos RCM utilizados pelo CFN em relação a GE, verificar a utilidade do software de predição de área de cobertura VE2DBE, analisar a importância do controle da potência de transmissão para se controlar a área de cobertura do sinal transmitido e saber sobre o que esperar do futuro para a comunicação por rádio móvel na área militar.

1.3.2 Objetivos Específicos

Realizar um levantamento da literatura sobre assuntos relevantes a GE e sobre a aplicação de RCM neste contexto. Dentre esses assuntos se destaca a importância do controle de potência de transmissão, para evitar que o sinal transmitido se propague para áreas maiores que a necessária, aumentando a probabilidade de interceptação do sinal pelo inimigo. Conhecer os métodos de localização da posição do emissor através da interceptação do sinal transmitido pelo mesmo.

Apresentar, somente a título de agregar conhecimento, os padrões de irradiação de antenas e mostrar qual o melhor padrão dependendo da situação. Apresentar a técnica de espalhamento espectral, com foco na técnica de salto em frequência, que torna o sinal transmitido mais difícil de ser detectado pelo inimigo e é uma eficiente maneira de diminuir a probabilidade da comunicação ser alvo de bloqueio eletrônico (*jamming*). Descrever os conceitos sobre predição de área de cobertura, importante recurso empregado no meio civil e militar para estudar a propagação de sinal rádio. Também apresentar os conceitos de *jamming*.

Realizar a análise técnica de RCM utilizados pelo CFN, através da verificação de seu manual e verificar se os mesmos empregam as técnicas citadas no presente trabalho. Empregar o software VE2DBE com o objetivo de verificar a importância da utilização de software de predição da área de cobertura para o planejamento de GE, com a aplicação de

definir a potência de transmissão adequada a ser empregada nos RCM. Por fim e somente com o objeto de agregar conhecimento apresentar as tendências para o futuro para os rádios móveis de comunicação para o emprego militar.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

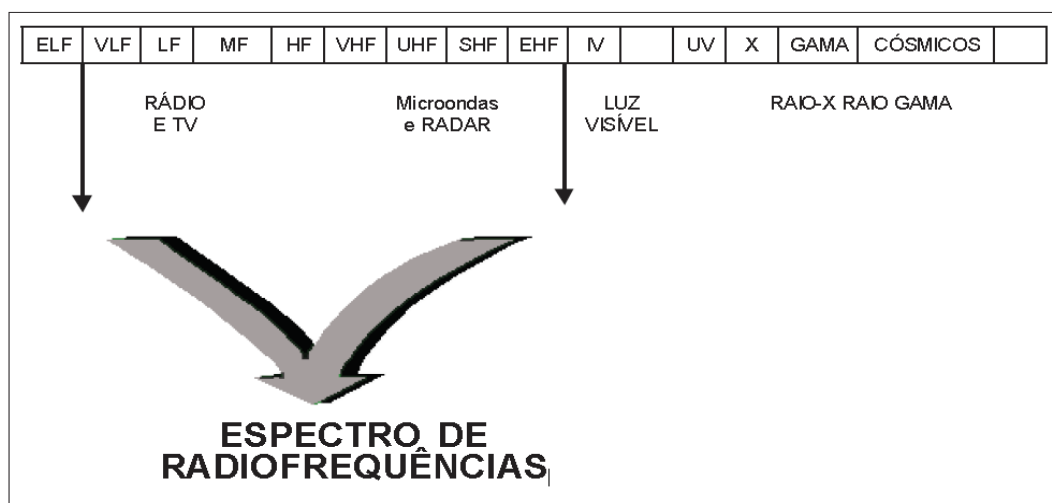
Nesta seção serão apresentados os trabalhos e documentos que envolvem a área de pesquisa e se destacam para o levantamento do arcabouço de conhecimento necessário para a abordagem do tema.

2.1 O Espectro Eletromagnético e Propagação em VHF

O objetivo deste tópico é apresentar os principais conceitos referentes à utilização do Espectro Eletromagnético (EEM) relacionado a RCM, em especial o espectro de radiofrequências (3 kHz a 300 GHz) que deve ser compartilhado entre o uso civil, governamental e militar, na paz e na guerra (BRASIL, 2002) e os conceitos da propagação em VHF. A figura 3 apresenta o EEM dando enfoque ao espectro de radiofrequência.

O EEM é utilizado por todos os países do mundo e a União Internacional das Telecomunicações (UIT) é o órgão controlador, que garante o uso do EEM, livre de interferências, para as diversas finalidades como comércio, transportes, medicina, industrial, comunicações (BRASIL, 2002). No Brasil a União é responsável pela regulamentação e fiscalização da exploração dos serviços de telecomunicações. Para isso foi criada a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), tal agência reguladora opera segundo as normas da UIT.

Figura 3 - Espectro eletromagnético.



Fonte: Brasil (2002, p.2-1).

Legenda da Figura 3:

ELF – Frequência extremamente baixa (0 a 3 KHz);

VLF – Frequência muito baixa (3 a 30 KHz);

LF – Frequência baixa (30 a 300 KHz);

MF – Frequência média (300 a 3000 KHz);

HF – Frequência alta (3 a 30 MHz);

VHF – Frequência muito alta (30 a 300MHz);

UHF – Frequência ultra alta (300 a 3000 MHz);

SHF – Frequência super alta (3 a 30GHz);

EHF- Frequência extremamente alta (30 a 300 GHz);

IV – Frequência de Infravermelho (10^{11} a 10^{15} Hz);

UV – Frequência Ultravioleta (10^{15} a 10^{16} Hz);

X – Raios X (10^{17} a 10^{20} Hz);

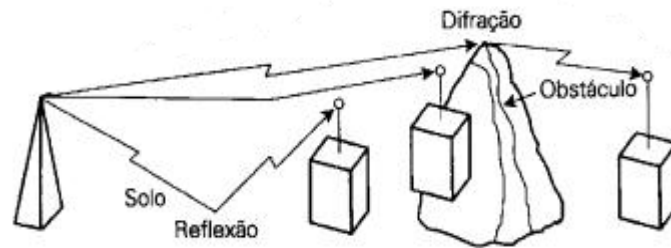
GAMA – Raios GAMA (a partir de 10^{19} Hz); e

CÓSMICOS - Raios Cósmicos (a partir de 10^{22} Hz).

Os RCM utilizam principalmente VHF e essa faixa de frequência é empregada para a comunicação a curtas distâncias, geralmente entre 3 a 30 quilômetros. A utilização das ondas de VHF ocorre na linha de visada e qualquer obstáculo como montanhas e prédios pode prejudicar a transmissão. São várias as aplicações para a faixa de VHF como em comunicações entre embarcações, aviões, veículos terrestres, televisões e transmissão de rádio FM.

Nas VHF predominam os mecanismos das ondas direta e refletida, onde a visada direta e a reflexão no solo ou em outros obstáculos são os fenômenos mais significativos. Outros efeitos importantes são as difrações sobre obstáculos naturais e prédios, bem como espalhamentos na troposfera. Como é apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Propagação de ondas de VHF.



Fonte: Steves, (1980).

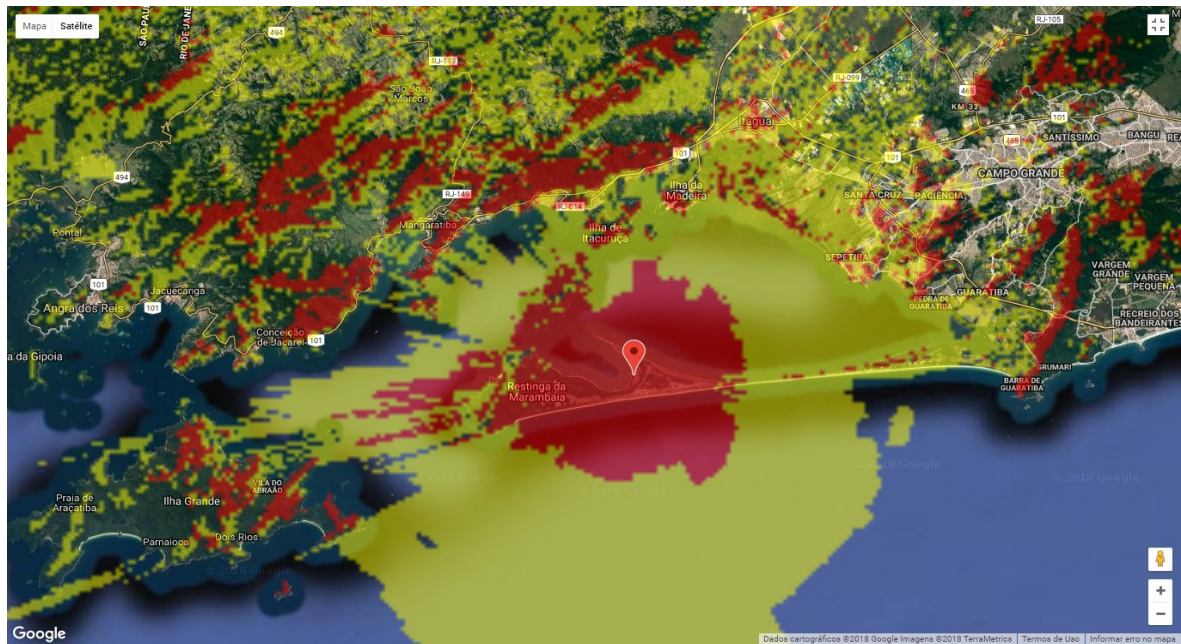
2.2 Predição da Área de Cobertura e o Software VE2DBE

O objetivo deste tópico é apresentar o conceito relacionado à predição da propagação de ondas de rádio, o modelo de predição *Irregular Terrain Model* (ITM) e o software VE2DBE.

Segundo George (1982) a propagação de rádio em um ambiente terrestre é um fenômeno cujas propriedades são difíceis de prever. Isto é particularmente verdadeiro em VHF, UHF, e SHF, onde a desordem de colinas, árvores e casas e a atmosfera em constante mudança fornecem obstáculos de dispersão com tamanhos da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda.

O software VE2DBE é uma ferramenta que permite realizar simulações da área de cobertura do sinal rádio, levando em conta o terreno (CONDÉ, 1988). A Figura 5 apresenta uma predição da área de cobertura gerada pelo VE2DBE, na região da restinga da Marambaia, considerando uma antena omnidirecional, frequência de 52 MHz e potência de transmissão de 35 W. O sinal vermelho se refere a um sinal forte e o sinal amarelo se refere a um sinal de menor intensidade. A simulação é realizada sobre uma imagem de satélite gerada pela ferramenta *Google Map*, de onde é possível visualizar regiões montanhosas, regiões planas, áreas urbanas, vegetação intensa, praias e o mar.

Figura 5 - Predição da propagação do sinal de rádio pelo software VE2DBE.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O software VE2DBE usa informações sobre o terreno digital e um modelo matemático para simular as transmissões de rádio entre dois pontos fixos (*link* de rádio) ou entre um transmissor fixo e um móvel (cobertura de rádio). A informação digital do terreno compreende três bases de dados: elevação do solo, cobertura do solo e densidade populacional (CONDÉ, 1988). O software utiliza o modelo de propagação *Longley-Rice* (CONDÉ, 1988). Os direitos autorais do software VE2DBE são de *Roger Condé*, engenheiro de telecomunicações canadense, que o disponibiliza como um software livre na internet.

O modelo de propagação *Longley-Rice* também é conhecido como *Irregular Terrain Model* (ITM) e foi desenvolvido na década de 60, elaborado para predição em terreno irregular. O modelo foi projetado para realizar a predição da cobertura para frequências na faixa de 20MHz a 20GHz e leva em consideração condições de relevo, clima e curvatura do solo (AMARAL, 2012).

A Tabela 1 apresenta os parâmetros de entrada para a predição da área de cobertura para o modelo ITM. Também indica os valores limites destes parâmetros permitidos.

Tabela 1 – Parâmetros de entrada para o modelo ITS com os seus limites.

<u>Parâmetros do Sistema</u>	
Frequência	20MHz a 20GHz
Distância	1 km a 2000 km
Altura da Antena	0,5 m a 3000 m
Polarização	Vertical ou Horizontal
<u>Parâmetros do Ambiente</u>	
Parâmetros de irregularidade do terreno (Δh), constantes de aterramento elétrico, refratividade da superfície, clima	Tabelados
<u>Parâmetros de Implantação</u>	
Crterios de Localizaçaõ	Aleatório, cuidadoso e muito cuidadoso.
<u>Parâmetros Estatísticos</u>	
Confiabilidade e nível de confiança	0,1% a 99,9%

Fonte: George (1982).

George (1982) define que os parâmetros do sistema são aqueles relacionados diretamente com o sistema de rádio envolvido. Os parâmetros do ambiente são aqueles que descrevem o ambiente ou, mais precisamente, as estatísticas do ambiente em que o sistema deve operar, são no entanto independentes do sistema.

A irregularidade do terreno (Δh), é tratado como uma função aleatória da distância de um dos terminais. Para caracterizar esse valor o modelo ITM usa somente um valor para tratar as irregularidades do terreno. A tabela 2 apresenta alguns valores sugeridos para esse parâmetro.

Tabela 2 – Valores sugeridos para os parâmetros do modelo ITM.

	Δh (metros)
Plano ou águas calmas	0
Planícies	30
Colinas	90
Montanhas	200
Montanhas acidentadas	500
Para um terreno médio use $\Delta h = 90$ m.	

Fonte: George (1982).

Os valores para as constantes de aterramento elétrico também são tabelados, valores para essa constante são apresentado na Tabela 3 como função do tipo de terra, água doce ou do mar.

Tabela 3 – Tipos de terra.

	Condutividade Relativa	Condutividade (Siemes por metros)
Terra Média	1	0,005
Terra pobre	4	0,001
Terra boa	25	0,020
Água doce	81	0,010
Água do mar	81	5

Fonte: George (1982).

A refratividade atmosférica deve ser tratada como uma função aleatória da posição e do tempo. A Tabela 4 apresenta alguns valores sugeridos para a refratividade em função do clima.

Tabela 4 – Climas e valores sugeridos para a refratividade da superfície.

	Ns (N- Unidade)
Equatorial (Congo)	360
Continental Subtropical (Sudão)	320
Marítimo Subtropical (Costa leste da África)	370
Deserto	280
Continental Temperado	301
Marítimo Temperado	350
Para Condições atmosféricas médias usar clima continental temperado e Ns = 301.	

Fonte: George (1982).

Os parâmetros estatísticos procuram levar em conta as variações aleatórias em que os sinais recebidos estão sujeitos. Assim é esperado que quando se varia os parâmetros fundamentais do sistema como: frequência, distância, alturas da antena e o clima os níveis de sinal observados irão sofrer alterações. Desta forma se define o nível de confiança de 0,1 % a 99,9% para a predição.

O software VE2DBE utiliza este modelo, onde ao definir a localização geográfica da antena os dados referentes aos parâmetros do ambiente são sugeridos e o usuário define os parâmetros do sistema, estatística de interesse e a potência do transmissor. Com esses dados o software gera a provável região de propagação do sinal.

2.3 Conceitos de Guerra Eletrônica

Este tópico tem por objetivo apresentar os conceitos de GE e tendo em vista que o presente trabalho pretende analisar os RCM em relação a GE é de fundamental importância conhecer tais conceitos, para relaciona-los aos métodos que serão analisados no decorrer do trabalho. Os principais conceitos de GE foram apresentados usando como referencia a Doutrina Militar Naval (DMN), EMA-305.

Segundo Brasil (2017) as ações de guerra eletrônica tem por finalidade explorar as emissões do inimigo, em toda a faixa do EEM, com o objetivo de conhecer sua ordem de batalha eletrônica e intenções. Adicionalmente, utilizar medidas adequadas para negar o uso efetivo de seus sistemas, enquanto se protege e utiliza, com eficiência, os próprios sistemas.

Para que um Poder Naval possa manter o seu poder combatente relacionado à GE é preciso que o mesmo mantenha sua Capacidade de Guerra Eletrônica (CGE).

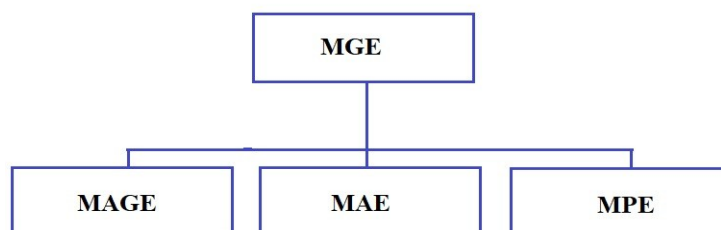
A CGE é representada pelo somatório de meios e recursos de toda ordem que permita empreender eficazmente ações de guerra eletrônica em proveito de suas operações. Ela compreende o desenvolvimento de todo o processo de construção, de avaliação e de manutenção, meios especializados para esse fim e engloba as Atividades de Guerra Eletrônica (AGE) e as Medidas de Guerra Eletrônica (MGE). (BRASIL, 2017, p.3-24).

A GE não está apenas relacionada ao campo de batalha, envolve também a fase que a antecede, onde se destaca as AGE. “As AGE são aquelas de caráter estratégico, tático ou logístico, que visem ao estabelecimento, à reformulação ou à verificação de uma CGE e ao apoio no planejamento do seu emprego, em uma operação naval”. (BRASIL, 2017, p.3-24). Já as MGE possuem natureza tática.

As medidas de guerra eletrônica (MGE) abrangem as ações efetivamente realizadas no decorrer de uma operação naval. A sua natureza é fundamentalmente tática e seu emprego deve estar amparado por um planejamento e pela adequabilidade das táticas e equipamentos utilizados. As MGE são divididas em três ramos: Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica (MAGE), Medidas de Ataque Eletrônico (MAE) e Medidas de Proteção Eletrônica (MPE). (BRASIL, 2017, p.3- 25).

A Figura 6 representa a divisão das MGE.

Figura 6 - Estrutura das medidas de guerra eletrônica.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As MGE são importantes e são empregadas no campo de batalha segundo a necessidade operativa, seguindo um plano de GE. Segundo Brasil (2017, p. 3-25) as MAGE visam “A monitoração, busca de interceptação, localização, análise, avaliação e correlação e registro dos sinais eletromagnéticos irradiados pelo opositor, com a finalidade de explorá-las em apoio às operações”.

Já as MAE são medidas de ataque, com o objetivo de negar o uso do EEM pelo inimigo e podem ser classificadas como destrutivas ou não destrutivas (BRASIL, 2017). Já as MGE são “Medidas com o propósito de proteção de meios, sistemas, equipamentos, pessoal e instalações, a fim de assegurar o uso efetivo do espectro eletromagnético, a despeito do emprego de MAE por forças amigas e inimigas”. (BRASIL, 2017, p. 3-25).

Para se comunicar em um ambiente de guerra é preciso ter o controle do EEM para não ser localizado ou ter a comunicação interceptada. Desta forma é preciso manter uma CGE que proporcione isso, com a utilização de equipamentos modernos e com pessoal qualificado. Desta forma é possível ver que a utilização das técnicas que aumentam a segurança na utilização dos RCM, é uma forma de melhorar as MPE.

2.4 Controle da Potência de Transmissão e Relação Sinal Ruído

O objetivo deste tópico é apresentar a importância de se realizar o controle da potência de transmissão dos RCM, apresentar o modelo de propagação no espaço livre, visualizar os fatores que afetam o sinal que chega ao receptor, apresentar o conceito de relação sinal ruído e concluir sobre a melhor maneira de utilização de potência na transmissão.

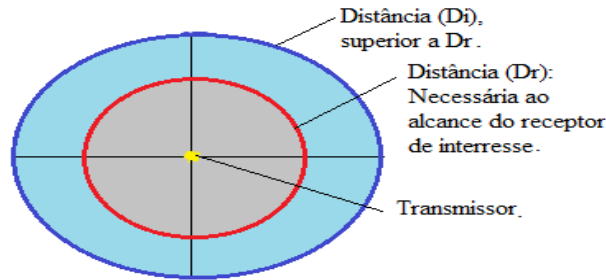
Este tópico apresenta a técnica que recebeu enfoque principal no capítulo 4, sendo abordada também nas simulações realizadas no software VE2DBE, que tiveram o objetivo de averiguar a relação entre potência de transmissão e área de cobertura de sinais rádio e a aplicação do software no apoio da definição da potência de transmissão adequada a ser utilizada em RCM em operações militares.

O ponto chave para o controle de potência de transmissão é saber a localização dos Rádios Receptores de Interesse (RRI), quando essa informação é conhecida é importante utilizar somente a potência necessária, caso contrário é desejável não utilizar potências muito elevadas quando o equipamento permite realizar tal controle.

A figura 7 ilustra esse fato, considerando D_r a distância entre o transmissor e o RRI e D_i uma distância superior a essa, pode se ver que ao utilizar uma potência de transmissão maior, o sinal transmitido abrange uma área maior, no caso uma área azul. Porém utilizando uma potência de transmissão menor o sinal fica disponível em uma área menor, no

caso a área cinza. Para aplicações militares, o sinal estar disponível em uma área menor é algo desejável, pois diminui a chance do inimigo conseguir detectar o sinal.

Figura 7 - Relação entre a potência de transmissão e a área de cobertura.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para saber o valor da potência que o equipamento rádio receptor irá receber o sinal transmitido, o modelo de propagação no espaço livre é utilizado, ele permite calcular qual potência a empregar dependendo da posição do RRI. Considerando que entre transmissor e receptor existe um meio onde não há obstrução da linha de visada direta entre as duas antenas, (TEIXEIRA, 2009, p.8). Assim, temos que:

$$P_R(d) = \frac{P_T G_T G_R \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \quad (1)$$

Onde:

- P_R – potência recebida;
- P_T – potência transmitida;
- G_T – ganho da antena transmissora;
- G_R – ganho da antena receptora;
- λ – comprimento de onda; e
- d – distância entre o transmissor e o receptor (em metros).

De acordo com a Equação (1) é possível concluir que a potência recebida é diretamente proporcional a potência de transmissão, aos ganhos da antena transmissora e da antena receptora, ao quadrado do comprimento de onda e inversamente proporcional ao quadrado da distância.

Teixeira (2009, p.8) diz que a atenuação sofrida pelo sinal (perda de propagação), medida em dB, é definida por:

$$L_{TOTAL}(\text{dB}) = 10\log\left(\frac{P_T}{P_R}\right) = -10\log\left(\frac{G_T G_R \lambda^2}{(4\pi d)^2}\right) \quad (2)$$

Se utilizarmos antenas omnidirecionais tanto na transmissão quanto na recepção ($G_T = G_R = 0$, em dB), teremos:

$$L_{TOTAL}(\text{dB}) = 10\log\left(\frac{P_T}{P_R}\right) = -20\log\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right) \quad (3)$$

A partir das Equações 1 e 3 é possível notar que a atenuação para uma antena com padrão de irradiação omnidirecional é diretamente proporcional ao quadrado do comprimento de onda e inversamente proporcional ao quadrado da distância. Assim quanto mais distante um RRI estiver, mais potência deve ser utilizada.

Saarnisaari (2017) diz que é importante que o sinal recebido possua relação sinal ruído (SNR) que permita identificar de maneira adequada a informação recebida, a SNR é dada por:

$$\text{SNR} = (\text{Potência do Sinal})/(\text{Potência do Ruído}) \quad (4)$$

Comparando as equações (1), (2), (3) e (4), é possível notar que aumentando a distância, a potência recebida do sinal diminui e a relação sinal ruído diminui, considerando o ruído aproximadamente constante. Logo, pode-se concluir que caso se tenha a localização dos RRI é importante controlar a potência de transmissão para que o sinal possua uma relação sinal ruído baixa em distâncias maiores que D_r , dificultando a interceptação do sinal por forças inimigas. Porém, caso não se tenha essa localização o controle da potência de transmissão irá depender da necessidade, sendo recomendado não transmitir com potências

muito elevadas. Esse controle da potência de transmissão é uma MGE, que se enquadra como MPE, pois é uma ação para a proteção.

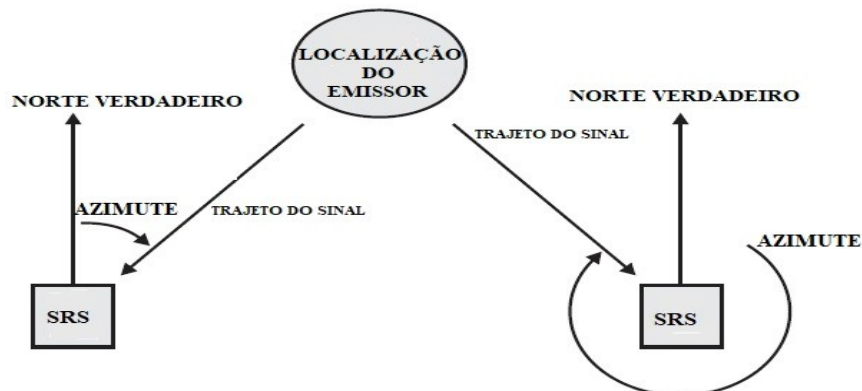
2.5 Localização de Fontes Emissoras

O objetivo deste tópico é apresentar a técnica de localização de fontes transmissoras conhecida como triangulação. Essa técnica foi utilizada no capítulo 4, com o objetivo de apoiar a análise da relação entre a potência de transmissão e a área de cobertura do sinal rádio. Pois com o sinal disponível em maiores áreas a probabilidade do inimigo conseguir empregar a triangulação para obter a localização do emissor é maior.

A localização de fontes emissoras inimigas é uma das ações mais importantes em GE. Os sistemas MAGE de localização de fontes emissoras devem fornecer uma cobertura de 360° e ser sensível o suficiente para detectar emissores distantes. Eles devem ser capazes de aceitar todos os tipos de modulação, incluindo os transmissores com Baixa Probabilidade de Interceptação (LPI) (ADAMY, 2009).

Uma das técnicas mais comuns empregadas para obter uma aproximação da localização de fontes emissoras é a triangulação, que usa dois ou mais Sistemas Receptores de Sinal (SRS) em diferentes localizações. Cada um desses SRS deve saber a direção de chegada (DC) do sinal de interesse e devem possuir uma referência angular, tipicamente o norte verdadeiro, (ADAMY, 2009). Como esquematizado pela Figura 8.

Figura 8 - Esquema da técnica de triangulação.



Fonte: Adamy (2009, p. 188).

Tendo em vista que a obstrução do terreno ou alguma outra condição pode fazer com que dois SRS não possuam o sinal desejado, é prática comum utilizar três ou mais SRS. Como é apresentado na Figura 9, os vetores DC dos SRS formam um triângulo. Idealmente, todos os vetores DC deveriam passar pela localização do emissor e o triângulo formado ser pequeno o suficiente para indicar a posição do emissor (ADAMY, 2009).

Os SRS devem normalmente se posicionar distante um do outro, suas localizações devem ser conhecidas e as informações coletadas dos vetores DC devem ser comunicadas para um centro único de análise para a informação da localização do emissor ser calculada (ADAMY, 2009).

Figura 9 - Geometria da triangulação.

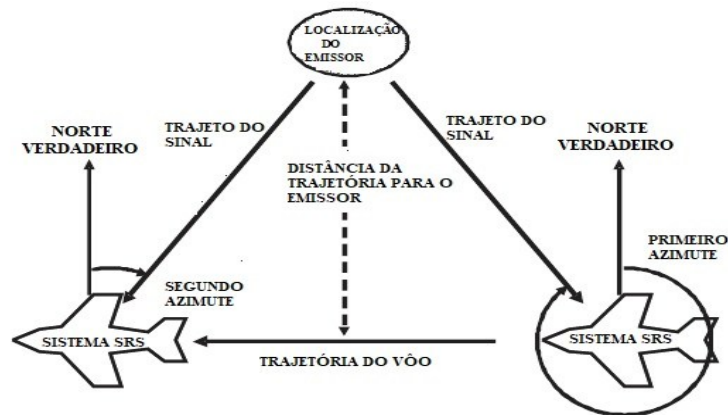


Fonte: Adamy (2009, p. 188).

É importante que cada posição do SRS seja capaz de receber o sinal do emissor. Se os sistemas SRS estão instalados em aeronaves, normalmente espera-se possuir a linha de visada do alvo emissor. Sistemas SRS localizados no solo terão mais exatidão se a posição no terreno permitir possuir a linha de visada, mas devem ser capazes de determinar a localização dos emissores além da linha do horizonte com exatidão aceitável.

Triangulação também pode ser realizada utilizando um único SRS em movimento, como mostrado na Figura 10. Normalmente só é aplicado em plataformas localizadas em aeronaves. As linhas de marcação devem cruzar o alvo em 90° . Onde a velocidade da plataforma em que o sistema SRS está montado e a distância entre o percurso de voo e o alvo ditarão o tempo necessário para uma localização precisa do emissor (ADAMY, 2009).

Figura 10 - Triangulação utilizando um único SRS em movimento.



Fonte: Adamy (2009, p. 188).

Esse método é caracterizado como uma MAGE, pois são um conjunto de ações visando à busca, interceptação, identificação e localização eletrônica das fontes de energia eletromagnética irradiadas no ambiente eletrônico, a fim de permitir a análise, o imediato reconhecimento de uma ameaça ou sua posterior exploração. O transmissor empregando uma potência elevada torna mais fácil o trabalho de quem está realizando a triangulação, pois o sinal estará presente de forma mais intensa e por uma região maior.

2.6 Salto em Frequência (*Frequency Hopping*)

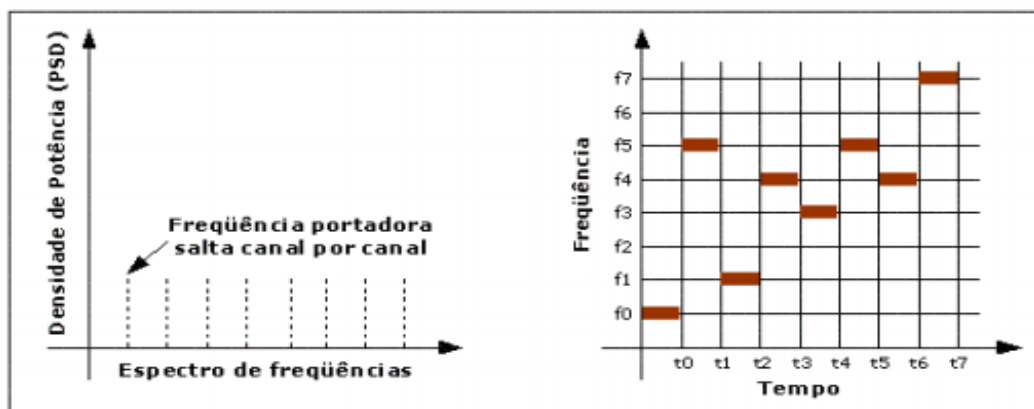
O objetivo deste tópico é apresentar a técnica de salto em frequência, muito utilizada nos RCM atuais, pois permite espalhar o sinal transmitido em frequência e dificultar a interceptação do mesmo. Essa técnica é importante, pois ao espalhar o sinal em frequência dificulta que o mesmo seja bloqueado. Essa técnica foi abordada no capítulo 4, onde se verificou nos manuais técnicos dos RCM mais utilizados pelo CFN a sua existência.

Essa técnica realiza a mudança constante da portadora, utilizando diferentes canais de frequência, essa troca é feita empregando um gerador de códigos “pseudo-randômico”, que gera códigos que parecem serem aleatórios mas que na verdade não o são, pois estão sendo gerados a partir de um processo determinístico (FERNANDES, 2002, p. 29). Para que o receptor consiga receber a informação transmitida é preciso que o mesmo monitore

os canais de frequência definidos pela sequência “pseudo-aleatória” (FERNANDES, 2002, p. 29). Como é ilustrado pela Figura 11.

Essa técnica é utilizada por RCM militares, pois possui a vantagem de aumentar a dificuldade da interceptação e bloqueio da comunicação pelo inimigo, pois o mesmo para isso deve saber o código “pseudo-randômico” utilizado na transmissão. Porém a utilização desta técnica possui a desvantagem de ocupar uma maior faixa do EEM, devido a utilização de diversos canais de frequência e o risco de ocorrer falhas na comunicação devido a falta de sincronismo e baixa capacidade de transmissão na ordem de 2Mbit/s (FERNANDES, 2002, p. 29). O salto em frequência pode ser classificado como uma MPE, pois é uma medida adotada para garantir o uso do EEM pela própria força.

Figura 11 - Técnica empregada na tecnologia de saltos em frequência.



Fonte: Fernandes (2002, p.30).

2.7 Padrão de Radiação de Antenas

O objetivo deste tópico é apresentar os tipos de padrões de irradiação de antenas e como esses padrões influenciam na transmissão e recepção de sinais do ponto de vista da GE. Todos os RCM abordados no capítulo 4 utilizam antenas omnidirecionais. Esse tópico tem o objetivo de agregar conhecimento e não foi empregado no capítulo 4.

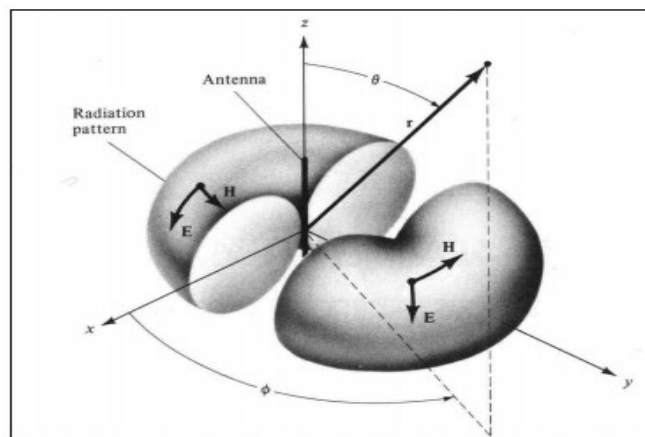
Podemos dizer que uma antena é um dispositivo usado para transferir e captar as ondas eletromagnéticas guiadas como sinais, ou seja, as ondas de radiação (rádio) em um meio ilimitado no espaço, geralmente livre. Cada antena é projetada para uma determinada

faixa de frequências, de modo que fora de sua banda de frequência de operação, a antena atenua o sinal acentuadamente ou o rejeita completamente, onde podemos dizer que a antena é um filtro passa-banda natural e um transdutor, funcionando como parte essencial em sistemas de comunicação sem fio (STEVES, 1980).

Segundo a definição utilizada pelo Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE) o padrão de radiação é a distribuição espacial de uma quantidade que caracteriza o EEM gerado por uma antena. Essa distribuição espacial pode ser expressa por meio de uma função matemática ou de uma representação gráfica.

O padrão de radiação pode ser dividido em omnidirecional e direcional, que depende do direcionamento. As antenas omnidirecionais são usadas quando a cobertura é exigida em todas as direções (horizontalmente), pois cobrem 360° de cobertura horizontal e possuem uma cobertura vertical variável. A Figura 12 apresenta a distribuição espacial do padrão de radiação de uma antena omnidirecional.

Figura 12 – Distribuição espacial de radiação de uma antena omnidirecional.

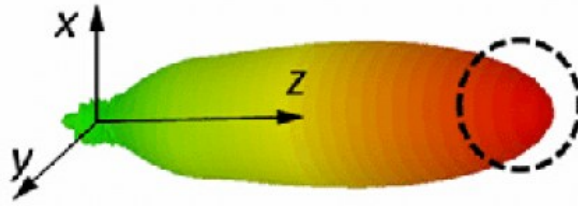


Fonte: Fernandes (2002, p. 30).

Antenas omnidirecionais por possuírem cobertura horizontal de 360° possuem a vantagem do sinal transmitido cobrir toda região em torno do transmissor, facilitando a recepção do receptor. Porém em aplicações militares essa característica pode trazer riscos, pois facilita que o inimigo detecte o sinal do rádio.

Antenas direcionais possuem uma direção fixa para transmissão e recepção de sinal. A figura 13 apresenta essa característica.

Figura 13 - Padrão de Radiação Direcional.



Fonte: Huang (2015, p.2).

Observando a Figura 13, pode-se notar que o sinal transmitido pela antena possui uma direção definida, não estando disponível em 360° . Desta maneira dificulta que o sinal seja interceptado pelo inimigo. Porém para se utilizar antenas com o padrão de radiação direcional é preciso saber a localização do receptor, informação nem sempre disponível.

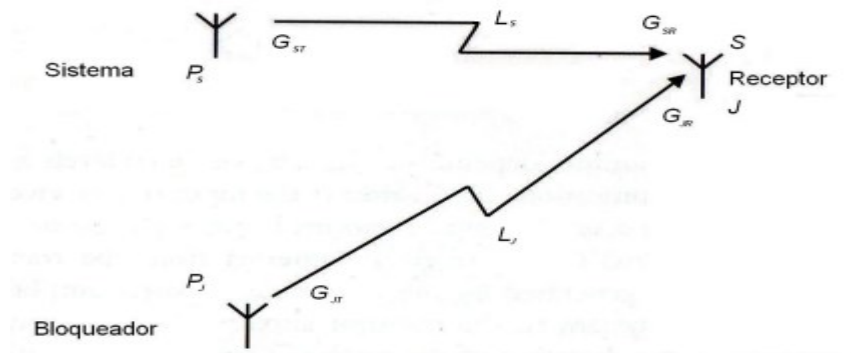
2.8 Bloqueio em Comunicações Táticas

O objetivo deste tópico é acrescentar conhecimento em relação ao bloqueio em comunicações, essa técnica é utilizada em combate e pode inviabilizar a comunicação, impedindo assim o fluxo de informações e prejudicando o comando e controle das ações empregadas.

O Bloqueio de Rádio Frequência (BRF) é uma maneira de inviabilizar um determinado tipo de comunicação com a emissão de um outro sinal. Um dispositivo bloqueador insere no espectro eletromagnético, propositalmente, sinais interferentes nas frequências de operação do sinal que se deseja bloquear, degradando a sua recepção (DA SILVA, 2009). Sistemas como esse são classificados como MAE e são uma importante estratégia de defesa baseada na dissuasão.

Para obter uma eficiência máxima no BRF é importante obter informações sobre o cenário-alvo, em especial o comportamento da propagação de ondas eletromagnéticas no ambiente, pois permite prever a área de cobertura esperada para o bloqueio. A área afetada pela irradiação do bloqueador depende do sinal do bloqueador e do sinal a ser bloqueado (DA SILVA, 2009). A Figura 14 ilustra esse fato.

Figura 14 - Representação da chegada do sinal do bloqueador.



Fonte: Da Silva (2009, p.24).

Pela análise da Figura 14 é possível notar que no receptor chega sinais eletromagnéticos oriundos do bloqueador e do sistema, o objetivo é impedir que se estabeleça a comunicação através do bloqueio. É importante notar que o bloqueio é percebido somente pelo receptor em questão e não em todo o sistema ao qual o mesmo faz parte (DA SILVA, 2009).

A capacidade de sobrevivência de um sistema de comunicação depende muito do seu grau de proteção contra os sistemas bloqueadores do inimigo. Uma maneira para evitar o bloqueio é a utilização da técnica de salto em frequência, como descrito no tópico 2.5, pois ao saltar de canal para canal, o que resulta em utilizar uma faixa de frequência maior e com o espalhamento do sinal em frequência o sistema de comunicação se torna mais imune ao bloqueio.

2.9 Criptografia

O objetivo deste tópico é introduzir o conceito de criptografia e contextualizar o uso desta técnica no contexto militar relacionado ao uso de RCM. Tendo em vista que o uso de criptografia está incluída na análise técnica realizada no capítulo 4.

A criptografia é o nome que se dá a técnicas que transformam uma informação inteligível em algo que um agente externo seja incapaz de compreender. Segundo Araujo (2013) para que se possa estabelecer uma comunicação de forma segura em um contexto civil

ou militar é preciso garantir que algumas propriedades sejam estabelecidas pelo sistema criptográfico utilizado. Estas propriedades são:

Autenticidade: Garantir que os participantes de uma comunicação são autênticos, ou seja, um intruso não deve se passar por outro usuário;

Confidencialidade: Garantia de que todas as informações trafegadas ou armazenadas em um sistema de computação sejam acessadas ou manipuladas apenas por usuários autorizados;

Integridade: Garantia de que a informação trafegada durante a comunicação chegará ao seu destino exatamente da mesma forma que partiu da origem, isto é, nenhum dado pode ser adulterado; e

Irretratibilidade (ou não repúdio): Garantia de que nem o remetente nem o receptor das informações possam negar. Posteriormente, sua transmissão, recepção ou posse.

No contexto militar é de grande importância empregar criptografia em RCM, pois com isso se pode garantir as propriedades citadas. Uma vez que o inimigo deseja tomar conhecimento ou adulterar o conteúdo das informações. Desta maneira é de fundamental importância usar os recursos criptológicos, que segundo a Doutrina de Guerra Eletrônica se enquadra como MPE, pois é um recurso que aumenta a proteção da comunicação logo de toda a operação militar em andamento.

2.10 O Futuro Dos Rádios: Rádio Cognitivo e Rádio Definido por *Software*

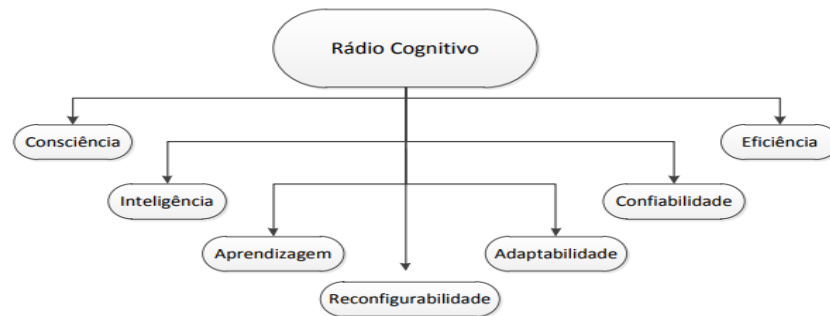
O objetivo deste tópico é apresentar as expectativas futuras para a comunicação por rádio, com o intuito de agregar conhecimento.

Os rádios de hoje utilizam técnicas já desenvolvidas nas últimas décadas e que todos os países possuem conhecimento a seu respeito. Desta forma aquele país que sair na frente e conseguir desenvolver um melhor rádio de comunicação terá vantagens em relação a seus inimigos em um campo de batalha. O Rádio Cognitivo (RC) é o que se pode esperar para o futuro das comunicações táticas militares.

O RC é uma tecnologia para explorar o EEM de forma mais eficaz, proposta por Joseph Mitola III em 1998 em um seminário no KTH (*Royal Institute of Technology*), em Estocolmo e publicada em um artigo em 1999 por ele mesmo. Os RC são concebidos como dispositivos conscientes, adaptáveis e inteligentes, capazes de aprender e operar de forma

autônoma em uma ampla gama de cenários, a Figura 15 apresenta as principais propriedades dos rádios cognitivos.

Figura 15 - Propriedades dos rádios cognitivos.



Fonte: Adaptado de Haykin (2005).

Embora as principais faixas de frequência de interesse sejam totalmente licenciadas para usuários autorizados, muitas vezes estão desocupadas em grandes áreas geográficas ou por intervalos de tempo significativos. A característica principal dos rádios cognitivos é a capacidade de identificar bandas de frequência não utilizadas, de saltar para elas e selecionar os parâmetros de rádio apropriados (HAYKIN, 2005). Esses rádios devem ser capazes de operar sem causar interferência inaceitável aos usuários autorizados da banda de frequência, portanto devem monitorar a presença do usuário primário e levar em consideração a possível localização dos receptores de seus sinais (HAYKIN, 2005).

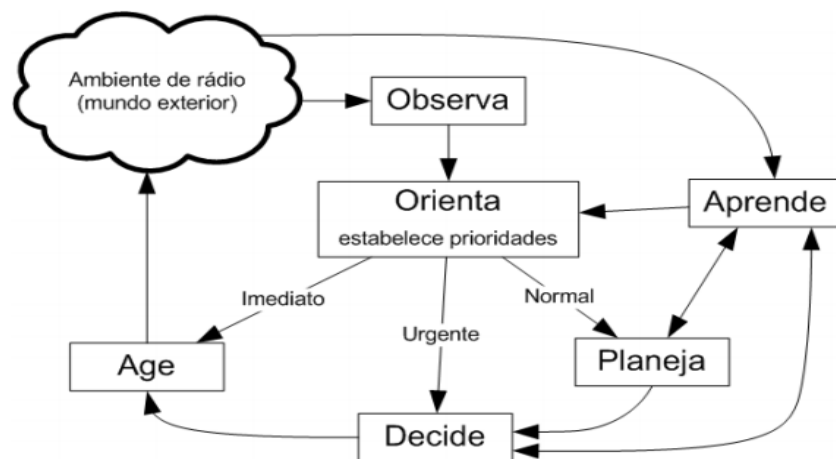
Ao mesmo tempo que os rádios cognitivos oferecem novas capacidades, eles devem suportar o equipamento de comunicação existente. Os rádios atuais têm múltiplas formas de onda, operando com diferentes parâmetros de rádio, que devem ser incorporados em novos sistemas. Desta forma RC usam Rádios Definidos por Software (RDS) como plataforma, neste tipo de rádio, a maior parte do tratamento dos sinais transmitidos e/ou recebidos é realizada por software.

União Internacional de Telecomunicações (ITU) define RDS como: "Um rádio no qual os parâmetros de operação de RF: faixa de frequência, tipo de modulação e potência de saída podem ser configurados ou alterados pelo software, ou a técnica pela qual isso é alcançado". Nos RDS o sinal recebido é convertido de analógico para digital e antes de ser transmitido é reconvertido para analógico, o que permite que o sinal seja processado em um

microprocessador genérico. Com isso é possível alterar diversas características de operação sem a necessidade da utilização de *hardware* (SILVA, 2011).

O RC utiliza inteligência computacional e a flexibilidade fornecida pelos RDS. Segundo Silva (2011, p. 19): o rádio cognitivo é um arcabouço ou conjunto de funcionalidades que permitem que o rádio consiga de forma autônoma: observar o ambiente, inferir seu contexto, descobrir as ações possíveis, gerar planos, supervisionar os serviços fornecidos ao usuário, e aprender com a experiência. A Figura 16 apresenta uma representação que mostra o ciclo citado acima.

Figura 16 - O Ciclo cognitivo.



Fonte: Silva (2011, p.19).

As redes de comunicações táticas em ambientes de conflitos militares são operadas em um ambiente de mudança dinâmica, onde ocorrem interferências e mudanças bruscas na configuração da rede e nos parâmetros de rádio. No entanto, com as tradicionais redes de rádios acionadas em combate, é bastante desafiador garantir um nível de desempenho específico para os usuários, uma vez que os parâmetros do sistema devem ser corrigidos e acordados de antemão.

Desta forma os RC se tornam equipamentos desejados por forças militares em todo mundo por possuírem as capacidades mencionadas acima por Silva (2011, p.19) e apresentadas na Figura 16, pode-se dizer que aumentam a segurança, aumentando a MPE, e a eficiência nas comunicações táticas.

3. METODOLOGIA

Para elaboração deste trabalho foi feita uma compilação de pesquisa bibliográfica, incluindo diversas fontes tais como livros, artigos científicos, publicações internas da Marinha do Brasil com o objetivo de levantar o arcabouço de conhecimento sobre o assunto abordado. Após o levantamento bibliográfico foi realizado uma entrevista com três oficiais fuzileiros navais que servem no Batalhão de Comando e Controle do Corpo de Fuzileiros Navais da Marinha do Brasil e que trabalham diretamente com os rádios móveis de comunicação. Adicionalmente, foi utilizado um software de predição de área de cobertura de sinais de rádio. Por fim, conflitou-se o conhecimento levantado no referencial teórico, os dados obtidos na entrevista e os resultados das simulações culminando na conclusão.

3.1 Classificação da Pesquisa

O objetivo deste capítulo é apresentar a classificação da pesquisa quanto aos fins e quanto aos meios.

3.1.1 Classificação Quanto aos Fins

Quanto aos fins, a pesquisa pode ser classificada como descritiva e explicativa. Descritiva, porque expõe sobre os conceitos de GE, do uso do EEM, da relação entre a potência de transmissão e área de cobertura, da relação sinal ruído, de técnicas envolvendo salto em frequência, de padrões de radiação de antenas, predição da área de cobertura de sinais de rádio, de bloqueio em comunicações táticas, de criptografia e sobre as perspectivas futuras para os RCM. Outra característica que também a classifica como descritiva, está no fato da pesquisa buscar estabelecer uma correlação entre os conceitos de GE e as técnicas que permitem o controle da potência de transmissão, técnicas envolvendo salto em frequência, sobre o padrão de radiação de antenas, técnicas envolvendo o bloqueio em comunicações e criptografia.

Finalmente, quanto aos fins, a pesquisa também será classificada como explicativa, pois visa esclarecer quais as principais técnicas devem estar presentes nos RCM

para que os mesmos possam ser usados em combate e garantir segurança em relação a GE, sendo realizado a análise dos RCM através de seus manuais técnicos e de simulações envolvendo software.

2.10.2 Classificação Quanto aos Meios

Quanto aos meios, será realizada pesquisa documental, haja vista as publicações da Marinha do Brasil inerentes ao tema. Também será bibliográfica, pois será realizada uma revisão literária sobre EEM e propagação em VHF, conceitos de GE, controle da potencia de transmissão e relação sinal ruído, localização de fontes emisoras, salto em frequência, padrão de radiação de antenas, bloqueio em comunicações táticas, predição da área de cobertura de sinais de rádio, criptografia e comunicação tática e futuro dos rádios. Toda essa revisão literária consistira na fundamentação teórica do trabalho e é constituído principalmente de livros, artigos científicos, dissertações, monografias e teses.

Após o levantamento da revisão literária, foi realizado uma entrevista e realizada com profissionais que possuem conhecimento e experiência na área de RCM, a fim de possibilitar chegar a conclusões práticas sobre a utilização destes equipamentos.

Adicionalmente será utilizado o software VE2DBE, que realiza a predição da área de cobertura do sinal de radio frequência, com a finalidade de chegar a uma conclusão mais aprimorada sobre o controle de potência de transmissão e do emprego de diferentes valores de frequência para a variação da área de cobertura do sinal de rádio. Desta maneira, com todos essas informações será possível chegar a uma conclusão sobre os RCM utilizados pelo CFN em relação ao seu grau de segurança em relação a GE.

3.2 Limitações do Método

A presente pesquisa se limita a análise bibliográfica e documental, onde é abordado importantes tópicos a respeito do assunto em análise, por entrevista e de resultados gerados por software. Porém não é realizado um estudo de campo, onde se pode verificar a aplicação prática das técnicas de controle da potencia de transmissão e relação sinal ruído, localização de fontes emisoras, salto em frequência, padrão de radiação de antenas, bloqueio

em comunicações táticas e criptografia. Esse fato torna o estudo fundamentalmente teórico, seria desejável realizar um estudo de campo com os equipamentos apropriados, para se confrontar aos resultados teóricos com os resultados práticos.

Com o estudo de campo se poderia verificar na prática, utilizando equipamentos de medição apropriados, o uso do EEM pelos RCM. Poder-se-ia verificar de melhor maneira como o controle da potência de transmissão afeta a área de cobertura do sinal, como o uso do salto em frequência permite um maior espalhamento em frequência do sinal transmitido e como a relação sinal ruído é afetada. Porém o estudo de campo não foi aplicado na metodologia empregada devido a grande complexidade na medição dos dados referente as técnicas empregadas, a complexidade dos equipamentos de medição envolvidos e a inexistência de recursos apropriados para isso.

O trabalho não abordou todas as técnicas empregadas em RCM referentes à GE. Porém as técnicas abordadas são de fato relevantes e de uso já consolidado em rádios militares. Adicionalmente o presente trabalho se limitou ao estudo de apenas três RCM, o CFN utiliza vários modelos, porém foram escolhidos apenas os citados como principais na entrevista.

3.3 Coleta e Tratamento de Dados

Inicialmente foi levantado um referencial teórico a respeito do assunto abordado, sendo os principais tópicos: O EEM e propagação em VHF, predição da área de cobertura, software VE2DBE, conceitos de GE, controle da potencia de transmissão, relação sinal ruído, localização de fontes emissoras, salto em frequência, padrão de radiação de antenas, bloqueio em comunicações táticas, criptografia e futuro dos rádios. Com a apresentação das informações do referencial teórico toda a base conceitual do trabalho é formada.

Uma entrevista foi realizada com um oficial encarregado do setor que trabalha diretamente com o emprego de RCM, no Batalhão de Comando e Controle (BtlCmndoCt) do CFN, onde perguntas referentes ao emprego destes equipamentos foram levantadas, com a finalidade de obter informações importantes a respeito da utilização, dos conceitos de GE e se de fato os militares que utilizam esses rádios conhecem as funcionalidades referente a GE presentes nesses equipamentos. O BtlCmndoCt, foi escolhido tendo em vista ser esse o batalhão que controla os RCM utilizados pelo CFN.

Uma pergunta principal na fase de entrevista foi levantada: Quais os principais RCM utilizados pelo CFN? A partir da resposta, os RCM citados foram analisados utilizando seus manuais técnicos. Podendo-se analisar se os mesmos possuem ou não as tecnologias contidas no referencial teórico. Com isso se pode concluir sobre o grau de segurança em relação a GE que esses equipamentos oferecem as tropas.

Com a finalidade de verificar a importância do controle de potência de transmissão na utilização dos RCM, para evitar que o sinal se propague para áreas superiores as necessárias para se estabelecer a comunicação foi utilizado o software VE2DBE de simulação de propagação de sinais de rádio. Este software foi escolhido por ser um software aberto e de fácil utilização. Com ele foi possível chegar a importantes conclusões sobre esse assunto, tendo em vista que é indesejável que o inimigo consiga interceptar o sinal transmitido por forças amigas.

Com todas as análises feitas, foi possível concluir se o CFN utiliza ou não RCM adequados em relação aos conceitos e aos desafios impostos pela GE e sobre a importância de se utilizar software de predição da área de cobertura no planejamento de operações militares.

4. DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O objetivo deste tópico é analisar os principais RCM utilizados pelo CFN em relação aos métodos apresentados no referencial teórico, pois com essa verificação é possível constatar se os mesmos são seguros em relação ao contexto da GE e utilizar informações levantadas na entrevista aos oficiais do Batalhão de Comando e Controle para verificar se esses recursos são utilizados em sua totalidade.

O segundo objetivo é realizar simulações utilizando o software VE2DBE, utilizando as características da antena dos RCM e através destas simulações analisar o aumento da área de cobertura com o aumento da potência de transmissão. Também verificar o emprego de softwares de simulação de área de cobertura de sinais rádio para o planejamento de GE em operações militares.

4.1 Análise Técnica

De acordo com a pergunta 4, constante na entrevista aos oficiais do Batalhão de Comando e Controle constante no Apêndice A, os principais RCM utilizados pelo CFN são: PRC 710, PRC 930, VRC 950 e VRC 980. Todos esses RCM são do mesmo fabricante, a empresa israelense Tadiran. O PRC 930, VRC 950 e VRC 980 pertencem à linha CNR 9000, já o PRC 710 pertence à linha CNR 710.

De acordo com consulta aos manuais técnicos destes rádios que se encontram em anexo, a Tabela 5 foi elaborada apresentando a existência dos recursos de GE abordados no referencial teórico. Todos os RCM possuem os recursos de GE apresentados, desta forma podem ser considerados seguros em relação a GE.

Tabela 5 - Recursos presente nos RCM mais utilizados pelo CFN.

	Controle de Potência de Transmissão	Salto em Frequência	Uso de Criptografia
PRC 710	SIM	SIM	SIM
PRC 930	SIM	SIM	SIM
VRC 950	SIM	SIM	SIM
VRC 980	SIM	SIM	SIM

Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi verificado na entrevista que nem todos os militares que operam esses RCM sabem utilizar os recursos de GE existente nos mesmos e esses recursos não são utilizados em sua totalidade, essas informações foram obtidas através das pergunta 7 e 9.

Desta forma pode-se concluir que os RCM utilizados pelo CFN são confiáveis em relação aos recursos tecnológicos existentes nos mesmos, porém fica o alerta em relação a preparação dos militares que os operam, que não são todos que sabem usar tais recursos em sua totalidade.

4.2 Controle da Potência de Transmissão e Aplicação de Software de Predição de Área de Cobertura de Sinais Rádio no Apoio ao Planejamento de GE

Com o objetivo de verificar a variação da propagação do sinal transmitido pela variação da potência de transmissão, o aumento da probabilidade do inimigo triangular o rádio transmissor com o aumento da área de cobertura do sinal rádio transmitido e o uso de software de predição de área de cobertura para o apoio do planejamento de guerra eletrônica foi utilizado o software VE2DBE.

As simulações foram feitas considerando os parâmetros da antena AT-1288B, que se enquadram nos padrões técnicos de todas as antenas utilizadas pelos rádios analisados, conforme a resposta da pergunta 17 da entrevista. Foi utilizado para as simulações 52 MHz de frequência, os parâmetros de ambiente foram gerados automaticamente pelo software e o

único parâmetro do sistema modificado durante as simulações foi a potência do transmissor em 5W, 20W e 50W.

As simulações foram realizadas para a antena transmissora localizada na área da restinga da Marambaia. Essa localização foi escolhida, pois de acordo com a pergunta 14 da entrevista é uma das áreas em que o CFN mais realiza manobras militares.

A Tabela 6 apresenta pontos com valores de distância em linha reta para regiões presentes na área em que o transmissor se encontra. As distâncias foram obtidas através da ferramenta *Google Maps*. Estes pontos foram indicados nas simulações e utilizados para analisar o alcance da propagação para os diferentes valores da potência de transmissão.

Tabela 6 - Distância para diferentes pontos próximos ao rádio transmissor.

Ponto	Local	Distância (Km)
1	Região Central de Ilha Grande	37,58
2	Mangaratiba	20,42
3	Itaguaí	22,16
4	Santa Cruz	23,14
5	Sepetiba	19,37
6	Campo Grande	36
7	Ponto 7	13,64
8	Ponto 8	1,82
9	Ponto 9	9,63

Fonte: Elaborado pelo autor.

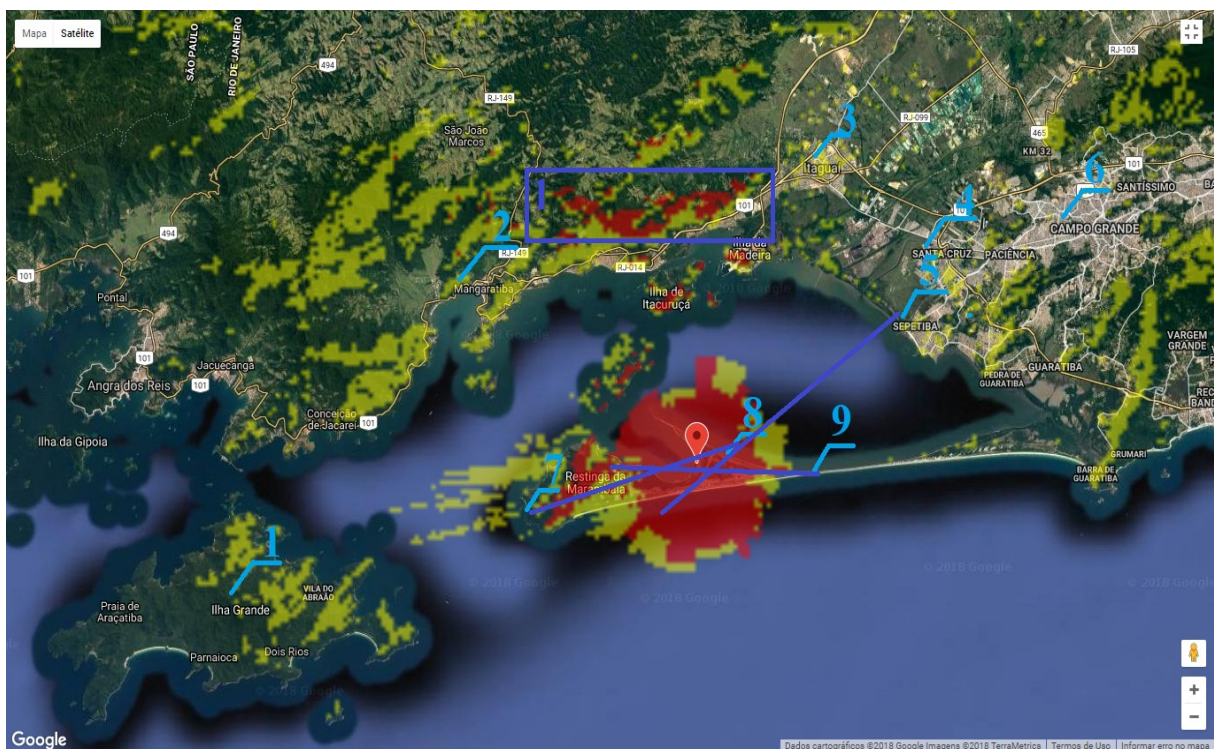
Considerando os pontos 5, 7 e 9 nas simulações como as localizações dos sistemas receptores de sinal (SRS), e as linhas saindo desses pontos como o trajeto do sinal do emissor conforme a Figura 9 do tópico 2.4, que representa a geometria da triangulação.

Também considerando que para se obter a direção de chegada (DC) é preciso que o sinal presente no local seja no mínimo fraco, ou seja, esteja na cor amarela na respectiva

área simulada. Assim, linhas na cor roxa são referentes a SRS que não obtiveram a DC, pois o sinal no local se encontrava inexistente, e considere as linhas na cor verde para SRS que conseguiram obter a DC.

Com essas considerações foi conduzida uma análise para quais potências de transmissão um possível inimigo conseguiria triangular o sinal e obter a informação da localização do emissor. A Figura 17 apresenta uma simulação para a frequência de 52 MHz e potência de transmissão de 5 W.

Figura 17 - Simulação com frequência 52 MHz e potência de transmissão de 5W.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para as simulações a área em vermelho se refere ao sinal forte e a região em amarelo se refere ao sinal com menor intensidade. É possível notar que o sinal é detectado em regiões montanhosas com o sinal forte somente na região 1 e nas demais regiões montanhosas o sinal possui intensidade fraca.

Para 5 W de potência de transmissão e considerando os pontos presentes na Tabela 6, foi elaborado a Tabela 7, que apresenta os pontos em que o sinal propagado se encontra forte, fraco e insuficiente. Ao analisar a Tabela 7 é possível notar que para essa

potência o sinal não atinge grandes áreas e se encontra disponível para recepção apenas para receptores em sua proximidade, estando disponível para apenas para o ponto 8. Para essa potência de transmissão não foi possível triangular o sinal, pois em todos os SRS o sinal é inexistente.

Tabela 7 - Pontos para potência de transmissão de 5 W.

Ponto	Local	Distância (Km)	Qualidade do Sinal
1	Região Central de Ilha Grande	37,58	Insuficiente
2	Mangaratiba	20,42	Insuficiente
3	Itaguaí	22,16	Insuficiente
4	Santa Cruz	23,14	Insuficiente
5	Sepetiba	19,37	Insuficiente
6	Campo Grande	36	Insuficiente
7	Ponto 7	13,64	Insuficiente
8	Ponto 8	1,82	Forte
9	Ponto 9	9,63	Insuficiente

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 18 apresenta uma simulação para a frequência de 52 MHz e potência de transmissão de 20 W, é possível notar que o sinal atinge uma área maior em relação a simulação para 5 W de potência, tanto na região no entorno do transmissor, como também possuindo intensidade mais forte nas regiões montanhosas ao seu redor. Desta forma nota-se que ao aumentar a potência de transmissão de 5 W para 20 W o sinal alcançou uma região consideravelmente maior.

Para 20 W de potência de transmissão e considerando os pontos presentes na Tabela 6, foi elaborado a Tabela 8, que apresenta os pontos em que o sinal propagado se encontra forte, fraco e insuficiente. Para os pontos 2, 7 e 9 já se torna possível a

comunicação, pois o sinal se encontra presente, para os pontos mais distantes ainda não é possível detectar o sinal de maneira satisfatória e a região com um sinal forte aumentou.

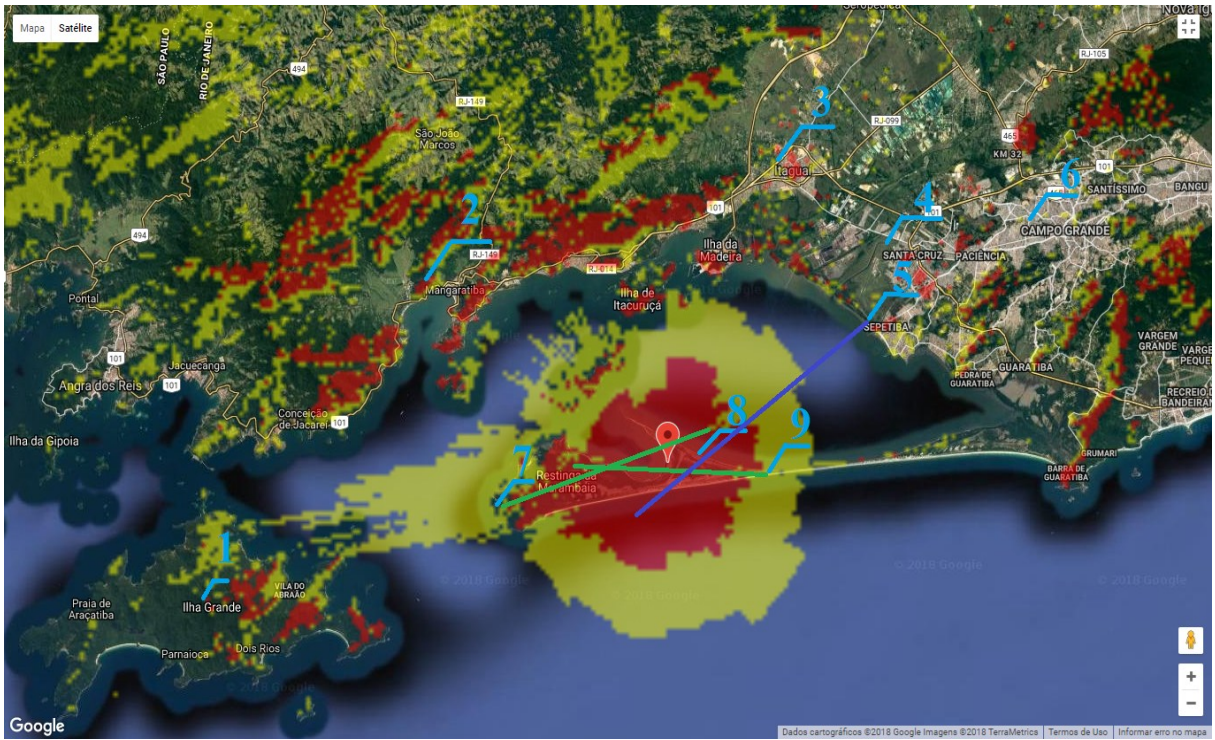
Tabela 8 - Pontos para potência de transmissão de 20 W.

Ponto	Local	Distância (Km)	Qualidade do Sinal
1	Região Central de Ilha Grande	37,58	Insuficiente
2	Mangaratiba	20,42	Fraco/ Insuficiente
3	Itaguaí	22,16	Insuficiente
4	Santa Cruz	23,14	Insuficiente
5	Sepetiba	19,37	Insuficiente
6	Campo Grande	36	Insuficiente
7	Ponto 7	13,64	Fraco
8	Ponto 8	1,82	Forte
9	Ponto 9	9,63	Fraco

Fonte: Elaborado pelo autor.

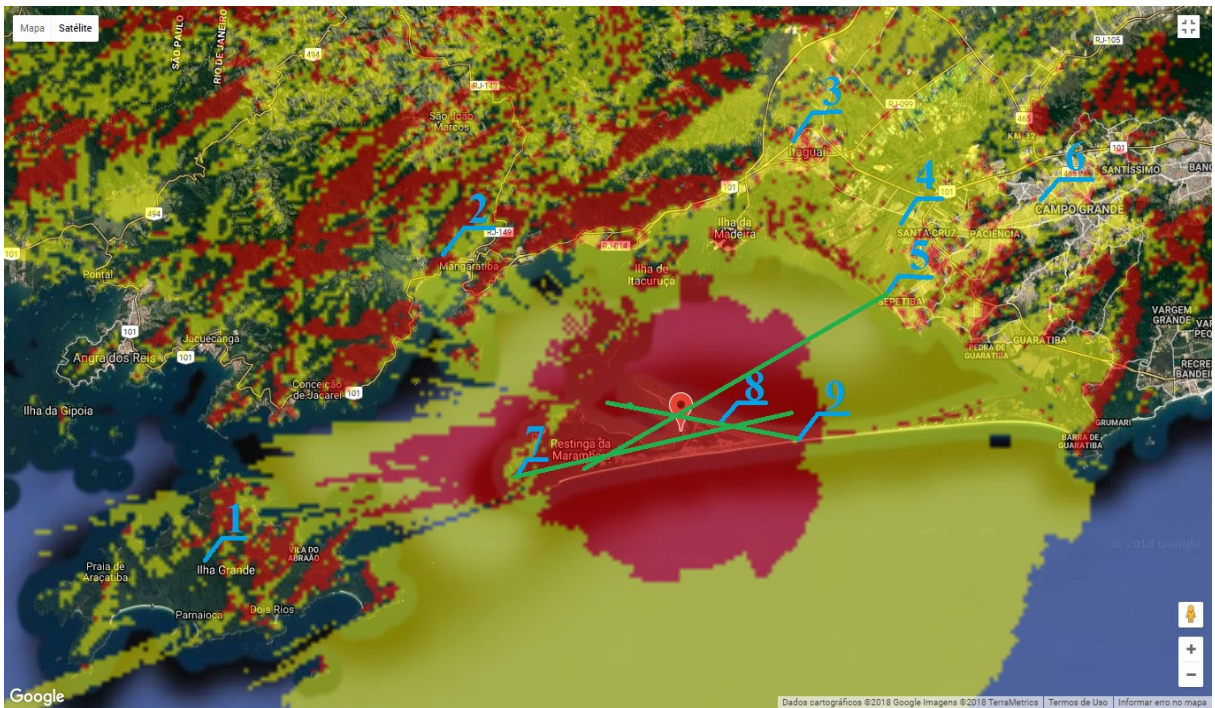
Pela análise dos pontos 5, 7 e 9 é possível notar que somente os pontos 7 e 9, possuem linhas verdes, logo é possível estimar a localização do emissor, faltando o ponto 5 para obter o triângulo de localização do emissor e assim obter uma informação mais exata.

Figura 18 - Simulação com frequência 52 MHz e potência de transmissão de 20W.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 19 - Simulação para frequência de 52 MHz e potência de transmissão de 50 W.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 19 apresenta uma simulação para a potência de 50 W e frequência de 52 MHz. Para esse valor de potência de transmissão é possível notar que o sinal se propaga por uma região consideravelmente maior em relação aos valores de potência de transmissão de 5W e 20 W. O sinal se encontra presente em praticamente todas as regiões montanhosas nas redondezas e se espalha pela região plana referente às áreas da cidade de Itaguaí, Santa Cruz e Campo Grande.

Utilizando a Tabela 6 e analisando a Figura 19 foi elaborado a Tabela 9 onde é possível verificar os pontos onde o sinal se encontra presente. Em todos os pontos é possível detectar o sinal, o aumento da propagação do sinal consideravelmente. Utilizando-se uma potência de transmissão de 50 W é possível obter comunicação em pontos distantes como o ponto 6, porém as chances de detecção pelo inimigo aumenta consideravelmente pelo aumento da área em que o sinal se propaga.

Com essa potência foi possível obter três linhas verdes para o processo de triangulação e um triângulo com a localização do emissor foi obtido. Com essa informação o inimigo poderia emitir um sinal de bloqueio na região, conforme apresentado no tópico 2.7 e impedir a comunicação, além de fazer o uso de armas letais contra as tropas localizadas nessa região.

Tabela 9 - Pontos para potência de transmissão de 50 W.

Ponto	Local	Distância (Km)	Qualidade do Sinal
1	Região Central de Ilha Grande	37,58	Fraco
2	Mangaratiba	20,42	Forte/Fraco
3	Itaguaí	22,16	Fraco
4	Santa Cruz	23,14	Fraco
5	Sepetiba	19,37	Forte
6	Campo Grande	36	Fraco/ Insuficiente
7	Ponto 7	13,64	Forte/Fraco
8	Ponto 8	1,82	Forte
9	Ponto 9	9,63	Fraco

Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando as simulações para as potências de transmissão de 5W, 20W e 50 W foi possível constatar que aumentando a potência de transmissão aumenta-se a área em que o sinal fica disponível, conforme visto no tópico 2.4. Também se verifica que para regiões montanhosas, como a região do entorno da Marambaia, o sinal chega a regiões montanhosas distantes.

Os resultados obtidos das simulações mostram que o emprego de software de predição da área de cobertura pode ser utilizado para ajudar no planejamento de GE para que se possa definir os valores de potência de transmissão a ser utilizado nos RCM em uma operação militar. Com esse controle é possível evitar que forças inimigas possam detectar o sinal transmitido e obter a localização do transmissor e utilizar MAE's para bloquear a comunicação, realizar a monitoração do fluxo de comunicação ou realizar ataques aos militares envolvidos na operação. Segundo a pergunta 10 da entrevista, o CFN não utiliza software de predição da área de cobertura do sinal rádio.

É importante destacar que os resultados apresentados se referem a simulações e que para confirmar o emprego efetivo de tal ferramenta computacional é preciso realizar provas de campo para confirmar a segurança das informações fornecidas.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho foram abordados métodos que aumentam a segurança na utilização de RCM em relação a GE: Controle da potência de transmissão, uso de espalhamento em frequência do sinal e criptografia. O foco do estudo foi voltado para o controle da potência de transmissão, pois com o aumento da potência de transmissão o sinal se propaga por regiões maiores e torna o rádio transmissor mais vulnerável a medidas de ataque eletrônico. Também foi realizado uma análise do manual técnico dos RCM mais utilizados pelo CFN e foi verificado que os mesmos possuem todos os recursos tecnológicos apresentados no desenvolvimento do trabalho.

Ainda, considerou-se a importância da utilização de softwares que realizam a predição da área de cobertura como uma importante ferramenta para estimar pontos em relação ao transmissor em que é possível detectar o sinal transmitido. Este recurso pode ser utilizado como apoio ao planejamento de GE, em operações militares efetuadas pelo CFN. Destaca-se que o uso de software para realizar a predição da área de cobertura para RCM não é realizado pelo CFN.

Foi possível verificar o aumento da área de cobertura do sinal aumentando a potência de transmissão. Com isso foi possível verificar a importância do controle da potência de transmissão como maneira de reduzir a probabilidade do inimigo conseguir obter a localização do rádio transmissor.

Foi realizada uma revisão bibliográfica sobre EEM, conceitos de GE, predição de área de cobertura, localização de fontes emissoras, padrão de irradiação de antenas, bloqueio de comunicações táticas e o futuro dos rádios. Contribuindo para o arcabouço de conhecimento referente ao tema apresentado.

5.1 Considerações Finais

Os RCM mais utilizados pelo CFN possuem recursos tecnológicos que garantem a sua utilização com segurança em relação a GE. Porém, conforme verificado na entrevista pela pergunta 7, nem todos os militares que operam esse equipamento conhecem e sabem operar esses recursos, sendo desejável aumentar o adestramento. O CFN não utiliza softwares de

predição, conforme a pergunta 10 da entrevista, desta forma o emprego deste recurso tecnológico poderia contribuir para evitar que militares sejam enviados para essa função evitando o risco de perda de vidas humanas em situações de conflito.

Foi possível verificar que o controle da potência de transmissão é fundamental para evitar que o sinal rádio se propague por regiões maiores que a necessária e com isso diminuir a chance do inimigo obter a localização do emissor. Adicionalmente o uso de software de predição da área de cobertura do sinal rádio se mostrou uma importante ferramenta para ajudar a prever qual a potência adequada a utilizar.

5.2 Sugestões para Futuros Trabalhos

Os navios da Marinha do Brasil também utilizam rádios que operam na faixa de VHF e que de igual maneira podem ser um ponto fraco em relação a GE. Desta maneira uma sugestão para trabalhos futuros é identificar quais são os principais rádios utilizados pelos navios e verificar se os mesmos são seguros em relação a GE. Analisar seus manuais técnicos e verificar se os mesmos possuem os recursos de controle da potência de transmissão, criptografia, salto em frequência.

Buscar software de predição de área de cobertura e verificar a propagação do sinal rádio para o mar e destacar as diferenças em relação a propagação em relação a regiões de terra. Com isso contribuindo para identificar melhorias no uso de rádios para os navios da Marinha do Brasil.

REFERÊNCIAS

- ADAMY, D.L. **Tactical Battlefield Communications Electronic Warfare**. Boston: Artech House, 2009.
- AMARAL, Cristiano Torres. **Uma Análise do Modelo de Propagação Longley – Rice sob a perspectiva de Ambientes Urbanos Localizados em Área de Clima Tropical**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.
- BRASIL. Ministério da Defesa, Exército Brasileiro, Estado Maior do Exército. **Manual de Campanha, Administração de Radiofrequências**. 2º Ed. Rio de Janeiro-RJ, 2002.
- BRASIL. Ministério da Defesa, Marinha do Brasil, Estado Maior da Armada. **Doutrina Militar Naval**. Rio de Janeiro-RJ, 2017.
- CONDÉ, R. **RADIO MOBILE ONLINE**. 1988. Disponível em: <http://www.ve2dbe.com/rmonline.html>. Acesso em: 16 de Abr. 2018.
- DA SILVA, G. M. O. **Desevolvimento De Algoritmo Para Predição De Cobertura De Bloqueio De Rádio-Frequência Em Hf/Vhf/Uhf**. F. 130. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2009.
- FERNANDES, J. J. G. **Implementação de Espalhamento Espectral por Sequência Direta**. 2002. f. 141. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/3582>>. Acesso em 20 Dez. 2017.
- GEHA, S. E.; NEIVA, W. R. **Sistema de Radio Comunicação com Criptografia: Proposta de Aquisição para a Polícia Militar de Londrina**. 2009, f. 74. Trabalho de Conclusão de Curso (MBA em Ciência Política e Desenvolvimento Estratégico) – Faculdade Arthur Thomas, Londrina, 2009. Disponível em: <<http://www.adesg.net.br/arquivos/biblioteca/sistema-de-radio-comunicacao-com-criptografia.pdf>>. Acesso em 22 Mar. 2018.
- HUANG, Q. X. Y. **3D Antenna Radiation Pattern Reconstruction in a Reverberation Chamber** Using Spherical Wave Decomposition, IEEE Xplore. Jiangsu Province, 2015. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7763794/>>. Acesso em 21 Ago. 2017.
- HAYKIN, S. **Cognitive radio: Brain-empowered wireless communications**, Revista IEEE, Area de Comunicações, vol. 25, pp. 201–220, 2005.
- KUCUKOZYIGIT, A. C. **Electronic Warfare (EW) Historical Perspectives and its Relationship to Information Operations (IO)- Considerations for Turkey**. 2006. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas) - Naval Postgraduate School, California, 2006. Disponível em: <<https://calhoun.nps.edu/handle/10945/2642>>. Acesso em 18 Dez. 2017.

SAARNISAARI, H. **Future Military Mobile Radio Communication Systems from Electronic Warfare Perspective**. IEEE Xplore, Oulu, 2017. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7956494/>>. Acesso em 17 Fev. 2018.

SILVA, M. W. R. **Redes Cognitivas Com Oportunidades Dinâmicas De Acesso Ao Espectro**, 2011, f. 82. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

SPEZIO, E. A. **Electronic Warfare Systems**. IEEE Xplore, Nova York, V. 50, n. 3, p. 633-643, mar. 2002. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/989948/>>. Acesso em 18 Nov. 2017.

STEVES, L. C. **Antenas: Teoria básica e aplicações**, São Paulo: McGraw-Hill, 1980.

TADIRAN. TADIRAN CNR-710: **VHF Hand-held Based Radio Family for Multi-Mission Communications**. Manual Técnico, 1998. P. 2.

TEIXEIRA, R. B. M. **Predição do Sinal em uma Rede Local sem Fio através de Redes Neurais Artificiais**, 2009, f.91. Monografia (Graduação em Engenharia de Teleinformática) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009. Disponível em: <http://www.cgeti.ufc.br/monografias/RICARDO_BRUNO_MARTINS_TEIXEIRA.pdf>. Acesso em 24 Fev. 2018.

APÊNDICE A – Entrevista Técnica.

Entrevista realizada com o comandante e imediato da Companhia de Comunicações (CIACOM), 2ºTen (QC-FN) Lucas de Oliveira Veiga e 2ºTen (FN) Matheus de Paiva Freitas, do Batalhão de Comando e Controle, no dia 05 de Março de 2018.

Pergunta 1) Qual sua experiência com a utilização dos RCM?

Resposta: Operar e manter as comunicações dentro do grupamento operativo.

Pergunta 2) Qual a importância de uma comunicação eficiente em um treinamento ou uma operação real realizada pelo CFN?

Resposta: Imprescindível, é basicamente o que permite reagir e antecipar a qualquer eventualidade. A comunicação é uma arma do comando, sem comunicação não existe controle.

Pergunta 3) Em relação aos RCM, na faixa de VHF, quantos modelos o CFN utiliza em exercícios e manobras?

Resposta: Efetivamente 4 modelos, Tadiran PRC710, PRC 930, VRC 950 e VRC980.

Pergunta 4) Quais são os RCM mais utilizados?

Resposta: Todos os 4 modelos são igualmente utilizados.

Pergunta 5) Qual sua visão sobre a importância da GE de comunicações aplicada em operações realizadas pelo CFN?

Resposta: Muito importante, porém o Batalhão de Comando e Controle está sem equipamentos de GE, já foram comprados porém sem previsão de chegada.

Pergunta 6) Os RCM utilizados são confiáveis e de fácil utilização?

Resposta: Sim, porém depende muito do aprestamento da tropa. Os oficiais conseguem ler o manual e operar, mas os praças não, o preparo dos praças ainda está muito desatualizados em relação a operação dos RCM.

Pergunta 7) Os operadores destes rádios conhecem sobre os recursos de GE disponíveis nestes equipamentos?

Resposta: Não, poucos militares conhecem, pois o curso de formação dos praças não abordam de maneira eficaz este assunto.

Pergunta 8) Existem treinamentos referente a utilização dos recursos de guerra eletrônica existentes nos RCM? Se sim como esses treinamentos são realizados?

Resposta: Sim, existem treinamentos do controle da potência de transmissão.

Pergunta 9) O CFN utilizam RCM modernos e com recursos atualizados de GE?

Resposta: Sim, mas não utiliza em sua totalidade por motivo do adestramento do pessoal não ser suficiente. Mas possui material.

Pergunta 10) O CFN utiliza algum software de predição da área de cobertura dos RCM na faixa de VHF?

Resposta: Não, fazemos o reconhecimento rádio, enviamos uma equipe para verificar como é a região para a comunicação, se o sinal sofre algum efeito prejudicial. Se for em uma área hostil, será enviado militares de operações especiais para fazer o reconhecimento.

Pergunta 11) O CFN utiliza ou pretende utilizar rádios cognitivos?

Resposta: Não se utiliza.

Pergunta 14) Qual local o CFN mais utiliza para realizar treinamentos?

Resposta: Restinga da Marambaia.

Pergunta 15) O CFN realiza exercícios da técnica de triangulação para localizar rádios transmissores inimigos?

Resposta: Não, pois não possui equipamentos.

Pergunta 16) Quais são as antenas utilizadas nos RCM citadas na pergunta 3?

Resposta:

Os modelos de antenas utilizados são:

- AT-271A que possui 2,7 metros, nesta versão os rádios mais novos operam em até 10 W, empregada nos rádios modelo 930;
- Antena empregada na versão veicular é a AT- 1288B, ela possui 3,2 metros e opera em até 50 W, empregada nos modelos 950 e 980; e
- O modelo 710 utiliza a antena AT-271A e a antena AT-624L (com 70 cm).

Essas antenas são fabricadas pela *ELBIT Systems*, que é uma empresa de Israel e fabrica tecnologia militar.

Pergunta 17) Os senhores possuem a especificação do ganho para diferentes frequências para essas antenas?

Resposta: Sim, essa tabela se refere às especificações da antena AT-1288B, mas que também pode ser utilizada para as outras antenas citadas na pergunta anterior.

Tabela 10 - Frequência e ganho para a antena AT-1288B.

Frequency (MHz)	Gain (dBi)
30.00	-5
35.00	-3
40.00	-2
45.00	-1
50.00	-1.2
55.00	-1.4
60.00	-1
65.00	-0.2
70.00	-0.1
75.00	0
80.00	0.3
85.00	0.2

Fonte: Obtida Através do Fabricante.

Pergunta 18) Como é feito a predição da área de cobertura em relação a potência aplicada?

É pratica comum considerar que a cada 1 W de potência o alcance de transmissão é de 1 km.

ANEXO A – Manual dos Rádios Tadiran CNR 9000HDR e CNR 710.

Manual Tadiran CNR-9000HDR/ IP Radio.

Technical Specifications

General	
Frequency	30-88/108** MHz
Modes of operation	
Fixed Frequency	Clear and COMSEC
Frequency-hopping	ECCM/COMSEC
Preset Channels	100
Scanning	Up to four pre-selected channels
Selective Call / Selective Bar	Individual and group communication
Vocoder**	2400, 4800 bps
GPS+AGPSR**	Including radio position transmission (automatic/manual)
Comm. Controller**	STANAG 4XXX
Environmental	
Operating Temperature	-40°C to +65°C
Environmental Conditions	MIL-STD-810E/F/G
Immersion	1 meter
Electromagnetic Interference	MIL-STD-461C/462
Ancillaries	Compatible with backward ancillaries
Transmitter	
Power output for various configurations	
Manpack	0.25, 10W
Airborne	0.25, 10, 20W
Vehicular/Base	0.25, 10, 50W
Anti-Jamming (ECCM)	
Technique	Synchronous orthogonal frequency-hopping over the entire frequency band (30-108 MHz) or partial band
Synchronization	Auto synchronization capability, no master station, no single point of failure
Maximum Radio Silence Time	Unlimited for full synchronization
Late Entry	Fully automatic with no special procedures required
Orthogonality	Up to 128 orthogonal nets over any frequency table
Special Feature	Hailing from frequency-hopping to fixed frequency and vice versa
Encryption (COMSEC)	
Type	Digital, very long non-linear "white" sequences
Special features	CLEAR override, COMSEC alarm, auto resynchronization capability
Data Communication	
Type	Analog digital synchronous and asynchronous
	Up to 85.333 Kbps with error correction (synchronous)**
	Up to 115.2 Kbps with error correction (asynchronous)**

Disponível em: < http://elbitsystems.com/media/CNR9000HDR_16_A.pdf>. Acesso em 10 Fev. 2018.

MANUAL - Tadiran CNR-710



Optional Ancillaries and Accessories

Elbit systems land and C4I-Tadiran offers a variety of optional accessories depending on the configuration and client operational requirement.

- **Power sources**
 - Batteries - Primary and Rechargeable Lithium Ion batteries
 - Battery chargers - Electrical, hand crank & solar
 - Power Supplies - AC/DC & DC/DC
- **Antennas** - Variety of antennas for all configurations
- **Audio** - Standard & Control Handsets, headsets and loudspeakers
- **Remote control** - Variety of solutions depending on required operational scenarios
- **Software application** - Programming, Radio Network Management System (RNMS), Data communication etc.

General

- Frequency range: 30-88 MHz
- Channel spacing: 25 kHz
- Modulation: FM (F3E)
- Operation mode: Fixed frequency (FF): CLEAR and encrypted (COMSEC);
Frequency hopping (FH): ECCM/COMSEC,
- Channels: 10 preset channels
- Scanning: Up to 4 preset channels
- Selective call: Individual and group communications
- Built-in-test (BIT): On-line and operator-initiated test
- Squelch: 150 Hz tone or noise activated
- Power Source:
 - Hand-held/Manpack: LiMnO₂; Lithium Ion
 - High Power Manpack: Lithium; Lithium Ion
 - Vehicular/Base: 24-28V nominal
- GPS (optional): Embedded GPS
- Vocoder (optional): 2400, 4800 bps
- Comm. Controller (optional): STANAG 4XXX

Environmental:

- Operating temperature: -30°C to +65°C
- Storage temperature: -30°C to +71°C
- Relative humidity: 95%
- Immersion: 1 meter
- Dynamic and mechanical: MIL-STD-810F

Transmitter

- Power output:
 - Hand-held/Manpack: Up to 5W
 - High power manpack: Up to 20W
 - Airborne: Up to 20W
 - Vehicular/Base: Up to 50W

Anti Jamming (ECCM)

- Technique: Orthogonal frequency hopping
- Synchronization: Own and homogeneous (w/o master station)
Auto resynchronization capability
- Late entry: Without special procedures

Encryption (COMSEC)

- Type: Digital, very long non-linear "white" sequences
- Special characteristics: CLEAR override, COMSEC alarm

Data Communications:

- Type: Synchronous and asynchronous
- Rate: Up to 16 kbps Synchronous
- Interface: RS-232
- Special characteristics: Automatic rate adaptation

Disponível em: < <http://elbitsystems.com/pdf/tadiran-cnr-710/> >. Acesso em 10 Abr 2018.