



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

CURSO DE APERFEIÇOAMENTO AVANÇADO EM  
GUERRA ELETRÔNICA

1º Ten (QC-CA) ALEXANDRE DE MACEDO MARQUES

**LIMITAÇÕES IMPOSTAS PELA NATUREZA ÀS COMUNICAÇÕES E O USO DOS  
RÁDIOS DEFINIDOS POR SOFTWARE COMO UMA SOLUÇÃO PARA AS  
COMUNICAÇÕES NAVAIS**

Rio de Janeiro  
2018

1º Ten (QC-CA) ALEXANDRE DE **MACEDO MARQUES**

LIMITAÇÕES IMPOSTAS PELA NATUREZA ÀS COMUNICAÇÕES E O USO DOS  
RÁDIOS DEFINIDOS POR SOFTWARE COMO UMA SOLUÇÃO PARA AS  
COMUNICAÇÕES NAVAIS

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

Orientadores:

CT (EN) Mauro Quiles de Oliveira **Lustosa**

Erasmus Couto Brazil de Miranda, PhD.

CIAW  
Rio de Janeiro  
2018

1° Ten (QC-CA) ALEXANDRE DE MACEDO MARQUES

LIMITAÇÕES IMPOSTAS PELA NATUREZA ÀS COMUNICAÇÕES E O USO DOS  
RÁDIOS DEFINIDOS POR SOFTWARE COMO UMA SOLUÇÃO PARA AS  
COMUNICAÇÕES NAVAIS

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:

Erasmus Couto Brazil de Miranda, PhD – PUC-Rio \_\_\_\_\_

CT (EN) Mauro Quiles de Oliveira Lustosa, MSc – IPqM \_\_\_\_\_

Miriam Moraes Puerari, MSc – CIAW \_\_\_\_\_

CIAW  
Rio de Janeiro  
2018

Dedico este trabalho àqueles que sempre acreditaram no meu trabalho e que me apoiaram e incentivaram para que eu apresentasse o meu melhor diante das adversidades.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por iluminar meu caminho dia a dia. Agradeço também aos meus familiares por sempre acreditarem no meu trabalho e pelo apoio durante o processo de desenvolvimento do mesmo. Aos meus orientadores e professores, responsáveis diretos por esta conquista, sou grato por minha formação como pessoa.

O presente trabalho foi realizado através da cooperação do Instituto de Pesquisas da Marinha, em parceria com a PUC-Rio.

“Os progressos obtidos por meio do ensino são lentos; já os obtidos por meio de exemplos são mais imediatos e eficazes.” Sêneca

## LIMITAÇÕES IMPOSTAS PELA NATUREZA ÀS COMUNICAÇÕES E O USO DOS RÁDIOS DEFINIDOS POR SOFTWARE COMO UMA SOLUÇÃO PARA AS COMUNICAÇÕES NAVAIS

### Resumo

Um sinal de comunicação pode sofrer efeitos de propagação em um ambiente repleto de fatores naturais, como refração, difração e dispersão, ocasionando perdas no sinal. Além destes efeitos, há também que se considerar que sinais em HF, VHF e UHF, se propagando a distâncias consideráveis, sofrem interferência e atenuação devido a vários fatores ambientais, que impactam o comportamento de sinais eletromagnéticos. À vista disso, equipamentos militares são desenvolvidos de forma lenta, com ciclo de vida longo e preços elevados, resultando no uso de equipamentos antigos em uso atualmente. Portanto, este trabalho propõe-se apresentar as principais limitações impostas pela natureza aos sinais de comunicações táticas, a natureza dos sinais de comunicações, os sistemas de comunicações em VHF/UHF, além de apresentar a influência da ionosfera nos sistemas de comunicações em HF e como o uso dos Rádios Definidos por *Software* adicionam novos conceitos e capacidades nas comunicações militares, abordando para isso a arquitetura e funcionamento desses equipamentos diante de diferentes cenários atuais, de modo que as comunicações sejam realizadas com sucesso, possibilitando o efetivo emprego da Capacidade de Guerra Eletrônica sobre o inimigo. Será apresentado de forma breve, a importância do Centro de Tecnológico do Exército, no que concerne ao desenvolvimento de um Rádio Definido por *Software* de caráter nacional, além dos desafios eminentes diante de possíveis técnicas de ciberataques, as quais podem constituir novas frentes limitantes nas comunicações militares navais.

**Palavras-chave:** Fatores naturais. Comunicações táticas. Rádios Definidos por *Software*. Capacidade de Guerra Eletrônica. Ciberataques.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema de comunicação com elementos básicos .....	20
Figura 2 – Apresentação de um sinal transmitido (a), sinal distorcido recebido sem ruído (b), sinal distorcido recebido com ruído (c) e sinal regenerado com atraso (d) .....	22
Figura 3 – Ilustração da faixa de frequências, onde estão situados os sinais de comunicações táticos .....	24
Figura 4 – Caracterização dos três tipos de caminhos possíveis a serem percorridos pelas ondas de rádio .....	25
Figura 5 – Modelo de propagação de sinal por linha de visada utilizado em Guerra Eletrônica .....	27
Figura 6 - Esquema de comunicação em modelo de propagação por dois raios .....	28
Figura 7 - Exemplificação da escolha do modelo de propagação a ser selecionado .....	29
Figura 8 - Ilustração de um transceptor ideal para um RDS .....	34
Figura 9 - Ilustração de um transceptor real para um RDS .....	36
Figura 10 - Arquitetura simplificada do transceptor real para um RDS .....	37
Figura 11 - Apresentação do uso do espectro eletromagnético por diversos dispositivos .....	39
Figura 12 - Estrutura da Capacidade de Guerra Eletrônica .....	40
Figura 13 - Um membro da família M3TR: o rádio MR 3000 .....	43
Figura 14 – Sistema veicular AN/VRC-110 .....	44
Figura 15 - Diagrama de Integração entre o GNSS e o RDS .....	46
Figura 16 - Arquitetura de um sistema de RDS .....	49



## LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AçGE	Ações de Guerra Eletrônica
AEW	<i>Airborne Early Warning</i>
AGE	Atividades de Guerra Eletrônica
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ArpaNet	<i>Advanced Research Project Agency</i>
ASICs	<i>Application Specific Integrated Circuits</i>
ATC	<i>Air Traffic Control</i>
CAD	Conversor Analógico-Digital
CDA	Conversor Digital-Analógico
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
CGE	Capacidade de Guerra Eletrônica
CLBs	<i>Configurable Logic Blocks</i>
CONSET	Condição de Silêncio Eletrônico
CTEx	Centro Tecnológico do Exército
DDC	<i>Digital Down-Converter</i>
DUC	<i>Digital Up-Converter</i>
DOA	<i>Direction of Arrivad</i>
FCC	<i>Federal Communication Commission</i>
FDMA	<i>Frequency Time Multiple Access</i>
FOSS	<i>Free and Open Source Software</i>
FPGA	<i>Field Programmable Gate Arrays</i>
FZ	Zona de Fresnel
GE	Guerra Eletrônica
GNSS	<i>Global Navigation Satellite Systems</i>

GPS	<i>Global Positioning System</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
HF	<i>High-Frequency</i>
JTRS	<i>Joint Tactical Radio System</i>
MGE	Medidas de Guerra Eletrônica
MNVR	<i>Mid-Tier Networking Vehicle Radio</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NTIA	<i>National Telecommunications and Information Administration</i>
OEB	Ordem Eletrônica de Batalha
OSI	<i>Open System Interconnection</i>
OTP	<i>One-Time Programmable</i>
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
RC	Rádio Cognitivo
RDS	Radio Definido por <i>Software</i>
RETRON	Reconhecimento Eletrônico
RF	Rádio Frequência
SCA	<i>Software Communications Architecture</i>
SIGINT	Inteligência de Sinais
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>
UHF	<i>Ultra High Frequency</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunication System</i>
VHF	<i>Very High Frequency</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>1.1 Apresentação do Problema</b> .....	12
<b>1.2 Justificativa e Relevância</b> .....	13
<b>1.3 Objetivos</b> .....	13
1.3.1 Objetivo Geral .....	14
1.3.2 Objetivos Específicos .....	15
<b>2 METODOLOGIA</b> .....	17
<b>2.1 Classificação da Pesquisa</b> .....	17
2.1.1 Classificação Quanto aos Fins .....	17
2.1.2 Classificação Quanto aos Meios .....	17
<b>2.2 Limitações do Método</b> .....	18
<b>2.3 Coleta e Tratamento de Dados e Informações</b> .....	18
<b>3 A NATUREZA DOS SINAIS E SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES (DESCRIÇÃO E ANÁLISE)</b> .....	19
<b>3.1 Modelo Típico de Sistema de Comunicação</b> .....	19
<b>3.2 Comunicação Analógica e Digital</b> .....	21
<b>3.3 Natureza dos Sinais de Comunicações</b> .....	22
<b>3.4 A Influência da Ionosfera nos Sistemas de Comunicações em HF</b> .....	24
<b>3.5 Sistemas de Comunicações em VHF/UHF</b> .....	26
3.5.1 Propagação por linha de visada .....	26
3.5.2 Modelo de propagação por dois raios .....	27
3.5.3 Critério de escolha de modelo de propagação .....	28
<b>3.6 Os Rádios Definidos por Software</b> .....	29
3.6.1 Uma breve contextualização .....	30
3.6.2 A importância do Projeto RDS-Defesa para o Brasil .....	30
3.6.3 Os principais conceitos do Rádio Definido por Software .....	31
3.6.4 Arquitetura Genérica de um Rádio Definido por Software .....	35
3.6.5 Os conceitos por trás da Guerra Eletrônica e o uso do espectro eletromagnético por equipamentos civis .....	37

3.6.6 O conceito do Rádio Definido por Software em diferentes sistemas .....	41
3.6.7 O Rádio Definido por Software e a Guerra Ciber-Eletrônica .....	48
<b>4 CONCLUSÃO .....</b>	<b>53</b>
<b>4.1 Considerações Finais .....</b>	<b>53</b>
<b>4.2 Sugestões para futuros trabalhos .....</b>	<b>54</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>56</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>58</b>
<b>ANEXO A .....</b>	<b>58</b>

# 1. INTRODUÇÃO

Ao longo da história das sociedades, a comunicação humana sempre teve um papel primordial, seja no desenvolvimento socioeconômico como tecnológico, possibilitando o aumento da produtividade e conservação da energia, uma vez que reuniões poderiam ser realizadas por teleconferências, economizando tempo e energia com gastos em viagens. Meios de comunicações tradicionais, como televisão e rádio, se adequaram as novas tecnologias, fossem estas originadas de necessidades comerciais ou militares, em que estas últimas estão associadas a obtenção de vantagens sobre outros países, tanto aliados quanto oponentes (Lathi; Ding, 2012).

Em face das necessidades de se obter vantagens nos teatros de operações contra diversos inimigos, mostra-se importante apresentar a arquitetura, as características e funcionalidades do Rádio Definido por *Software* (RDS) nas comunicações táticas das Forças Armadas do Brasil, mediante apresentação dos efeitos e distorções que o canal impõe ao sinal de comunicação, bem como as novas possíveis ameaças representadas por ciberataques.

## 1.1 Apresentação do Problema

Um sinal transmitido em um meio não limitado, como um cabo, pode sofrer vários efeitos de propagação como reflexão, refração, difração e dispersão, ocasionando interferências e perdas significativas nas comunicações táticas. Soma-se a isto, as atenuações devido à distância (perda por espaço livre), influência do solo, obstáculos (como montanhas, curvatura do planeta, construções civis, dentre outros), além daquelas por hidrometeoros e gases atmosféricos ou mesmo aquelas devidas as variações na estrutura atmosférica, como os efeitos de clima na troposfera ou os efeitos solares e geomagnéticos na ionosfera.

Além dos efeitos ambientais adversos pelos quais os sinais e sistemas de comunicação estão expostos, há também como destaque de importância o planejamento do Ministério da Defesa, o qual tem, dentre outras inúmeras responsabilidades, o de procurar antever as necessidades futuras por equipamento de comunicação militar e junto aos órgãos governamentais competentes procurar desenvolvê-los a nível nacional de modo a evitar a obtenção destes equipamentos por via de importação às empresas internacionais de caráter bélico, procurando evitar a dependência à nível tecnológico, cibernético e estratégico das Forças Armadas Brasileira (Filho; Galdino; Moura, 2017).

## 1.2 Justificativa e Relevância

Um sinal de comunicação tático pode sofrer vários tipos de efeitos de propagação por fatores naturais em um ambiente não limitado, o que ocasiona perdas no sinal. Soma-se a isto, a propagação de sinais em HF na ionosfera, a qual varia suas características com a hora do dia, época do ano, localização e condições ambientais (como atividade solar), variáveis que impactam o comportamento de sinais eletromagnéticos na ionosfera (Pantoja; Dargam, 2006). À vista disso, equipamentos militares são desenvolvidos de forma lenta do que aqueles utilizados no dia a dia por civis, além de que tais equipamentos militares possuem um longo ciclo de vida e preços de aquisição elevados, por isto equipamentos antigos são vistos em uso atualmente. Portanto, torna-se relevante conhecer as principais limitações impostas pela natureza aos sinais de comunicações transmitidos e recebidos por equipamentos utilizados pelas Forças Armadas Brasileira, visando buscar o desenvolvimento tecnológico na área de comunicações militares de maneira a conquistar a independência em uma área sensível a segurança nacional, evitando assim, ficar defasado, ou mesmo limitado, em relação as técnicas de ataques cibernéticos, já em pesquisa e desenvolvimento em países com equipamentos de comunicação de RDS.

## 1.3 Objetivos

O RDS é atualmente foco de pesquisa e desenvolvimento em muitas empresas e instituições governamentais no mundo, por constituir um sistema de comunicação flexível e de fácil configuração, uma vez que componentes tipicamente de *hardware* (como por exemplo, filtros, moduladores ou demoduladores, dentre outros) podem ser implementados via *software*, fazendo-se uso de computadores pessoais ou sistemas embarcados (Silva, 2015, p. 2).

Diante do potencial flexível e fácil manuseio por *software*, os RDS são vistos como um meio para se obter redução de custo e interoperabilidade em aplicações militares ou de segurança pública em razão do fato de que muitos órgãos realizam suas compras de modo independente, podendo haver incompatibilidade do ponto de vista da frequência utilizada, tecnologia de modulação de sinais, dentre outros, o que torna o “rádio digital” uma excelente opção adaptativa diante dos diferentes padrões operacionais existentes, além do potencial

emprego em ambientes adversos onde a robustez e a contínua operação se tornam imprescindíveis a fim de se obter vantagens sobre os adversários (Silva, 2015, p. 2).

Este projeto visa abordar a importância e os desafios por trás do desenvolvimento do RDS para comunicações táticas das Forças Armadas do Brasil, uma vez que este encontra-se em desenvolvimento pelo Centro Tecnológico do Exército (CTEx) no projeto conhecido por RDS-Defesa (Filho, 2017, p. 6).

Em vista da importância do projeto RDS-Defesa, será abordado a teoria dos RDS por trás da iniciativa do Projeto RDS-Defesa, destacando os principais módulos constituintes da parte correspondente ao *hardware*, além da parte de antenas, elemento este de suma importância devido ao interfaceamento entre o sinal e sistema de RDS, uma vez que a ideia chave por trás da tecnologia dos RDS é dar máxima versatilidade aos componentes físicos em uso, deixando a cargo do *software* selecionar a forma de onda, os algoritmos de codificação e decodificação, o processamento digital de sinais e as pilhas de protocolos necessárias para transportar a informação pelas ondas eletromagnéticas.

Devido as vantagens trazidas pela tecnologia dos RDS, será apresentado também o emprego da tecnologia em outros equipamentos, abordando também os riscos envolvidos por trás desta nova abordagem de desenvolvimento por *softwares* de equipamentos, antes constituídos primordialmente em *hardware*. Em vista do fato de que os sistemas de RDS são compostos por uma parte correspondente pelo espectro eletromagnético e a outra pelos computadores, verifica-se a possibilidade dos riscos inerentes a um cenário onde técnicas de ataque cibernético concorram em paralelo com técnicas de ataque eletrônico, trazendo à vista um novo conceito ainda em estudo no ramo de pesquisa e desenvolvimento, conhecido como Guerra Ciber-Eletrônica.

Não obstante, será apresentado também a influência da atmosfera e do solo sobre os sinais de comunicações, dada a relevante influência destes fatores.

### 1.3.1 Objetivo Geral

Abordar de maneira simples a teoria por trás da tecnologia dos RDS, a qual constitui base para o desenvolvimento dos futuros Rádios Cognitivos (RC), além de estar presente no desenvolvimento do RDS nacional pelo projeto RDS-Defesa conduzido pelo CTEx, realçando a importância e influência de se desenvolver tal projeto de modo a evitar a necessidade de aquisição de rádios importados. Soma-se a isto, o esclarecimento de como os

sinais de comunicação se propagam pelo espaço livre e quais as principais perdas associadas aos mesmos, destacando de forma teórica a natureza dos sinais de comunicações, dos sistemas de comunicações em HF, VHF e UHF, além de apresentar brevemente os sistemas de comunicações digitais e de comunicações satelitais. Diante disto, o projeto apresentará como sugestão de trabalho futuro uma investigação sobre as principais características, funcionalidades e o desenvolvimento atual das tecnologias empregadas nos modelos de RC em desenvolvimento, o qual é visto como equipamento moderno capaz de contornar as limitações presentes no desenvolvimento dos RDS, visto que os RC surgem com a proposta de rádio inteligente por meio de adaptação autônoma, onde parâmetros de *software* ou variações físicas de transmissão de ondas se contrabalanceiam na busca por se estabelecer comunicação em meio as diversas dificuldades (Vian, 2010).

### 1.3.2 Objetivos Específicos

Revisar a literatura existente sobre o tema atinente, levantando os principais problemas encontrados nas comunicações táticas, sejam estes de caráter natural ou tecnológico, tendo em vista que são influentes em um cenário de Guerra Eletrônica, onde os fatores atmosféricos (o canal) limitam a comunicação entre as unidades de campo do teatro de operações, sendo portanto preciso destacar a importância da Pesquisa e Desenvolvimento na área de rádios, visando diminuir a dependência destes equipamentos de empresas de países desenvolvidos, uma vez que constituem fator chave na segurança nacional. Com isto, serão abordados os seguintes pontos chaves:

1. A Natureza dos Sistemas de Comunicações: parte do trabalho aborda os elementos básicos que compõem um típico sistema de comunicação e seu funcionamento, destacando-se o papel da fonte, do transmissor, do canal, do receptor e do destinatário, já que são os elementos bases para qualquer sistema de comunicação atual e a teoria por trás destes elementos são base para a compreensão do mecanismo de formação e propagação dos sinais de comunicação, bem como para a compreensão do funcionamento do RDS.

2. Comunicação Analógica e Digital: sabe-se que a informação pode ser representada por sinais analógicos ou digitais. Diante desta observação, será dado uma breve ênfase nas características destes dois tipos de sinais, apresentando a vantagem de um sistema de comunicação digital sobre um sistema de comunicação analógico.



3. Natureza dos Sinais de Comunicações: os sinais de comunicações podem ser unidirecionais ou bidirecionais “dúplex”, de forma que um sinal de comunicação depende do formato da mensagem a ser transmitida, podendo esta ser áudio, arquivo, chat ou imagem. E quando se trata de comunicação naval, esta apresenta como principal fator limitante as longas distâncias, as quais necessitam de muita potência. Logo, esta seção trata destas questões, assim como das faixas de frequência em que são realizadas as comunicações táticas.

4. A Influência da Ionosfera nos Sistemas de Comunicações em HF: a ionosfera desempenha um papel importante nas comunicações militares à grandes distâncias, uma vez que esta é utilizada para reflexão de sinais de comunicação em HF de médias e altas frequências. Contudo, a ionosfera sofre variações em suas propriedades ao longo do dia, local e com as radiações advindas do sol. À vista disso, será apresentado as formas de propagações das ondas terrestres utilizadas nas comunicações militares e suas iterações com a ionosfera.

5. Sistemas de Comunicações em VHF/UHF: Sistemas de comunicações em VHF e UHF são mais simples que aqueles em HF, pois a trajetória do sinal de comunicação não apresenta dependência diante das variações atmosféricas ao longo do tempo. Logo, nesta etapa, serão apresentados três modelos de propagação de sinais como o modelo de propagação por linha de visada, o modelo de dois raios (“two-ray”) e o modelo de difração por obstáculo do tipo gume de faca. Soma-se a isto a apresentação de um critério de escolha de qual modelo de propagação escolher, mediante a distância entre as antenas em comparação com a distância da Zona de Fresnel.

6. Os Rádios Definidos por *Software*: diante da evidente importância das comunicações militares no teatro de operações, é apresentado uma breve seção de contextualização sobre os Rádios Definidos por *Software*, onde é apresentado as principais características, módulos e princípio de funcionamento do mesmo, além das vantagens desta tecnologia, destacando a importância da independência e desenvolvimento desta tecnologia frente ao atual cenário das Forças Armadas, no qual muitos equipamentos de baixa sofisticação são importados de empresas estrangeiras por um alto custo, as quais não fornecem detalhes de funcionamento dos equipamentos militares adquiridos.

## **2. METODOLOGIA**

Em síntese, este trabalho propõe-se a realizar uma pesquisa qualitativa, descritiva, exploratória e explicativa, utilizando-se para tanto os meios documentais ou bibliográficos como livros e teses, visando investigar as limitações impostas pela natureza às comunicações e o uso dos RDS como uma solução para as comunicações navais, os quais são foco de estudo pelas principais instituições internacionais, a fim de se encontrar uma solução quanto ao problema de comunicação tática para os meios navais brasileiros da próxima década.

### **2.1 Classificação da Pesquisa**

Diante do assunto em foco, das limitações de tempo e acesso a determinados documentos, este trabalho, conforme mencionado anteriormente, propõe-se a uma pesquisa de caráter qualitativo, descritiva, exploratória e explicativa sobre o avanço tecnológico na área dos RDS diante de perturbações e ruídos naturais, que prejudicam as comunicações dos meios navais.

#### **2.1.1 Quanto aos fins**

Em relação à classificação deste trabalho, o mesmo caracteriza-se por uma abordagem qualitativa, descritiva, exploratória e explicativa. Diz-se que este trabalho utilizara pesquisa qualitativa, pois o mesmo identificará e analisará dados que não podem ser mensurados numericamente. A pesquisa também terá um caráter descritivo, uma vez que os dados serão coletados sobre o desempenho de aplicações de RDS por meio de documentos, teses de conclusão de curso e publicações em artigos internacionais. Quanto a abordagem exploratória, esta é justificada devido a proposta do trabalho em descobrir ou elucidar o problema em foco, por meio de publicações internacionais divulgadoras de experimentos na área científica. Por último, o trabalho terá uma abordagem explicativa, pois conterà teoria junto ao estudo de coleta de dados e sua análise.

#### **2.1.2 Quanto aos meios**

Em relação aos meios, este trabalho está focado na pesquisa documental e bibliográfica. Devido ao fato de se utilizar alguns documentos de caráter interno das organizações militares, como apostilas de centros de educação militar e publicações

ostensivas, como aquelas de âmbito estratégico, tem-se que destacar a natureza da pesquisa documental neste quesito. Quanto ao cunho de pesquisa bibliográfica, esta recebe como destaque neste trabalho os artigos internacionais, livros de grandes autores e teses de conclusão de curso de instituições com excelente avaliação no Brasil.

## **2.2 Limitações do Método**

Até o presente momento, este trabalho propõe-se a realizar uma pesquisa qualitativa, descritiva, exploratória e explicativa, em razão da dificuldade em se obter documentos internamente na instituição militar, pois publicações militares têm diferentes níveis de sigilo a serem respeitadas. Soma-se a isto, o fato de que muitos documentos e projetos na área militar são reservados, a fim de se manter além da segurança nacional, o conhecimento da tecnologia na própria instituição. Vale destacar também o fato de que o Brasil, como país líder no setor tecnológico dentre os países que compõem o Mercosul, possui um grande número de empresas que demandam profissionais na área de ciências exatas, conduzindo muitos estudantes e profissionais de cursos de graduação, mestrado e doutorado voltados a estudar problemas de natureza tecnológica e econômica das empresas nacionais, sem haver um foco na parte de desenvolvimento militar, a qual depende de cursos internos das próprias instituições militares.

## **2.3 Coleta e Tratamento de Dados e Informações**

Os dados e as informações serão coletados por meio de pesquisa extensa em documentos, livros, artigos e dentre outras publicações na própria instituição militar, instituições de ensino nacionais e instituições internacionais de pesquisa e desenvolvimento. Após a coleta de dados, estes serão tratados e analisados de modo a evitar a necessidade de análises numéricas, apresentando as vantagens e desempenho dos RDS diante das limitações impostas pela natureza aos sistemas de comunicações.

### 3. A NATUREZA DOS SINAIS E SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES (DESCRIÇÃO E ANÁLISE)

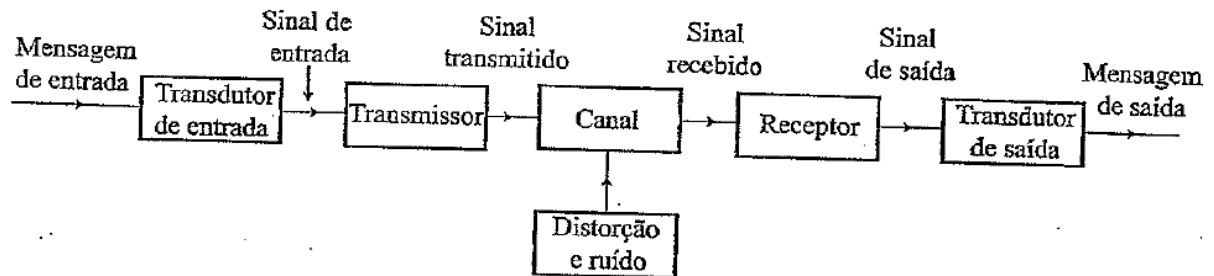
Ao longo das décadas, os sistemas de comunicações evoluíram por questões tanto econômicas quanto militares. Antes do advento da comunicação elétrica por meio de telefones, rádios ou mesmo televisores, a comunicação à longas distâncias era realizada por mensagens transportadas por corredores a pé ou a cavalo, pombos-correios, luzes e fogo (Lathi; Ding, 2012, p. 1). Contudo, diante dos grandes interesses econômicos nacionais e internacionais de grandes nações expansionistas, à luz das revoluções industriais e agrícolas que se seguiram no mundo, os meios de comunicações passaram por grandes transformações de modo a aumentar a produtividade e conservação de energia entre os diversos participantes. Não muito obstante das evoluções nas comunicações, devido às questões econômicas e estratégicas de grandes nações, surgiram a Primeira Guerra Mundial (1914-1918) e a Segunda Guerra Mundial (1939-1945) com tensões políticas e militares a evoluir as comunicações, como por exemplo com o advento de satélites artificiais (União Soviética) e *internet* (projeto da ArpaNet, *Advanced Research Project Agency*, ou em português, Agência de Pesquisas em Projetos Avançados).

#### 3.1 Modelo Típico de Sistema de Comunicação

Diante da importância da comunicação para o desenvolvimento econômico e militar de uma nação, torna-se válido a apresentação dos elementos que compõem um típico sistema de comunicação, bem como seu funcionamento. Um típico sistema de comunicação é composto de fonte, transmissor, canal, receptor, destinatário (vide Figura 1).

A fonte da informação pode ser interpretada como qualquer origem de dado relevante a ser transmitido, seja este advindo de um meio externo ao sistema de comunicação como a voz humana, a qual será tratada e transformada em sinal elétrico para posterior transmissão, como uma mensagem eletrônica de um determinado sistema, como um computador. Quando o dado a ser transmitido não é elétrico, como a voz humana, o mesmo será convertido por um transdutor de entrada para uma forma de onda elétrica em forma de sinal de mensagem, utilizando-se para tal um microfone ou teclado, por exemplo (Lathi; Ding, 2012, p. 3).

Figura 1 – Sistema de comunicação com elementos básicos.



Fonte: Lathi, Ding (2012, p. 2).

O transmissor é o elemento que une o sinal ao canal de transmissão e é responsável pelo tratamento do sinal, isto é, em seu interior podem existir subsistemas, como conversor A/D, codificador e modulador, os quais trataram o sinal a fim de se obter uma transmissão efetiva e eficiente.

O canal é o meio de escolha responsável pela ligação entre o transmissor e o receptor, podendo ser um meio físico, como um par de fios de cobre trançados (telefone), cabo coaxial (televisão), fibra óptica, ou o ambiente atmosférico por meio de ondas eletromagnéticas (enlace de rádio), sinais AM e FM (Lathi; Ding, 2012, p. 3).

De forma objetiva, o receptor é o elemento responsável por extrair o sinal desejado do canal e fornecê-lo para o transdutor de saída. A principal função do receptor é tratar o ruído presente no sinal recebido, além de amplificar e demodular o sinal de modo que o mesmo possa ser convertido em mensagem novamente pelo transdutor de saída. De forma semelhante ao transmissor, o receptor pode possuir subsistemas como demodulador, decodificador e conversor D/A (Lathi; Ding, 2012, p. 3).

Existe uma importância muito grande em relação ao canal pelo qual o sinal de comunicação se propaga, uma vez que o mesmo é o responsável pela atenuação e distorção das formas de ondas eletromagnéticas propagantes. É comprovado que a atenuação do sinal aumenta com o comprimento do canal e que as distorções das formas de onda dos sinais têm origem em fenômenos físicos como ganhos dependentes da frequência, existência de multipercursos e deslocamento Doppler. Diante disto, um sinal transmitido pode sofrer distorções lineares, como por exemplo, um pulso quadrado sofrendo arredondamento ou "espalhamento" por um canal com comportamento de filtro passa-baixas, o que no caso necessitaria sofrer uma correção no receptor por um equalizador com características de ganho

e fase complementares às do canal. Vale ressaltar que, além dessas distorções lineares, o canal também pode causar distorções não lineares por meio da variação de amplitude do sinal, a qual deverá ser corrigida no receptor por um equalizador de características complementares (Lathi; Ding, 2012, p. 3).

Vale mencionar que, os sinais de comunicação também sofrem outras distorções indesejáveis devido a interferências e perturbações ao longo do percurso, as quais não são atribuídas ao canal e são consideradas ruído. Com isto, pode-se dizer que o ruído é um conjunto de sinais interferentes de natureza aleatória e imprevisível advindos de fontes externas e internas. Como ruídos de fontes externas e de fontes não naturais, pode-se assumir sinais de canais vizinhos, comutadores defeituosos de circuitos elétricos, radiação da ignição de motores em geral, lâmpadas fluorescentes, dentre muitos outros. Já, ruídos de natureza externa e de origem natural, pode-se ser citado aqueles advindos de raios, tempestades elétricas e radiação intergaláctica. Analisando-se a natureza do ruído, é possível verificar que os ruídos de natureza externa são mais factíveis de serem amenizados, uma vez realizado um projeto de sistema de forma adequável, prevendo e buscando os possíveis causadores de tais ruídos de modo a eliminá-los. Contudo, ao voltar-se para os ruídos de natureza interna, como por exemplo aquele atinente a agitação térmica de partículas carregadas em condutores, verifica-se que tais ruídos podem ser reduzidos, mas nunca eliminados por completo. À face do exposto, o ruído é um principal limitador da taxa de comunicação (Lathi; Ding, 2012, p. 3).

### **3.2 Comunicação Analógica e Digital**

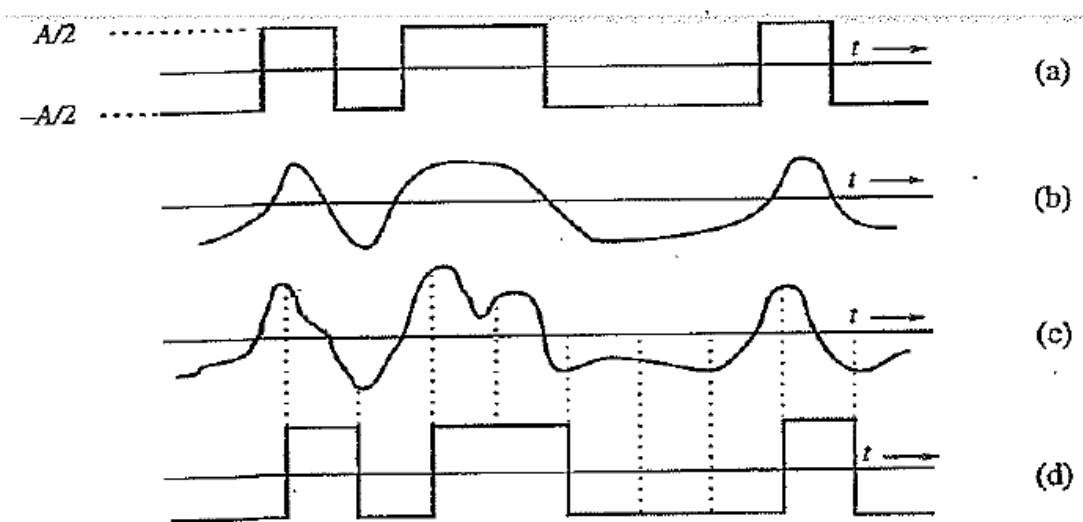
A informação pode ser transmitida de duas formas por um sistema de comunicação, por meio de mensagens analógicas ou digitais. De antemão, vale mencionar que devido ao avanço tecnológico e barateamento de componentes eletrônicos de qualidade, cada vez mais os antigos sistemas analógicos de comunicação estão dando espaço para os sistemas digitais de comunicação, os quais possuem maior imunidade aos ruídos e perturbações.

Os sinais de comunicação analógicos são caracterizados por dados cujos valores variam continuamente em um determinado intervalo de tempo, como por exemplo um disco de vinil, o qual possui em sua superfície ranhuras que ao contato com a agulha do toca-discos faz a mesma vibrar, transformando esta vibração em sinal elétrico a ser amplificado e transformado em som. Já os sinais de comunicação digitais são caracterizados por possuírem valores discretos, isto é, descontínuos, tanto no tempo quanto na amplitude, garantindo um

conjunto de valores finitos. Como um exemplo básico de sinal de comunicação, pode-se destacar uma mensagem transmitida em código *morse* que possui como conjunto finito os símbolos traço e ponto (mensagem de natureza binária).

A vantagem dos sinais digitais sobre os analógicos é a facilidade no tratamento da informação, já que se pode garantir uma qualidade de sinal com baixo custo de armazenagem e tempo de processamento, além de que diferentes tipos de caracteres podem ser representados por uma ou mais combinações de formas de ondas, as quais os detalhes não são relevantes desde que o receptor consiga extrair a mensagem original do sinal recebido, o qual chegará perturbado e com ruído (vide Figura 2). Quando a distorção do sinal recebido não é grande o suficiente para deteriorar a informação nele contida, a mesma pode ser recuperada, e neste sentido sistemas de comunicação digitais são mais robustos, pois tratam o ruído e as distorções causadas pelo canal de maneira melhor que os sistemas analógicos, desde que tais imperfeições causadas ao sinal estejam dentro de determinado limite (Lathi; Ding, 2012, p. 4).

Figura 2 – Apresentação de um sinal transmitido (a), sinal distorcido recebido sem ruído (b), sinal distorcido recebido com ruído (c) e sinal regenerado com atraso (d).



Fonte: Lathi, Ding (2012, p. 5).

### 3.3 Natureza dos Sinais de Comunicações

A natureza dos sinais de comunicações depende muito do tipo de mensagem que se pretende transmitir, podendo ser no formato de áudio, arquivos, chat ou mesmo imagens (escaneadas ou digitalizadas).

Comunicações navais são difíceis por muitos motivos, mas o principal deles é a escala, isto porque as comunicações exigem muita potência entregue aos transmissores de modo que grandes distâncias sejam cobertas. Apesar da evolução tecnológica nos meios de comunicação, como por exemplo, com o surgimento de transceptores, os quais são encontrados cada vez mais em tamanhos reduzidos no comércio, ainda se persiste a demanda por grande potência para comunicações distantes, o que constitui um problema para os sistemas militares.

Um transceptor é um dispositivo eletrônico que combina em um único aparelho a função de transmissor como receptor de sinais de comunicação, utilizando-se de componentes comuns em um único circuito. Em Guerra Eletrônica, estes dispositivos possuem um papel muito importante, uma vez que são partes constituintes de sistemas de interceptação de sinais de comunicação. Pode-se destacar como fatores característicos dos sinais de comunicação, em relação aqueles sinais utilizados por radares, o fato de que sinais para fins de comunicação possuem modulação contínua, além de serem propensos a terem alto fator de trabalho, o qual é definido como a relação de tempos entre a transmissão efetiva de dados e aquela em que o sistema fica ativo enviando o dado (Pantoja; Dargam, 2006, p. 2).

Com o aumento da ocupação das faixas de frequência ao longo das décadas, o uso de frequências cada vez maiores que 1 GHz têm se tornado frequentes nos sistemas de comunicações. Em vista disto, algumas informações tornam-se importantes em relação aos sinais de comunicações tanto na capacidade de carregamento de informações quanto no desempenho. Em maiores detalhes, observa-se que uma largura de banda grande, carrega mais informação por unidade de tempo, contudo uma largura de banda grande só é possível quanto maior for a frequência, ainda assim vale ressaltar que o aumento da frequência torna a comunicação entre duas estações mais dependentes da geometria da região que as separa (Pantoja; Dargam, 2006, p. 2).

Como fator significativo, vale mencionar que as comunicações militares de caráter tático são realizadas nas frequências de HF, VHF e UHF (vide Tabela 1 e Figura 3), os quais costumam sofrer distorções e atenuações, além do já mencionado problema de enlace entre as estações devido à alta frequência (Pantoja; Dargam, 2006, p. 3).

Conforme pode ser verificado na Tabela 1, os sinais de comunicação táticos estão na faixa de HF, VHF e UHF, podendo os enlaces de comunicação ocorrerem de forma terra - terra, ar - terra e ar - ar.

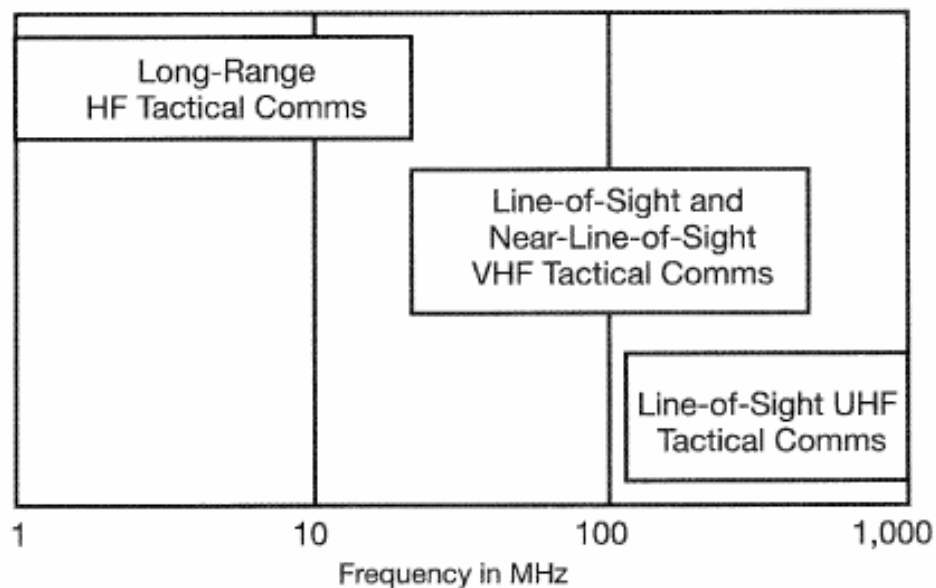


Tabela 1 – Principais enlaces de comunicações táticas e estratégica.

Aplicação Militar	Tipo de Enlace	Faixa de Frequência
Comando e Controle Tático (terrestre)	ponto-a-ponto (ponto - multi - ponto), terra-terra e ar - terra	HF, VHF e UHF
Comando e Controle Tático (aéreo)	ar - terra e ar - ar	VHF e UHF
Comando e Controle Estratégico	Terra-satélite; satélite-satélite	micro-ondas

Fonte: Adaptado de Pantoja, Dargam (2006, p. 3).

Figura 3 – Ilustração da faixa de frequências, onde estão situados os sinais de comunicações táticos.



Fonte: Pantoja, Dargam (2006, p. 2).

### 3.4 A Influência da Ionosfera nos Sistemas de Comunicações em HF

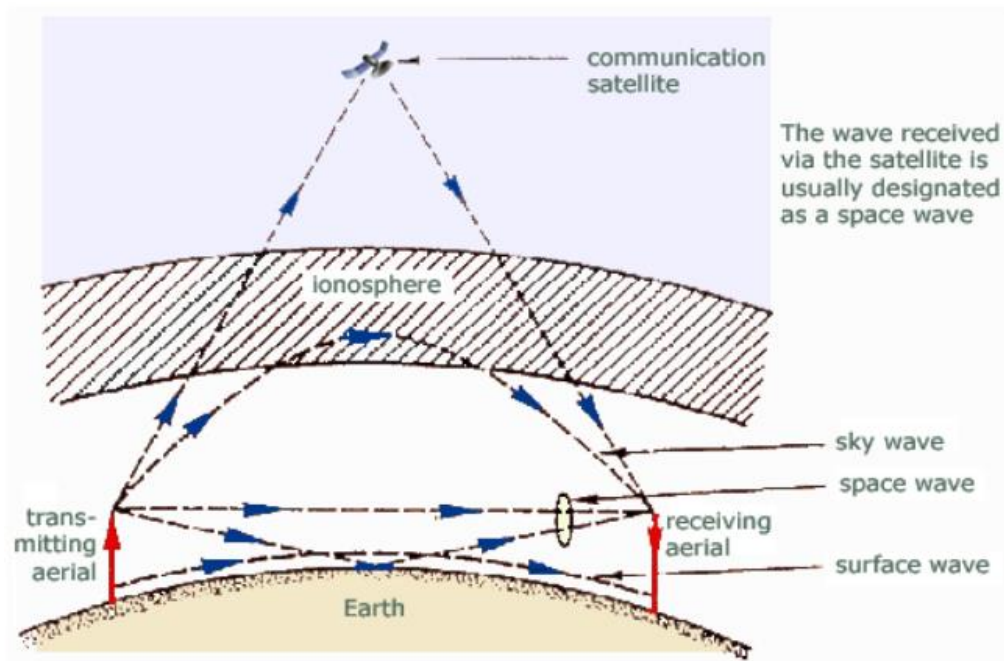
A ionosfera tem um papel muito importante nas comunicações militares à grandes distâncias, uma vez que esta é utilizada para reflexão de sinais de comunicação em HF de médias e altas frequências. Contudo, fazer uso deste princípio de comunicação não é simples,

pois a ionosfera sofre variações em suas propriedades ao longo do dia, local e até mesmo com as radiações advindas do sol, o que afeta o perfil eletromagnético da camada (Dargam; Pantoja, 2006, p. 7).

Diante disto, pode-se destacar três formas de propagações das ondas terrestres utilizadas nas comunicações militares, as quais são: ondas de superfície (*surface waves*), ondas espaciais (*space waves*) e ondas celestes (*sky waves*). Segundo Dargam e Pantoja (2006, p. 7), as comunicações em HF podem ser realizadas por linha de visada, seguindo os mesmos princípios de propagação que as comunicações em VHF e UHF, as quais sofrem interação com as características e perfil de solo pelo qual se propagam até atingirem o receptor, o que não ocorreria em sinais de comunicações de 160km de distância, com a comunicação sendo realizada por meio de ondas celestes que se caracterizam por serem refletidas na ionosfera.

Conforme descrito por Dargam e Pantoja (2006, p. 8), vale mencionar que a altura de reflexão virtual aumenta com o aumento da frequência do sinal de comunicação, até que esta atinja a chamada frequência crítica quando não mais ocorre a reflexão do sinal e o mesmo transpassa a camada ionosférica, exemplo disto são os sinais utilizados nas comunicações via satélite.

Figura 4 – Caracterização dos três tipos de caminhos possíveis a serem percorridos pelas ondas de rádio.



Fonte: Frank (2017, p. 1).

### 3.5 Sistemas de Comunicações em VHF/UHF

Sistemas de comunicações em VHF e UHF são mais simples que aqueles baseados em HF, uma vez que a trajetória do sinal de comunicação não apresenta tanta dependência com as variações atmosféricas ao longo do tempo, o que caracteriza perdas insignificantes nos sinais nestas faixas de frequência (Dargam; Pantoja, 2006, p. 12).

De acordo com Dargam e Pantoja (2006, p. 12), existem diversos modelos para análise de propagação de sinais onde se podem inserir como parâmetros de entrada atributos particulares, além do tipo de percurso, do sinal e obter como saída uma avaliação do desempenho do sinal no respectivo canal. Entretanto, em um teatro de operações as comunicações são realizadas de forma dinâmica com diversos enlaces, os quais estão fadados a sofrerem interferências ambientais e de equipamentos de Guerra Eletrônica. Logo, diante disto, abre-se mão dos modelos de propagação de sinais encontrados nas publicações acadêmicas clássicas para um estudo mais básico dos modelos de propagação de sinais como o modelo de dois raios (“*two-ray*”) ou o modelo de difração por obstáculo do tipo gume de faca.

A seguir é introduzida uma breve noção teórica dos modelos de propagação do sinal de comunicação vistos no parágrafo anterior, como o modelo de dois raios e o de difração por obstáculo do tipo gume de faca, visando criar uma base sólida para o assunto Rádios Definidos por *Software* e os desafios atuais por trás dos mesmos.

#### 3.5.1 Propagação por linha de visada

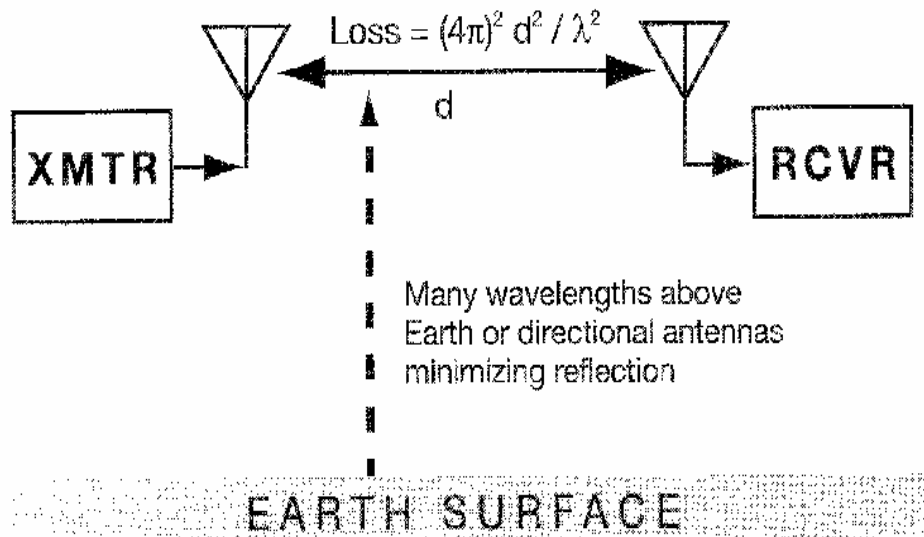
O modelo de propagação por linha de visada é aquele no qual o sinal eletromagnético não sofre reflexões em seu percurso por múltiplos obstáculos. É um modelo utilizado em altas altitudes ou quando não há obstáculos, como no mar, ambiente em que antenas diretivas apresentam melhor emprego devido ao uso de feixe estreito com restringindo possíveis reflexões do sinal em possíveis obstáculos ou mesmo na água do mar (Dargam; Pantoja, 2006, p. 12).

Segundo Dargam e Pantoja (2006, p. 12), é possível estimar a perda no sinal de propagação em espaço livre (vide Figura 5) pela fórmula:

$$L = (4\pi)^2 d^2 / \lambda^2. \quad (1)$$

Onde  $L$ ,  $d$  e  $\lambda$  representam respectivamente perda, distância (em metros) e comprimento de onda do sinal (em metros).

Figura 5 – Modelo de propagação de sinal por linha de visada utilizado em Guerra Eletrônica.



Fonte: Pantoja, Dargam (2006, p. 13).

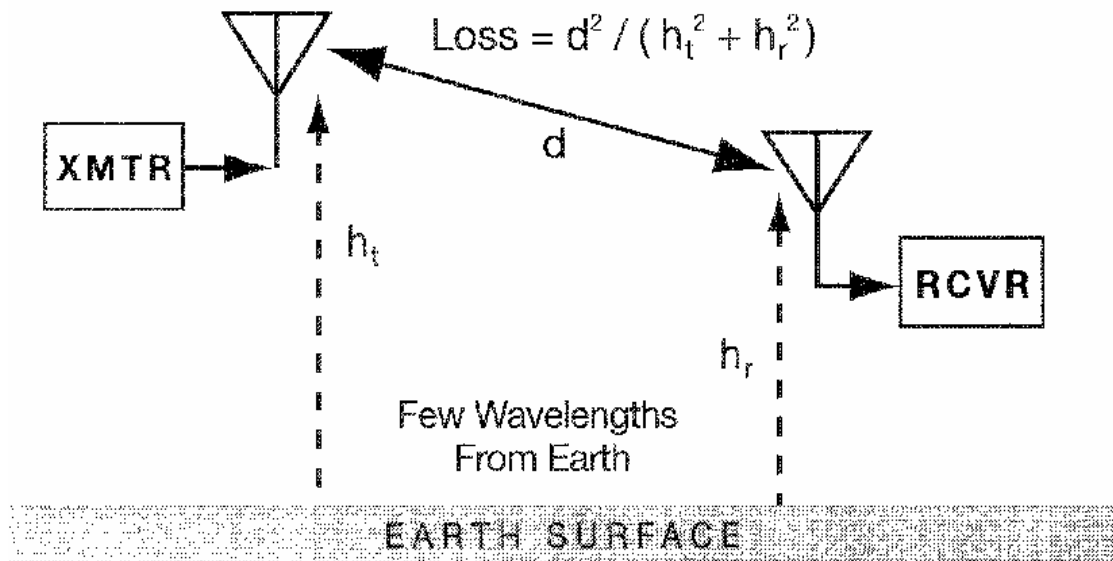
### 3.5.2 Modelo de propagação por dois raios

Conforme apresentado por Dargam e Pantoja (2006, p. 13), o modelo de propagação por dois raios é utilizado nas situações em que sinais de comunicação são de baixa frequência e quando tanto o transmissor quanto o receptor encontram-se em baixas altitudes, de maneira que a perda por propagação para este tipo de modelo é descrita como:

$$L = d / (h_t^2 h_r^2). \quad (2)$$

Onde os termos  $L$ ,  $d$ ,  $h_t$  e  $h_r$  significam respectivamente a perda, distância, altura da antena de transmissão (em metros) e altura da antena de recepção (em metros). Vale mencionar que, no modelo matemático apresentado, a perda no sinal de comunicação não está associada com a frequência do sinal (vide Figura 6).

Figura 6 – Esquema de comunicação em modelo de propagação por dois raios.



Fonte: Pantoja, Dargam (2006, p. 13).

### 3.5.3 Critério de escolha de modelo de propagação

A partir do momento em que há dois modelos de propagação para os sinais de comunicação, surgiu a necessidade de um critério de seleção para a escolha do modelo mais apropriado para determinada situação. Diante disto, Dargam e Pantoja (2006, p. 14) apresentam a distância da Zona de Fresnel (FZ) como parâmetro indicador na escolha do modelo de propagação. Logo, conhecendo-se a distância da FZ é possível selecionar o modelo da seguinte forma (vide Figura 7):

- Opta-se pelo modelo por linha de visada, caso a distância entre as antenas do transmissor e receptor seja menor que a distância FZ; ou
- Opta-se pelo modelo por dois raios, caso a distância entre as antenas do transmissor e receptor seja maior que a distância FZ.

O cálculo matemático que melhor descreve a distância da Zona de Fresnel é:

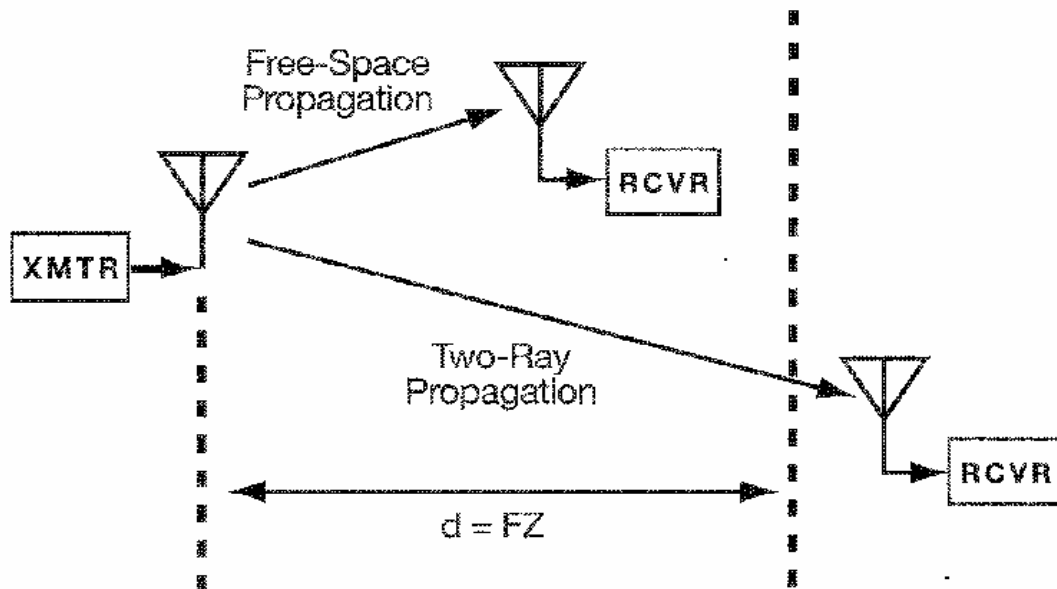
$$FZ = (4\pi h_t h_r) / \lambda. \quad (3)$$

Onde FZ,  $h_t$ ,  $h_r$  e  $\lambda$  são respectivamente distância da Zona de Fresnel (em metros), altura da antena de transmissão (em metros), altura da antena de recepção (em metros) e

comprimento de onda eletromagnética do sinal de comunicação (em metros) (Dargam; Pantoja, 2006, p. 15).

Vale mencionar que não será abordado neste trabalho outros modelos, como o modelo de propagação caracterizado pela difração por obstáculo do tipo gume de faca, uma vez que os sinais de comunicações em um teatro de operações navais têm como ambiente de plano de fundo o mar, e não cumes de montanhas ou qualquer outro tipo de irregularidade montanhosa.

Figura 7 – Exemplificação da escolha do modelo de propagação a ser selecionado.



Fonte: Pantoja, Dargam (2006, p. 14).

### 3.6 Os Rádios Definidos por *Software*

À face do exposto até o momento, fica evidente a importância das comunicações militares para o teatro de operações. Assim sendo, esta seção apresentará as características, os conceitos, o funcionamento, dentre outros aspectos relevantes sobre os Rádios Definidos por *Software*, uma vez que estes podem apresentar diversas vantagens, a fim de contribuir significativamente no estabelecimento de enlace de comunicações entre duas unidades táticas. Um outro destaque significativo é o Projeto RDS-Defesa, que integra o Projeto Estratégico Defesa Cibernética, do Ministério da Defesa, em que a coordenação é atribuída ao Exército Brasileiro. Neste quesito, o CTE<sub>x</sub> gerencia o projeto, trabalhando em conjunto com outras

instituições como Marinha do Brasil, além de instituições civis. O Projeto RDS-Defesa tem por finalidade a criação de um rádio para uso militar, o qual unificará as comunicações das três Forças Armadas (Filho, 2017, p. 6).

O principal objetivo do Projeto RDS-Defesa é a criação de um Rádio Definido por *Software*, o qual tem sido estudado bastante por diversas instituições internacionais e industriais, uma vez que apresenta bastante flexibilidade e portabilidade aos sistemas de comunicações existentes, provendo desta forma possíveis soluções aos problemas comunicações móveis (Filho, 2017, p. 6).

### 3.6.1 Uma breve contextualização

Uma das principais vantagens e que torna a tecnologia dos RDS tão atraente, é a capacidade de diminuição da quantidade de *hardware* ao equipamento, o que possibilita economia no consumo de potência, além de diminuição das dimensões dos aparelhos, o que acarreta em uma contribuição na portabilidade dos mesmos (Barros, 2007, p. 2).

Diante da capacidade de se implementar os componentes de *hardware* (como por exemplo filtros, amplificadores, moduladores ou demoduladores, dentre outros) por *software*, obtém-se mais uma outra vantagem associada a tecnologia de RDS, a vantagem de reconfigurabilidade, sem a necessidade de se alterar um componente fisicamente do rádio. Logo, é possível notar a economia no custo de produção deste tipo de rádio, uma vez que os mesmos podem ter uma produção padronizada em *hardware* com as funções de funcionamento do aparelho sendo definidas posteriormente com a instalação do *software*, o qual representa um custo baixo diante custo do *hardware* (Barros, 2007).

De acordo com Barros (2007, p. 3), a continua evolução dos RDS contribui para a interoperabilidade entre sistemas e serviços devido a capacidade de reconfiguração dos sistemas dos RDS, além de possibilitar a seleção dos melhores parâmetros de transmissão e da rede com melhor qualidade.

### 3.6.2 A importância do Projeto RDS-Defesa para o Brasil

Conforme apresentado anteriormente, foi iniciado o Programa Rádio Definido por *Software* do Ministério da Defesa (RDS-Defesa), sob a responsabilidade do CTEEx, com a finalidade de desenvolver um RDS para as comunicações táticas das Forças Armadas do

Brasil, em vista a alternativa de aquisição de equipamentos de comunicação no mercado internacional. Em paralelo, o Projeto RDS-Defesa procura fomentar o desenvolvimento econômico e tecnológico nacional estreitando as relações entre o setor Industrial, Acadêmico e Governamental (Filho, 2017, p. 6).

Diante do apresentado, o Programa RDS-Defesa busca contribuir com o desenvolvimento de um meio de comunicação tático eficiente, robusto, sofisticado e seguro, capaz de transmitir informações de diversos tipos (como por exemplo, imagem, vídeo, mensagens, dados, voz, dentre outros) nas principais faixas de frequência HF, VHF e UHF, bem como operar em cenários diversos de guerra, independentemente das características fisiográficas da região e das necessidades operacionais e doutrinárias (Filho, 2017, p. 7).

Conforme apresentado até o momento, verifica-se o grande desafio ao qual o programa de pesquisa e desenvolvimento de um RDS nacional enfrenta frente ao grande número de empresas internacionais dispostas a vender seus equipamentos de comunicação com os mais variados tamanho, peso, funcionalidade e desempenho. Soma-se a isto, falta de uma indústria nacional bélica com condições de suprir as necessidades das Forças Armadas Brasileiras. Frente à estas questões e ao risco elevado do desenvolvimento de um projeto complexo com prazo e custos definidos, resta apresentar os outros motivos, fora aqueles já apresentados, que tornam o projeto RDS-Defesa tão importante.

Segundo Horváth (2015, p. 197), além dos tradicionais fabricantes de equipamentos de comunicação, existem inúmeros outros com objetivos e propósitos em comum com as necessidades dos clientes, sejam estes militares ou civis. Ambos buscam encontrar equipamentos sofisticados, econômicos, de fácil atualização e capazes de atender a certos requisitos particulares, como por exemplo, faixa de operação em frequência (HF, VHF e UHF), serviços (imagem, vídeo, mensagens, dados, voz, dentre outros), segurança (sinal criptografado), dentre outros.

### 3.6.3 Os principais conceitos do Rádio Definido por *Software*

Segundo Barros (2007 apud Mitola, 2000), um RDS é um rádio no qual a modulação da forma de onda pode ser determinada por *software*, utilizando-se para isto um conversor digital-analógico (CDA) de banda larga na transmissão e um receptor capaz de realizar um abaixamento de frequência e demodular a forma de onda por meio de *software* embarcado no processador de uso geral.



Conforme mencionado em Barros (2007, p. 5), o que caracteriza um RDS é sua capacidade de digitalizar um determinado sinal próximo da antena de modo a diminuir o processamento em *hardware*, além de possuir os blocos de conversores analógico-digital (CAD) e digital-analógico (CDA) depois da antena, a qual recomenda-se que seja uma antena inteligente. Soma-se a isto, o processamento do sinal ser realizado por *software*, o qual possibilita reconfigurações quanto a forma de tratamento do sinal.

Na escolha de antenas para um RDS, uma série de fatores devem ser levados em consideração como a largura de banda na qual o equipamento irá operar, além da configuração do equipamento, da plataforma de uso, ou do grau de integração da antena com o processador do RDS, elementos estes que precisam ser conciliados com os requisitos básicos impostos para o equipamento (Pereira, F. E. S.; Gomes, G. A. F.; Dias, M. H. C., 2016, p.649).

De acordo com Pereira, Gomes e Dias (2016, p. 650 apud Balanis, 2005) Uma antena pode ser considerada tanto um elemento de circuito como um elemento irradiante, o que torna necessário duas medidas de desempenho com pontos distintos, levando-se em consideração os parâmetros diagrama de campo, ganho, resistência de radiação, fator de perda de polarização, área efetiva da antena, entre outros (Pereira, F. E. S.; Gomes, G. A. F.; Dias, M. H. C., 2016, p.650 apud Volakis, 2007). Estes parâmetros são importantes para a faixa de frequências de interesse de aplicação da antena, caracterizando a faixa nominal de operação da antena, informação de cunho primordial para especificar, adquirir ou projetar uma antena para um sistema em específico (Pereira, F. E. S.; Gomes, G. A. F.; Dias, M. H. C., 2016, p.650).

Segundo Pereira, Gomes e Dias (2016, p. 652) para a escolha da antena (ou sistemas de antenas) para um RDS tático terrestre é necessário considerar os seguintes fatores:

1. radiação omnidirecional versus direcional;
2. larguras de bandas de impedância versus de ganho;
3. restrições da plataforma da antena e configurações do rádio;
4. atuação em toda banda a qualquer tempo versus capacidade de comutar para sub-faixas em função da operação de momento;
5. grau de controle da antena (ou sistema de antenas) pelo processador.

Nota-se que, os dois primeiros fatores estão relacionados com a baixa probabilidade de interceptação, enquanto o terceiro está ligado com o tamanho, peso, consumo de energia reduzido e as funcionalidades de interoperabilidade; já, os aspectos quatro e cinco relacionam-

se com a capacidade de reconfiguração dinâmica (Pereira, F. E. S.; Gomes, G. A. F.; Dias, M. H. C., 2016, p.652).

Os três primeiros fatores mencionados são característicos do processo de escolha da antena para qualquer rádio tático terrestre, independentemente deste ser definido ou não por *software*. Contudo, os fatores 4 e 5 são característicos para os RDS. Diante disto, somando-se estes fatores tem-se uma base para a especificação da antena (Pereira, F. E. S.; Gomes, G. A. F.; Dias, M. H. C., 2016, p.652).

Sistemas táticos terrestres de comunicações geralmente utilizam antenas com radiação omnidirecional, as quais apresentam ganhos menores que os de antenas diretivas, o que por vez está relacionado com o tamanho da antena (ou sistema de antenas) e ao posicionamento na plataforma (Pereira, F. E. S.; Gomes, G. A. F.; Dias, M. H. C., 2016, p.652).

Conforme mencionado anteriormente, os sinais de comunicação tática são aqueles realizados terra-terra, ar - terra e ar - ar, os quais estão situados nas bandas de HF, VHF e UHF e com transceptores com antenas de radiação omnidirecional (360° de cobertura azimutal) (Pantoja; Dargam, 2006, p. 3). As antenas do tipo “*whip*” (chicote) são comumente utilizadas em estações de terra, enquanto as antenas dipolo dobradas são utilizadas em plataformas aéreas. As antenas não-direcionais são usadas quando não se conhece a localização da outra extremidade, mas uma vez que se conheça tal localização, e sabendo-se que antenas com cobertura omnidirecional possuem baixo ganho, são empregadas antenas direcionais (como por exemplo, as antenas log-periódicas), as quais fornecem um ganho maior em uma determinada direção e também maior isolamento aos sinais indesejáveis vindos de outras direções (Pantoja; Dargam, 2006, p. 3).

Um fator importante para ser levado em consideração no início do projeto de desenvolvimento de um equipamento de comunicação é o algoritmo de controle da antena, uma vez que o mesmo impacta na arquitetura de *hardware* como na de *software*, de maneira que se em um projeto de um RDS for desejável o uso de antenas inteligentes, logo torna-se interessante prever uma interface de operação física e lógica entre a antena (ou sistema de antenas) e o processador a fim de se obter o benefícios e desempenhos desejados do projeto (Pereira, F. E. S.; Gomes, G. A. F.; Dias, M. H. C., 2016, p. 652).

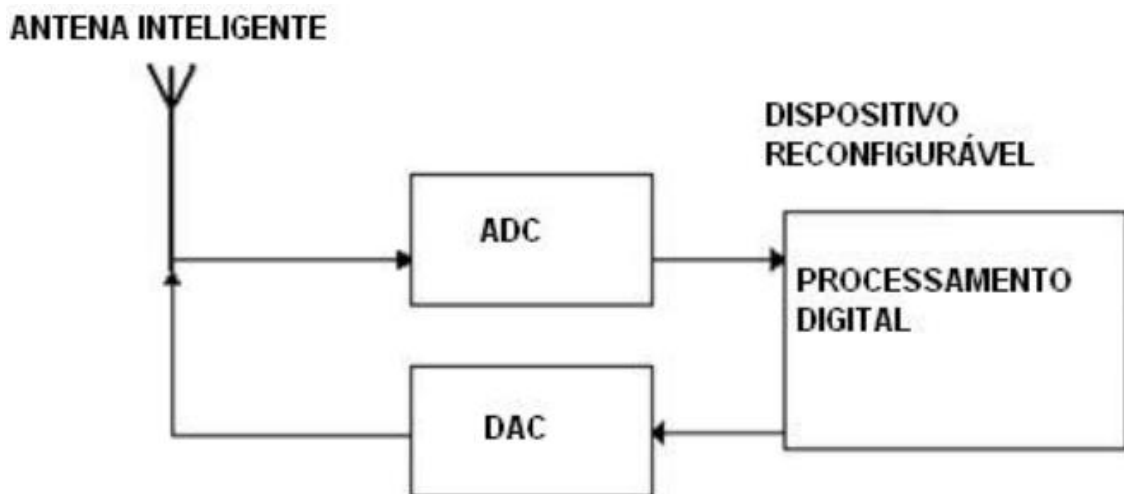
Com o desenvolvimento tecnológico do setor de telecomunicações na busca por sistemas mais confiáveis, rápidos e de baixo custo, visando maior taxa de transmissão de dados com menor largura de banda a fim de promover melhor oferta de serviços de comunicação de voz e dados, pesquisas foram desenvolvidas na área de arranjo de antenas, as

quais mostram-se interessantes para o desenvolvimento do RDS, uma vez que surgem como uma alternativa para o aumento da taxa de transmissão de dados (Pereira, F. G. S., 2003).

As antenas inteligentes caracterizam-se por um arranjo de antenas (ou elementos) em uma geometria pré-definida em que o campo eletromagnético de cada antena é combinado para produzir um campo maior, isto é, maior ganho (maior diretividade) do que se as antenas estivessem atuando de forma separadamente, como antenas convencionais (como um único elemento), logo esta visão traz consigo a ideia da antena como um elemento ativo no processo de recepção e transmissão do sinal (Pereira, F. G. S., 2003). Entretanto, vale mencionar que o que torna uma antena inteligente é o fato de se controlar eletronicamente o padrão de irradiação de modo que o arranjo possa se adaptar às variações de comportamento do canal (Pereira, F. G. S., 2003).

Quando se opta por uma antena inteligente, se está procurando uma maior flexibilidade de operação do RDS, de forma que se deseja maior faixa de frequências de transmissão e recepção, com menor perda de potência e de qualidade de sinal, desejando que a antena acompanhe possíveis mudanças no rádio sem que haja perda na qualidade na transmissão e recepção do sinal na faixa de frequência que se deseja trabalhar (Barros; Silva, 2006, p. 2). Junto a isto, é possível a utilização de um algoritmo de detecção DOA (*Direction of Arrived*) capaz de direcionar o lóbulo principal do feixe da antena na direção de chegada do sinal de interesse, de modo a evitar a interferência de componentes multipercursos e interferência de outros sinais (Barros; Silva, 2006, p. 2).

Figura 8 – Ilustração de um transceptor ideal para um RDS.



Fonte: Barros (2007, p. 6).

Logo, de acordo com Barros (2007, p. 6), um RDS para ser rotulado como ideal (vide Figura 8), deverá possuir as seguintes características: reconfigurabilidade (capacidade de se alterar o funcionamento do rádio à distância, sem precisar do homem), flexibilidade (não necessitar de alteração de *hardware*, isto é, mudança arquitetural) e modularidade (os módulos do rádio são executados separadamente de forma independente, permitindo flexibilidade ao sistema, impossibilitando que um módulo afete negativamente os demais em caso de reconfiguração).

### 3.6.4 Arquitetura Genérica de um Rádio Definido por *Software*

De acordo com Barros (2007 apud Tuttlebee, 2002), a arquitetura de um rádio genérico digital comum apresenta uma divisão em duas partes, sendo uma delas a de *front end*, a qual está vinculada a frequência de operação do rádio, enquanto a outra parte, conhecida como *back end*, está relacionada com o processamento do sinal.

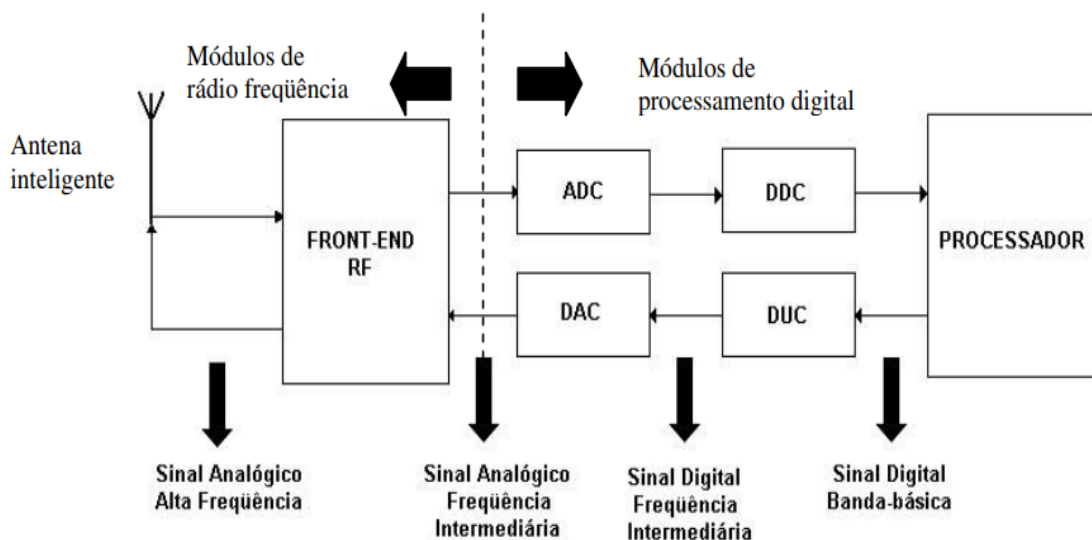
Contudo, diferentemente de um rádio genérico comum, um RDS ideal, como aquele apresentado na Figura 8, tem por base um projeto que visa ter suas principais características de configuração definidas por um *software* embarcado no rádio, afastando a necessidade de se alterar os componentes físicos do rádio. Porém, conforme mencionado em Barros (2007 apud Tuttlebee, 2002), um RDS ideal torna-se utópico diante do atual estado da arte em que se encontra a tecnologia de comunicação, uma vez que os conversores analógicos-digitais e digitais-analógicos, bem como os componentes de processamento, são limitados tecnologicamente diante das exigências de um RDS, sendo as versões modernas de um RDS capazes de digitalizar sinais de comunicação em uma banda da ordem de 100MHz. Logo, os RDS trazem consigo a necessidade de conversores analógicos-digitais com alta taxa de amostragem para digitalizar sinais em uma banda de frequência na ordem de GHz, de modo que a potência consumida não ultrapasse os valores aceitáveis. Em adição a isto, um RDS deve ter a capacidade em processar uma enorme quantidade de informação recebida de maneira que ao mesmo tempo consiga enviá-la para um conversor digital-analógico a uma taxa significativa (Barros, 2007).

Vale mencionar que, segundo Barros (2007), os conversores de frequência possuem como fatores limitantes a taxa de amostragem, o range dinâmico, o *jitter* de abertura, e alguns ruídos e distorções dos próprios conversores, nos quais pode-se citar os ruídos térmico e de quantização, além das distorções não lineares. Tais fatores limitantes, podem se

intensificar de acordo com a taxa de amostragem utilizada nos conversores de frequência, lembrando que o aumento da taxa de amostragem está diretamente associado ao desempenho do rádio em altas frequências.

Em vista das limitações tecnológicas existentes, é possível constatar que é impraticável a existência de um RDS ideal, havendo a necessidade de introduzir-se um novo módulo para a realização uma amplificação do sinal, controlar o ganho, abaixar a frequência para uma frequência intermediária e capaz de realizar uma filtragem *anti-alias*, de modo a preparar o sinal para a conversão analógica-digital. Este módulo adicional, mencionado em Barros, (2007, apud Isomäki, 2004), inserido a fim de executar um pré-processamento pode ser chamado de *front-end* de radiofrequência (*front-end* RF).

Figura 9 - Ilustração de um transceptor real para um RDS.



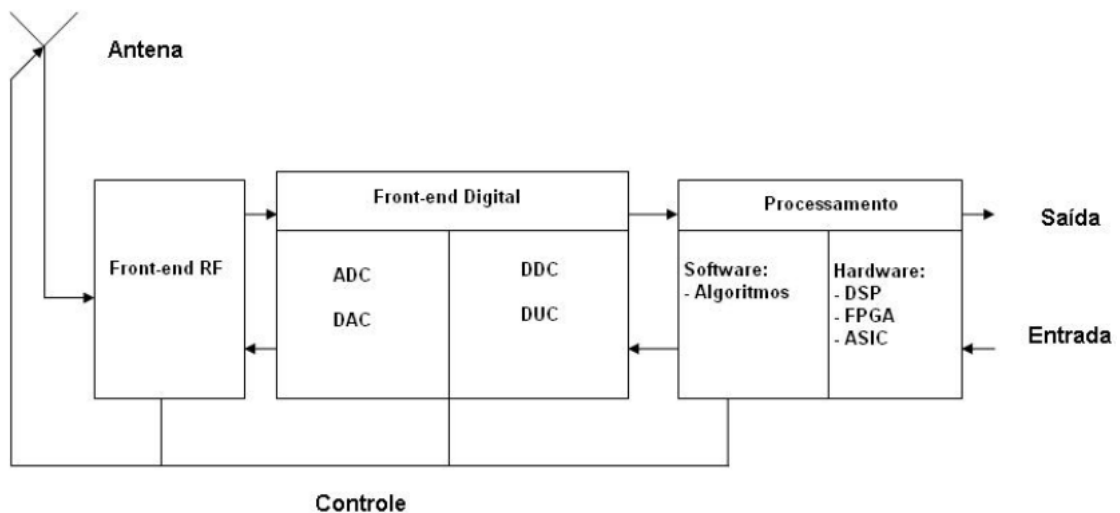
Fonte: Barros (2007, p. 8).

A Figura 9 apresenta um modelo de RDS que melhor se aproxima da realidade, no qual pode-se verificar o sinal analógico recebido em alta frequência passando pelo módulo de *front-end*, o qual é responsável por colocar o sinal analógico recebido em uma frequência intermediária, a fim de que o conversor analógico-digital possa digitalizar o sinal produzindo em sua saída um sinal em frequência intermediária, o qual estará pronto para ser processado pelo processador digital. Contudo, segundo Barros (2007, p. 7), antes que o sinal em frequência intermediária vá para o processador, o mesmo precisa atender o teorema da amostragem, uma vez que a taxa de amostragem ocorre em velocidade muito elevada, o que diante disto, justifica a inserção de mais dois novos dispositivos, os quais são responsáveis

por realizar o deslocamento da frequência intermediária digitalizada para a banda-base. Estes dois novos dispositivos são conhecidos por *digital down-converter* (DDC) e o *digital up-converter* (DUC). Logo, como apresentado em Barros (2007, p. 8) estes módulos são os responsáveis por transladar o sinal para a banda-base, além de fazerem uma re-amostragem do mesmo, de modo a diminuir a taxa de *throughput*, com o propósito de se exigir menos do processador, minimizando fatores limitantes na arquitetura de um RDS.

Uma outra abordagem simples pode ser ilustrada, conforme Figura 10, partindo-se do pressuposto que os módulos de ADC e DAC e DDC e DUC podem ser visualizados como um módulo único, o qual pode ser chamado de *front-end digital* (Barros, 2007).

Figura 10 – Arquitetura simplificada do transceptor real para um RDS.



Fonte: Barros (2007, p. 9).

### 3.6.5 Os conceitos por trás da Guerra Eletrônica e o uso do espectro eletromagnético por equipamentos civis

Atualmente, tem-se visto o uso cada vez maior do espectro de frequência, enquanto se observa o desenvolvimento de diferentes sistemas tecnológicos que utilizam tal espectro. Não obstante deste fato, observa-se também o uso de equipamentos por civis com tecnologia antes somente utilizada pelas Forças Armadas. Diante disto, desenvolvedores buscam não somente adequar as novas tecnologias que surgem no meio militar aos aparelhos civis como também reduzir o custo final destes aparelhos. Neste sentido, destaca-se a tecnologia até então abordada neste trabalho, o Rádio Definido por *Software*, o qual oferece

uma solução adequada diante do fato perceptível de que surgem cada vez mais novas tecnologias dependentes do uso do espectro eletromagnético.

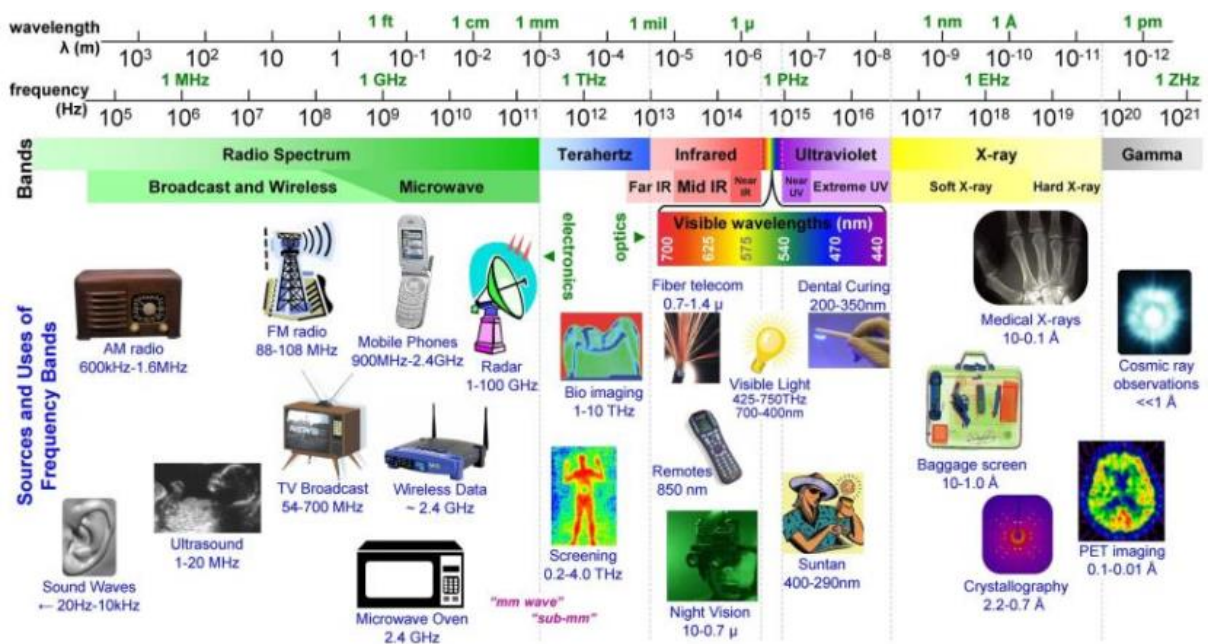
É evidente o fato de que o uso de equipamentos civis providos de novas funções originadas de pesquisa e desenvolvimento de âmbito militar trazem consigo novos desafios para as forças operativas que empregam aparelhagem utilizadas em um cenário de Guerra Eletrônica. Diante disto, vê-se a necessidade constante de inovações tecnológicas na área militar de modo a adquirir vantagem ou superioridade tecnológica mediante investimento em Ciência, Tecnologia e Inovação, tendo em vista o aumento da Capacidade de Guerra Eletrônica, a qual é definida como sendo o conjunto total de meios e recursos que possibilita ao Poder Naval empreender as Ações de Guerra Eletrônica em proveito das operações navais de guerra (Marinha do Brasil).

Diante do contexto apresentado, verifica-se a utilização não só do RDS em âmbito militar, como também em meio civil, podendo-se destacar também o emprego da tecnologia por trás do RDS em outras áreas daquela de telecomunicações, as quais serão brevemente apresentadas nesta seção, além de analisar as possibilidades dos sistemas de Guerra Eletrônica baseados no conceito de RDS.

Para o meio civil, o ambiente no qual o espectro eletromagnético se propaga é regulado por agências dedicadas a este fim, as quais têm o objetivo de coibir a interferência nociva entre diferentes operadoras, em que existe um interesse comercial comum nas comunicações entre todos os clientes enquanto para os militares, a proteção contra ataques eletrônicos e interferências depende inteiramente da robustez dos sistemas. Para os usuários civis, o importante é fazer uso dos serviços de comunicações prestados pelas empresas de telefonia sem que haja problemas com o sinal, uma vez que novos produtos eletrônicos estão cada vez mais utilizando o espectro eletromagnético. É neste contexto que entram a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), no Brasil e a *Federal Communication Commission* (FCC), nos Estados Unidos da América, as quais visam encontrar as melhores soluções para os serviços que utilizam o espectro eletromagnético. Assim sendo, estes órgãos supracitados desempenham um papel importante, porque o espectro eletromagnético encontra-se dividido em segmentos de faixas de frequências, em que cada segmento corresponde a uma categoria de serviço, como comunicação fixa, móvel, radiodifusão e radiolocalização, dentre outras (Menezes, 2007, p. 8). Com isto, os segmentos são divididos em faixas de tamanho fixo, separadas por intervalos de guarda, onde cada faixa está licenciada a uma determinada operadora autorizada a atuar em uma particular região, a qual pode-se ser denominada como usuária primária (UP) (Menezes, 2007, p. 8). Como exemplo,

pode-se citar os sistemas de comunicações móveis, em que as operadoras segmentam suas faixas em canais de modo a viabilizar o acesso de uma grande quantidade de usuários aos serviços oferecidos, utilizando-se para isto as técnicas *Frequency Time Multiple Access* (FDMA), *Time Division Multiple Access* (TDMA) e *Code Division Multiple Access* (CDMA). As concessões de licenças para cada operadora são fornecidas pela União por meio de agências de regulamentação como as já citadas, a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) e a *Federal Communication Commission* (FCC), as quais são responsáveis pela alocação de frequência, delimitando as faixas licenciadas e não licenciadas, além de terem o papel de fiscalizar a ocupação do espectro licenciado por usuários não licenciados, os quais podem ser chamados de usuários secundários (US) (Menezes, 2007, p. 8). A Figura 11 apresenta exemplos típicos de dispositivos usados em diferentes bandas de frequência.

Figura 11 – Apresentação do uso do espectro eletromagnético por diversos dispositivos.



Fonte: Horváth (2015, p. 194).

No contexto militar, o gerenciamento da frequência utilizada nos equipamentos é extremamente restrito a regras, uma vez que as comunicações militares não devem interferir nos sistemas público e privado de comunicações, até porque as emissões podem revelar informações importantes como por exemplo, o tipo de equipamento e posição do emissor. O gerenciamento de frequência é importante, uma vez que visa assegurar que todos os sistemas dependentes do espectro eletromagnético utilizem o mesmo de acordo com as leis, regras e regulamentações de seus países, além daquelas de âmbito internacionais, de modo que novos



projetos de equipamentos possam minimizar o potencial de interferência nos sinais de comunicações de outros equipamentos. Diante do exposto, vale frisar que o gerenciamento de frequências é o processo de regulamentação do uso das frequências de rádio, visando obter o uso eficiente da rede e os benefícios sociais desta. No caso dos Estados Unidos da América, a *National Telecommunications and Information Administration* (NTIA), ou em português, Administração Nacional de Telecomunicações e Informações (NTIA), gerencia o espectro eletromagnético para o Governo Federal e as regras podem ser encontradas no Manual da NTIA de Regulamentos e Procedimentos para o Gerenciamento Federal de Frequências de Rádio (*NTIA Manual of Regulations and Procedures for Federal Radio Frequency Management*).

Logo, existe um campo de atuação no qual os militares atuam fazendo uso do espectro eletromagnético, conhecido como Capacidade de Guerra Eletrônica (CGE), a qual é subdividida em duas partes (vide Figura 12): Atividades de Guerra Eletrônica (AGE) e Medidas de Guerra Eletrônica (MGE). A Guerra Eletrônica é definida como:

“conjunto de ações que visam a explorar as emissões do inimigo, em toda a faixa do espectro eletromagnético, com a finalidade de conhecer a sua ordem de batalha, intenções e capacidades e, também, utilizar medidas adequadas para negar, reduzir ou prevenir o uso efetivo dos seus sistemas, enquanto se protege e utiliza, com eficácia os seus próprios sistemas.” (Marinha do Brasil).

Figura 12 – Estrutura da Capacidade de Guerra Eletrônica.



Fonte: Marinha do Brasil (p. 4).

Diante do exposto da definição de Capacidade de Guerra Eletrônica, esta pode ainda ser vista como um conjunto de Ações de Guerra Eletrônica (AçGE), as quais são definidas como as:

“ações que envolvem o uso da energia eletromagnética para determinar, explorar, impedir, reduzir ou prevenir o uso efetivo pelo inimigo do espectro eletromagnético e para assegurar o uso deste espectro pelas próprias forças.” (Marinha do Brasil).

As AÇGE podem ser empregadas contra qualquer tipo de ameaça ou sistema de interesse desde que haja o respeito a legislação nacional em vigor, de forma a não haver sinistros em equipamentos públicos ou privados que comprometam a ordem pública (Marinha do Brasil).

### 3.6.6 O conceito do Rádio Definido por *Software* em diferentes sistemas

Atualmente, a tecnologia de RDS é empregada em diversos sistemas civis e militares, principalmente nos sistemas de rádio. Segundo Horváth (2015, p. 195), a melhor definição para Rádios Definidos por *Software* é aquela na qual algumas ou todas as funções da camada física de um rádio podem ser implementadas por *software*. No âmbito civil, várias empresas usam a tecnologia do RDS, uma vez que há muitos benefícios para os fabricantes de rádios e para os provedores de serviços de rádio. Os fabricantes de rádio podem introduzir novos produtos mais rapidamente no mercado, diminuindo-se os custos de desenvolvimento já que se utiliza o mesmo *software* da família de produtos de rádio (Horváth, 2015). O principal benefício para os provedores de serviços de rádio é que, usando a infraestrutura anterior, os mesmos podem adicionar novos recursos aos seus sistemas facilmente. A utilização da tecnologia do RDS permite que os usuários obtenham uma solução confiável para comunicação (Horváth, 2015).

Antigamente, os rádios eram tipicamente baseados em *hardware*, de forma que a atualização deles era realizada apenas por meio de mudança de peças, o que resultava em grandes custos de produção com assistência técnica de difícil realização. Deste modo, para se obter uma nova atualização, era necessário comprar um novo elemento, um novo rádio ou um novo sistema. A tecnologia por trás do Rádio Definido por *Software* simplifica o problema de atualização por troca de *hardware* e diminui os custos, o que significa que o elemento-chave que costumava ser o *hardware* no passado agora é o *software* (Horváth, 2015, p. 195).

Neste ponto do trabalho é válido mencionar também o Rádio Cognitivo (RC), o qual apresenta-se como a próxima etapa, isto é, a evolução do RDS. Ambos têm princípios básicos iguais, contudo o RC tem como parte adicional a capacidade de verificar o espectro

eletromagnético e - por exemplo, em caso de interferência causada por algum sistema - é capaz de alterar a frequência da portadora para outra não utilizada, a qual fora anteriormente observada como livre durante a verificação contínua do espectro de frequência (Horváth, 2015, p. 195, apud Blaine).

A principal vantagem do RDS quanto ao quesito processamento de sinal, está relacionada a substituição da extremidade frontal de RF analógica pelo processamento de sinal digital. Este procedimento tem como parte central a utilização de FPGA (*Field Programmable Gate Arrays*). O FPGA é um circuito digital em que os usuários programam diferentes tipos de tarefas. Os FPGAs são dispositivos semicondutores baseados em uma matriz de Blocos Lógicos Configuráveis (em inglês, *Configurable Logic Blocks*, CLBs) conectados via interconexões programáveis. Os FPGAs podem ser reprogramados para os requisitos desejados de aplicação ou funcionalidade, após a fabricação. Esse recurso distingue os FPGAs dos ASICs (*Application Specific Integrated Circuits*), que são fabricados sob encomenda para atividades de projetos específicos. Embora, os FPGAs de programação única (em inglês, *One-Time Programmable*, OTP) estejam disponíveis, os tipos dominantes são baseados em SRAM, que podem ser reprogramados à medida que o projeto evolui (Horváth, 2015, p. 195, apud Xilinx, 2015).

Em relação ao RDS, vale mencionar também as vantagens e desvantagens de tal tecnologia. Diante disto, como vantagens pode-se citar a melhor utilização do espectro de frequências ou a maneira simples de desenvolvimento. Por outro lado, uma grande desvantagem é a nova abordagem de ataque aos sistemas nos quais o RDS é implementado. Esses ataques podem ser categorizados de maneiras diferentes, o método de ataque mais conhecido é o bloqueio eletrônico (em inglês, *electronic jamming*), mas por causa das partes definidas por *software*, vários programas maliciosos também podem ser usados contra os RDS (Horváth, 2015).

Em geral, equipamentos eletrônicos civis comuns no mercado também podem ser usados para fins militares, entretanto algumas mudanças precisariam ser implementadas em tais equipamentos, uma vez que necessitariam atuar em ambientes operacionais diferentes. Os requisitos mais importantes para os equipamentos militares são a capacidade de operar em um amplo espectro de frequência e sob condições climáticas difíceis, além de ser possível utilizar-se de formas de ondas especiais e regras de segurança (mensagens criptografadas) (Horváth, 2015).

Alguns exemplos de sistemas de comunicação podem ser encontrados na fabricante alemã Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG, a qual é parceira das Forças Armadas

Alemãs no desenvolvimento de novos sistemas de comunicação baseados em Rádio Definido por *Software*. A empresa possui diferentes tipos de rádios para as comunicações entre as estações terrestres, marítimas e aéreas, com destaque para a comunicação ATC (*Air Traffic Control*, ou em português, Controle de Tráfego Aéreo). Entre os produtos, encontra-se aquele de abreviatura M3, que significa Multibanda, Multimodo e Multifuncional. Este sistema de rádio é capaz de fornecer serviços diferentes, não apenas serviços de rádio, mas também serviços de GPS e satélite (vide Figura 13) (Horváth, 2015, p. 196).

Figura 13 - Um membro da família M3TR: o rádio MR 3000.



Fonte: Horváth (2015, p. 196).

A família de rádio tático definido por *software* Falcon III é um sistema de rádio que cumpre os requisitos do programa militar americano *Joint Tactical Radio System* (JTRS). O Sistema Tático de Rádio Conjunto (em inglês, *Joint Tactical Radio System*, JTRS) é um programa do Departamento de Defesa com o propósito de desenvolver uma família de rádios táticos definidos por *software* que permitem que as redes enviem e recebam voz, dados e vídeo, a fim de possibilitar a comunicação tática no Teatro de Operações (vide Figura 14) (Horváth, 2015, p. 196).

Figura 14 - Sistema veicular AN/VRC-110.



Fonte: Horváth (2015, p. 196).

A empresa Harris Corporation é outro importante participante no campo da comunicação militar. Esta empresa foi premiada com o contrato MNVR (*Mid-Tier Networking Vehicle Radio*) do Exército dos Estados Unidos da América em 2013. A solução MNVR de dois canais é baseada na tecnologia de rede de banda larga Falcon III. Um dos mais novos tipos de rádio da Harris é o AN/PRC-152, que é baseado na mesma tecnologia Falcon III. Este sistema já está em uso por diferentes usuários, como por exemplo as filiais do Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América ou de diferentes países (Horváth, 2015, p. 196).

Diante do exposto até o momento, torna-se relevante citar de forma breve o atual papel dos radares tanto no âmbito civil como militar e como este está relacionado com a tecnologia dos RDS. Atualmente, diferentes tipos de radares estão em uso e, com base nas informações fornecidas por esses sistemas, procura-se obter maior segurança e eficiência na navegação. Na vida civil, os radares são utilizados para rastrear e controlar posições de aviões e navios, bem como para obtenção e acompanhamento de dados meteorológicos (dados relativos ao tempo, isto é, ao comportamento momentâneo da atmosfera) e climáticos (dados relativos ao clima, isto é, ao comportamento da atmosfera em um período longo ou permanente), como também são usados para obtenção de dados especiais, usando-se para isto os chamados radares especiais, como por exemplo, aqueles tão comuns no cotidiano como o radar de velocidade de carro, ou mesmo, os radares para localização de cardumes em alto mar (Horváth, 2015, p. 197).

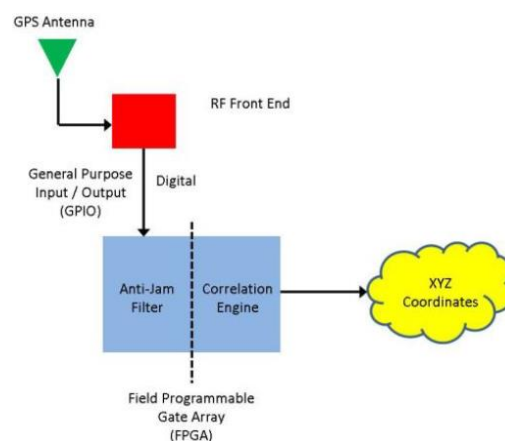
Já no cotidiano dos militares, os radares são empregados com outras finalidades, muito mais importantes, como por exemplo para detecção e localização de inimigos, uma vez que são capazes de atuar em ambientes escuros ou mesmo com neblinas por serem dispositivos ativos (dotados de transmissores), podendo detectar alvos pequenos, a curtas e longas distâncias de modo a serem capazes de fornecer a distância e a velocidade deles com grande precisão sob qualquer condição meteorológica (Horváth, 2015, p. 197). Na Marinha do Brasil, os principais tipos de radar, encontrados em navios de guerra, para diferentes finalidades são os radares de busca de superfície, busca aérea, busca combinada, determinador de altitude, direção de tiro, aproximação de aeronaves, de navegação e de alarme aéreo antecipado, o qual é utilizado em aeronaves AEW (*Airborne Early Warning*). Os radares de busca de superfície têm a finalidade de detectar alvos próximos a superfície e determina com precisão suas distâncias e marcações, sendo capaz de detectar não só embarcações como também aeronaves voando em baixa altitude, podendo também prover informações para a navegação. Os radares de busca aérea detectam alvos aéreos e determinam suas distâncias e marcações, a longa distância, por meio de uma busca de 360° em torno do navio, até altitudes elevadas, sendo, portanto, utilizado alta potência a fim de permitir a detecção de alvos pequenos a grandes distâncias, a fim de possibilitar alarme e garantir ao navio um tempo de reação adequado. Já os radares de busca combinada comportam-se como sendo tanto de busca de superfície como aérea. Os radares determinadores de altitude têm o papel de determinar com precisão a distância, a marcação e a altitude de alvos aéreos já detectados pelo radar de busca aérea. Enquanto isto, os radares de direção de tiro possuem como principal função a aquisição de alvos detectados e designados pelos radares de busca, e a determinação de marcações e distâncias dos referidos alvos, com elevada precisão, sendo utilizados para direcionar canhões ou mísseis, uma vez que os movimentos do alvo passam a ser automaticamente acompanhados em conjunto com o sistema de armas do navio para sua orientação. Já os radares de aproximação de aeronaves são empregados em navios-aeródromo com o propósito de orientar o pouso de aeronaves, principalmente em circunstâncias de má visibilidade, o que os proporcionam curto alcance e em um setor (como por exemplo, a popa do navio em lide). Os radares de navegação têm como principal papel a obtenção de linhas de posição para determinar a posição do navio, e detectar e medir distâncias e marcações em relação a outras embarcações, a fim de evitar colisões no mar. Por fim, os radares de alarme aéreo antecipado são utilizados para buscar alvos, determinando a altitude dos mesmos, tendo como função detectar aeronaves inimigas e possibilitar sua interceptação e destruição.

Antigamente, os sistemas radar tinham antenas dirigidas mecanicamente. Contudo, hoje em dia, pode-se encontrar mais e mais radares do tipo *phased-array*, onde o feixe de radar é dirigido eletronicamente. A tecnologia dos Rádios Definidos por *Software* tem sido utilizada para a implementação de melhorias de novos sistemas de radar, o que altera o acrônimo RDS para um novo significado de Radares Definidos por *Software* (Horváth, 2015, p. 197).

Outra aplicação da tecnologia dos RDS, encontra-se nos Sistemas Globais de Navegação por Satélite (em inglês, *Global Navigation Satellite Systems*, GNSS), também chamado de GPS (*Global Positioning System*, em tradução literal para o português, Sistema de Posicionamento Global), o qual tem como uma de suas atribuições transmitir sinais de rádio para usuários em todo o globo. Além de ser um sistema amplamente utilizado no meio civil, o GNSS é amplamente usado nas forças armadas também, uma vez que o mesmo pode ser encontrado em diferentes sistemas de armas, ser usado para rastrear carros, pistas e unidades. Em alguns países o GNSS está embutido em coletes e uniformes de militares, de modo que se torna mais fácil encontrá-los em caso de emergência (Horváth, 2015, p. 198).

É possível deparar-se com a tecnologia do RDS em diversos produtos que utilizam o GPS, isto porque estes produtos fazem uso dos mesmos receptores encontrados no RDS, fornecendo uma solução para interferências no sinal (Horváth, 2015, p. 199). Por exemplo, a NASA (sigla em inglês de *National Aeronautics and Space Administration* ou Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço) tinha um programa, em 2013, que fez uso da tecnologia dos RDS para melhorar uma plataforma de posicionamento GNSS, de maneira que esta consumisse baixa potência e possuísse tecnologia avançada *anti-jam* (sem interferência), que permite o uso de sinais GPS civis e militares (Horváth, 2015, p. 199).

Figure 15 - Diagrama de Integração entre o GNSS e o RDS.



Fonte: Horváth (2015, p. 199).

Conforme pode-se verificar na Figura 15, o objetivo do exemplo supracitado era assegurar uma disponibilidade de sinal de alto nível para alcançar a máxima precisão no posicionamento, utilizando sinais de satélite disponíveis (Horváth, 2015, p. 199).

Como mencionado anteriormente, o espectro de frequências encontra-se muito requisitado nos dias de hoje, pois tem-se cada vez mais equipamentos ocupando diferentes faixas de frequência, o que exige cada vez mais pesquisa e desenvolvimento a fim de se encontrar soluções alternativas que forneçam um nível de serviço cada vez mais alto para os usuários finais de modo a manter a prontidão em um nível mínimo de satisfatoriedade.

Diante disto, o conceito do RDS vem sendo usado em estações base, de forma a se conseguir que os recursos da estação base tornem-se altamente escalonáveis para atender às necessidades vigentes de serviços das operadoras, como já é o caso das estações base GSM (*Global System for Mobile Communications*) e UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) existentes, uma vez que o *hardware* suporta diferentes tecnologias de acesso por rádio, a estação base executa várias tecnologias de acesso por rádio em paralelo, dimensionando dinamicamente o desempenho atribuído às diferentes tecnologias de acesso por rádio para cima ou para baixo (Horváth, 2015, p. 200).

Do ponto de vista dos sistemas utilizados na Guerra Eletrônica, o controle rápido e preciso do espectro eletromagnético é um requisito muito importante e básico. Os conceitos da tecnologia do RDS e do RC já estão em uso em alguns países, visto que ser capaz de encontrar diferentes emissores é básico para a atividade de Inteligência de Sinais (SIGINT), a qual é um produto do Reconhecimento Eletrônico (RETRON), que se destaca por ser um conjunto de medidas com a finalidade estratégica e de apoio para o planejamento militar, de modo a obter e processar informações advindas de sinais eletromagnéticos do oponente, sendo o RETRON composto pelas Inteligências Eletrônica e de Comunicações (Marinha do Brasil). O SIGINT é responsável por fornecer a Ordem Eletrônica de Batalha (OEB), isto é, conjunto de dados e informações sobre os equipamentos eletrônicos de determinada força militar, antes de diferentes operações e é útil para aumentar a consciência situacional (Horváth, 2015, p. 200).

Com base no apresentado até o momento, verifica-se a importância do uso efetivo do espectro eletromagnético diante de um Teatro de Operações, principalmente no que concerne as comunicações operativas, de modo que se busca implementar nos equipamentos de comunicação diferentes formas de onda digitais resistentes a congestionamentos e com salto em frequência. Diante disto, dados transmitidos são codificados e, mesmo que se consiga interceptá-los, se precisaria de muito tempo e energia para decodificá-los,



observando-se que essa situação é válida apenas para exércitos equipados com tecnologia de ponta (Horváth, 2015, p. 200). Segundo Horváth (2015, p. 200), existem conflitos e missões de manutenção de paz, onde as contrapartes não possuíam equipamentos sofisticados e verificou-se a capacidade de interceptação, análise e geolocalização dos emissores, os quais tiveram seus sinais decodificados e suas mensagens traduzidas.

### 3.6.7 O Rádio Definido por *Software* e a Guerra Ciber-Eletrônica

A cibernética preocupa-se com sistemas de rede em todas as suas formas possíveis. Já, a Guerra Eletrônica é focada nos diferentes usos do espectro eletromagnético. Entretanto, sabendo-se que muitas redes fazem uso do espectro eletromagnético, como por exemplo, as redes wireless, há um grande espaço para a cooperação entre as áreas da Guerra Cibernética e da Guerra Eletrônica, apesar das diferenças significativas entre esses dois ramos. Os sistemas de RDS são baseados em interfaces entre o espectro eletromagnético e os computadores, o que oferece um potencial maior de riscos diante de uma Guerra Ciber-Eletrônica. Em vista do exposto, esta seção analisará brevemente o RDS em um cenário onde técnicas de ataque cibernético concorrem em paralelo com técnicas de ataque eletrônico, trazendo à vista um novo conceito ainda em estudo no ramo de pesquisa e desenvolvimento, o qual é conhecido como Guerra Ciber-Eletrônica (do inglês, *Cyber-Electronic Warfare*).

A Guerra Cibernética tem objetivos parecidos com a Guerra Eletrônica, mas a maneira de se atingir os resultados desejados é diferente no que tange a tecnologia, baseada na informação e nas redes, e não no espectro eletromagnético. Essa diferença significa dizer que existem mais portas de entrada para a Guerra Cibernética do que para a Guerra Eletrônica, uma vez que a variedade de atores, locais de origem, motivação, dentre outros fatores, é muito grande (Plessis, 2014).

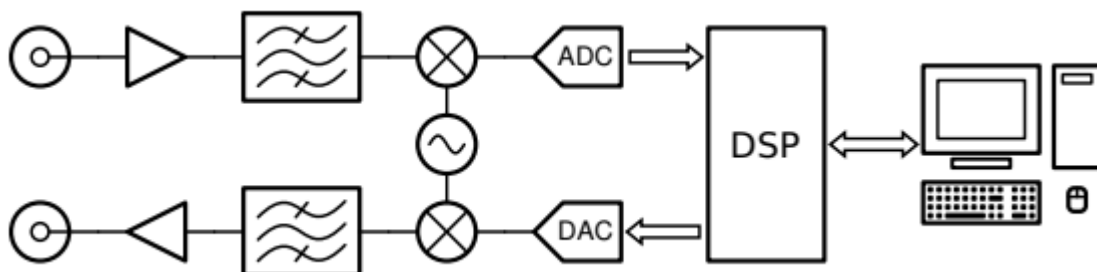
Diversos trabalhos têm explorado a relação entre cibernética e Guerra Eletrônica e tem sido observado uma sobreposição significativa entre esses dois reinos. Essa sobreposição surge devido ao amplo uso das tecnologias sem fio em redes. Esse uso do espectro eletromagnético em redes sem fio introduz algumas considerações da Guerra Eletrônica no reino da cibernética. Igualmente, o uso potencial das técnicas de Guerra Eletrônica e de tecnologias para alcança os resultados no reino da cibernética significa dizer que as considerações da cibernética são relevantes para a Guerra Eletrônica. A sobreposição entre a cibernética e a Guerra Eletrônica tem se tornado importante diante da evolução de

equipamentos militares na parte de *software* e comunicação. Diante disto, a tecnologia RDS apresenta-se como uma plataforma na qual abre oportunidades de exploração por meio de ferramentas e técnicas de cibernética e a Guerra Eletrônica.

Conforme verificado em seções anteriores, o principal conceito do RDS é que os algoritmos do processamento digital de sinais podem ser relativamente fáceis de serem modificados para acomodar novas funcionalidades. Em termos de sistemas de comunicações, isso significa que um novo protocolo (modulação, *handshaking*, criptografia, dentre outros) pode ser implementado no sistema enquanto a parte de *hardware* fica responsável por realizar o processamento, uma vez que os desenvolvedores e integradores do sistema RDS consigam êxito com a parte de *hardware* sendo capaz de realizar todo o processamento necessário (Plessis, 2014).

De acordo com a Figura 16 e retomando alguns conceitos vistos anteriormente, verifica-se que a entrada do sinal é primeiramente ampliada e filtrada antes do sinal ser mixado em baixas frequências, onde é amostrado para um conversor analógico-digital (ADC ou CAD, em português). Já, na saída, ocorre o oposto, vê-se que o sinal é convertido para a forma analógica por um conversor digital-analógico (DAC ou CDA, em português), mixado na frequência de operação, filtrado e ampliado. Dado que o sinal é digitalizado, o processamento de sinal pode ser realizado digitalmente usando um dispositivo com FPGA. O processamento digital do sinal é a principal razão para a versatilidade da tecnologia do RDS, assim como toda a modulação, demodulação, *handshaking*, codificação, decodificação e outros processamentos que são realizados digitalmente (Plessis, 2014).

Figura 16 – Arquitetura de um sistema de RDS.



Fonte: Plessis (2014).

Assim como mostra a Figura 16, o sinal digitalizado também pode ser transferido para um computador e ser processado e/ou armazenado. Embora isso não seja um requisito para um sistema de RDS, é útil porque permite que os sinais de RF sejam manipulados em um

computador. Essa abordagem também acelera o desenvolvimento de novos sistemas, conforme o processamento de sinais possa ser implementado em um computador, ao invés de, por exemplo, exigir o desenvolvimento de um firmware demorado, como o FPGA, apesar dessa abordagem ser inerentemente ineficiente, porque se baseia em um computador com poder de processamento muito maior do que o necessário, no entanto, é uma abordagem útil para implementar e testar rapidamente novos conceitos (Plessis, 2014).

Diante do apresentado até o momento, serão abordados a seguir algumas associações entre a cibernética e a Guerra Eletrônica no que diz respeito ao uso de sistemas de RDS, como por exemplo, *hacking* de longo alcance, ataques interdisciplinares, redes experimentais, avaliação de vulnerabilidade e pesquisa acadêmica.

Em relação ao conceito de *hacking* de longo alcance, um dos maiores desafios Guerra Eletrônica é interceptar sinais extremamente fracos de transmissores e receptores distantes e interferir na operação de ambos. A tecnologia do RDS pode ser explorada por profissionais do mundo cibernético para se obter acesso a redes distantes, removendo assim a necessidade de se aproximar de um alvo para que um ataque cibernético possa ser bem-sucedido (Plessis, 2014).

O programa *Joint Tactical Radio System* (JTRS), desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, é o responsável pelo desenvolvimento do padrão *Software Communications Architecture* (SCA) de construção de rádios militares definidos por *software* (Junior, 2012, p. 2). Segundo Junior (2012, p. 2), a função do SCA é aumentar a interoperabilidade de comunicação de sistemas rádio, reduzindo o tempo de implantação e os custos de desenvolvimento de aplicações rádio. Entretanto, uma aplicação se destaca no padrão SCA, denominada forma de onda, a qual tem como resultado a superação de distúrbios devido aos efeitos ambientais ou de ações inimigas, além do uso de formas de ondas com mecanismos de segurança de transmissão de dados, codificação de fonte (como por exemplo voz, imagem e compressão de vídeo), codificação de canal com mecanismos de retransmissão, detecção e correção de erros, técnicas de modulação e demodulação, dentre outras funcionalidades (Junior, 2012, p. 2 apud Proakis, 2001).

Os sistemas de RDS permitem que os aspectos de processamento de sinal de longo alcance sejam implementados de maneira simples. A versatilidade dos sistemas de RDS permitem a integração de amplificadores de baixo ruído, amplificadores de alta potência, arranjo de antenas, sistemas de radiogoniometria e outras tecnologias. O fato da saída do sistema ser acessível a computadores facilita muito o processo de *hacking*, permitindo que os profissionais cibernéticos possam obter vantagens em um cenário de guerra. Dessa maneira,

os equipamentos que utilizam a tecnologia dos RDS podem ser explorados para criar um novo método de ataque a sistemas vulneráveis, utilizando técnicas cibernéticas. Com isto é possível aprimorar a eficácia da cibernética e da Guerra Eletrônica (Plessis, 2014).

Já em relação aos ataques interdisciplinares, as vulnerabilidades dentro dessa região de sobreposição são provavelmente as mais difíceis de serem analisadas e avaliadas devido a necessidade de perícia de ambos os lados, da cibernética e da Guerra Eletrônica.

Os níveis mais altos do modelo OSI (acrônimo do inglês, *Open System Interconnection*) são claramente o domínio da cibernética, conforme é possível verificar no “ANEXO A” deste trabalho (Tanenbaum, 2003, p. 45), enquanto os níveis mais baixos são do domínio da Guerra Eletrônica. É entre esses extremos onde muitas possibilidades interessantes se devem à sobreposição entre cibernética e Guerra Eletrônica, pois essa região é caracterizada por sinais modulados e codificados (camada Física do modelo OSI, área da cibernética), incluindo aspectos significantes relativos à sua transmissão através do espectro de eletromagnético (área da Guerra Eletrônica). Os sistemas de RDS permitem operar nessa região de sobreposição, ainda mais quando a maior parte dos protocolos são implementados em FOSS (*Free and Open Source Software*), uma vez que as formas de onda são implementadas de forma simples por meio de modificações de sinais padronizados. Diante disto, surge a preocupação quanto ao acesso ao funcionamento interno de um sistema relevante, o qual poderá ser modificado em funcionamento. Assim sendo, é provável que novos ataques complexos possam ser desenvolvidos e que sejam extremamente bem-sucedidos, uma vez que as respostas dos adversários poderiam ser dificultadas pela incerteza, sobre qual domínio deve abordar a vulnerabilidade, haja visto a possibilidade de o sistema de comunicação baseado em RDS ter sido adquirido por empresa sede do país inimigo, a qual poderia ter implementado códigos maliciosos antes da venda do equipamento (Plessis, 2014).

Em relação as redes experimentais, vale a pena mencionar que um ataque conjunto entre as áreas da cibernéticos e da Guerra Eletrônica podem interromper o funcionamento de sistemas de cunho essenciais de um país, o que leva a necessidade de se avaliar o efeito de um determinado ataque contra importantes redes comerciais. Os sistemas de RDS oferecem o potencial de construir pequenas redes que são representativas daquelas de maior porte. Essa versatilidade da plataforma de RDS, em permitir a criação de modelos de redes experimentais, remove a possibilidade de interferência não intencional sobre os sistemas que não se pretende interferir. Ao permitir que tais experimentos sejam conduzidos, os sistemas de RDS permitirão que profissionais da área da cibernética e da Guerra Eletrônica

obtenham um maior entendimento das diferentes abordagens que possam ser utilizadas para atacar uma rede (Plessis, 2014).

A vulnerabilidade de redes é a maior preocupação dos profissionais da cibernética. Um dos maiores desafios na avaliação de vulnerabilidade de redes é realizar um mapeamento completo de todas as transmissões de rádio frequência (RF) em uma determinada rede em específico, isto porque a transmissão pode cobrir uma faixa de frequência extremamente ampla (como por exemplo as faixas de HF, VHF e UHF) e compreender uma grande variedade de protocolos de comunicação. E embora seja possível utilizar diferentes sistemas para avaliar cada uma das bandas de frequência e os protocolos de comunicação que uma rede pode utilizar, é improvável que essa abordagem seja utilizada na prática. Os sistemas de RDS oferecem a possibilidade de utilizar uma única peça de *hardware* acoplada a um computador para avaliar completamente as vulnerabilidades de uma rede. Nesse caso, torna-se possível interceptar e interferir nos sistemas de comunicação do inimigo, de modo a realizar um ataque a um enlace de comunicação específico. Portanto, ataques muito mais eficientes podem ser desenvolvidos, e o mais importante é que redes de link de dados e áudio, dentre outras, possam ser desenvolvidas com robustez (Plessis, 2014).

Por fim, apesar de existir uma comunidade acadêmica mundial com potencial e recurso tecnológico, é complicado haver o incentivo em pesquisas de cunho militar, pois algumas técnicas, conhecimentos, capacidades e informações sobre sistemas militares ficam restritos a divulgações, sem contar o custo financeiro frente a real importância que tais sistemas teriam para o meio acadêmico. Já, a tecnologia por trás dos sistemas de RDS permitem que certos conceitos ou técnicas estudados e desenvolvidos possam ser recriados a um custo relativamente mais baixo. O uso de sistemas com *software* livre permite que assuntos sigilosos sejam amplamente abordados, pois nenhuma informação sobre o sistema operacional é necessária para realizar pesquisas úteis. O baixo custo e a versatilidade dos sistemas de RDS também diminuem a barreira de entrada de uma perspectiva de custo. Além disso, o custo de sistemas de RDS é mais aceitável, porque os sistemas de RDS podem ser usados em diversas aplicações (Plessis, 2014).

## 4. CONCLUSÃO

Em vista do estudo proposto neste trabalho, foram verificados os principais problemas encontrados nas comunicações táticas, tanto em caráter natural quanto a nível tecnológico, o que foi motivo para abordagem dos Rádios Definidos por *Software*, apresentando as principais características, módulos e princípio de funcionamento do mesmo, além das vantagens desta tecnologia, destacando a importância da pesquisa e desenvolvimento desta tecnologia frente ao atual cenário das Forças Armadas, em que equipamentos de baixa sofisticação são importados de empresas estrangeiras por um alto custo sem que estas forneçam detalhes de funcionamento dos equipamentos militares adquiridos.

Este trabalho abordou também os elementos básicos que compõem um típico sistema de comunicação e seu funcionamento, as características dos sinais analógicos e digitais, as faixas de frequência em que são realizadas as comunicações táticas, o papel da ionosfera nas comunicações militares à grandes distâncias, os sistemas de comunicações em VHF e UHF, além de apresentar os motivos que tornam as comunicações navais complicadas.

Portanto, verificou-se que os atuais sistemas de comunicações militares precisam estar em constante evolução por meio de investimentos em pesquisa e desenvolvimento, exemplo disto é o projeto RDS-Defesa do CTEEx, mencionado ao longo do trabalho. O investimento em tecnologia aplicada em equipamentos de comunicações possibilita que cada vez mais os módulos de *hardware* possam ser substituídos ou emulados por *software*, o que promove grande redução na estrutura dos equipamentos, além de viabilizar que um equipamento opere com funções, características, capacidades e desempenho semelhantes à vários outros dentro de um mesmo recinto, abrindo espaço para que partes importantes de *hardware* possam ser desenvolvidas ou que tenham suas dimensões físicas ampliadas para melhor atender as comunicações de longa distância.

### 4.1 Considerações Finais

Foi verificado que os sistemas de comunicações em VHF e UHF são mais simples do que os baseados em HF, pois a trajetória do sinal de comunicação não apresenta tanta dependência com as variações atmosféricas ao longo do tempo, o que caracteriza perdas insignificantes nos sinais nestas faixas de frequência. Soma-se a isto, as características dos

sistemas de comunicações militares, os quais operam em canais discretos, empregam antenas com feixe largo e lóbulos secundários reduzidos, transmitem sinais modulados em forma de onda contínua e empregam transmissões com saltos em frequência sobre uma largura de banda ampla. Diante disto, torna-se evidente a vantagem de se utilizar os RDS como uma forma de obter vantagens sobre o sistema MAGE-Comunicação do inimigo, uma vez que se poderia configurar o *software* para se adaptar a diferentes cenários e utilizar de forma eficiente tanto o salto em frequência como outras técnicas, a fim de impedir ou dificultar que o MAGE inimigo localize a fonte de comunicação, de modo que quando o MAGE tentar localizar a transmissão, ela se deslocará para uma frequência aleatória qualquer, dificultando a formação de pulsos similares.

Ao longo do trabalho, foi verificado que a tecnologia dos RDS são empregadas em diversas outras áreas tecnológicas, o que levanta a possibilidade de se adequar os novos sistemas MAGE com tal tecnologia empregada nos RDS, de modo que o MAGE possa analisar uma faixa dinâmica em amplitude bastante extensa (para detectar sinais de baixa e grande amplitude) e seja capaz de operar em ambientes densos com sobreposição de sinais, uma vez que os sinais de comunicações são usualmente longos. Isto permitiria que os sistemas de comunicações do inimigo, que empregam salto em frequência, fossem localizados e impedidos de se comunicar.

## **4.2 Sugestões para Futuros Trabalhos**

Atualmente, existe uma demanda cada vez maior por um recurso natural e mal distribuído, que é o espectro de eletromagnético, uma vez que bandas sob licença são pouco utilizadas enquanto aquelas não licenciadas estão saturadas de usuários. Partindo-se desta questão, surgiu o conceito dos Rádios Cognitivos por Joseph Mitola III, os quais têm como objetivo um melhor aproveitamento do espectro eletromagnético por meio do acesso oportunista ao meio (Vian, 2010).

Diante da limitação natural do espectro eletromagnético e de sua ineficiente utilização, com bandas com excesso de tráfego de usuários enquanto outras quase não se encontram utilizadas, os rádios cognitivos surgem com a proposta de tecnologia inteligente por meio de adaptação autônoma, onde parâmetros de *software* (cognição por *software*) ou variações físicas de transmissão de ondas (como por exemplo, frequência da portadora, potência de transmissão, estratégia de codificação, dentre outros) se contrabalanceiam na

busca por se estabelecer comunicação em meio as diversas dificuldades, sem que haja interferência ou perda de qualidade na comunicação entre usuários. Desta forma, estes rádios conseguem alterar seus parâmetros de forma a identificar no espectro de frequências as faixas ou buracos pouco ou não utilizados, viabilizando transmissões, sem atrapalhar o sinal de instituições ou empresas licenciadas para operar naquelas faixas com lacunas. Soma-se a isto, a capacidade que estes rádios possuem de utilizar estas faixas ociosas para aumentar a taxa de dados transmitidos para um determinado ponto receptor (Vian, 2010).

Se com a chegada dos Rádios Cognitivos procura-se melhorar o desempenho e otimizar a rede de comunicações como um todo, tendo em vista um melhor aproveitamento do espectro eletromagnético, por outro lado surgem as questões legais por trás da utilização do espectro eletromagnético, uma vez que existem normas e órgãos fiscalizadores regularizando o uso do espectro de frequências para as comunicações (Vian, 2010).

Em vista da ampla dimensão do território brasileiro e de sua extensa região litorânea, onde a Marinha do Brasil é responsável por patrulhar e fiscalizar grande parte da região denominada Amazônia Azul, além de prover assistência médico hospitalar para as populações ribeirinhas e de difícil acesso ao interior do país, surge neste cenário a necessidade de se utilizar o espectro eletromagnético como o único meio para se comunicar, isto porque ondas de rádio são fáceis de serem criadas e alcançam grandes distâncias, o que remete a grande quantidade de comunicação por rádio difusão no país, uma vez que o custo das comunicações satelitais é elevado e existe uma grande dificuldade em se estabelecer uma infraestrutura cabeada em determinadas regiões de mata densa. Salienta-se ainda que em meio a um cenário de Guerra Eletrônica, em que diversas técnicas são utilizadas para se localizar o inimigo, enquanto se mantém a Condição de Silêncio Eletrônico (CONSET), visando se esconder do inimigo, os Rádios Cognitivos surgem como uma possibilidade de se ampliar as capacidades de operação dos meios, trazendo consigo vantagens táticas, uma vez que se é possível implementar técnicas de inteligência que possam impedir, ou mesmo dificultar, a localização pelo inimigo, além de prover respostas rápidas sobre os mesmos, quando assim rapidamente localizados. Não obstante disto, o emprego de tal tecnologia em embarcações de patrulhamento e assistência às populações ribeirinhas possibilita que sejam gastos menos recursos com questões burocráticas relacionadas ao uso do espectro eletromagnético, já que este é amparado por normas e órgãos fiscalizadores, os quais têm o papel de regularizar o uso do espectro de frequências para as comunicações.



## REFERÊNCIAS

BARROS, L. G. de; SILVA, F. M. da. Revista Digital Online. **Antenas Inteligentes Baseadas em COTS**, [S.l.], v. 6, n. 6, p. 1-6, abr. 2006. Disponível em: <<http://www.revdigonline.com/uploads/docs/antenas-inteligentes-baseadas-em-cots.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

FILHO, H. V. P.; GALDINO, J. F.; MOURA, D. F. C. 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**, Rio de Janeiro, v. 34, n. 1, p. 6-19, 2017.

HORVÁTH, J. *Software Defined Radio Concept in Different Systems*. In: Conferência de Comunicação Militar Húngara, 2015. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <[http://hadmernok.hu/153\\_15\\_horvathj.pdf](http://hadmernok.hu/153_15_horvathj.pdf)>. Acesso em: 04.mai.2018.

JUNIOR, N. M. de P. et al. Simpósio Brasileiro de Telecomunicações. **Introdução ao Desenvolvimento de Rádios Definidos por *Software* para Aplicações de Defesa**, Brasília, DF, n. 12, p. 1-5, set. 2012. Disponível em: <[http://sbrt.org.br/sbrt2012/publicacoes/99644\\_1.pdf](http://sbrt.org.br/sbrt2012/publicacoes/99644_1.pdf)>. Acesso em: 20 jun. 2018.

LATHI, B.P.; DING, Z. **Sistemas de Comunicações Analógicos e Digitais Modernos**. 4.ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2012.

MB: MARINHA DO BRASIL. **Introdução à Guerra Eletrônica**. Rio de Janeiro, RJ, [2007?].

MENEZES, Alam Silva. **Avaliação de Desempenho de Rádios Cognitivos e Proposta de Estrutura de Equalização Temporal em Sistemas OFDM**. 2007. 136 p. Dissertação (Mestrado) (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, [S.l.], 2007. Disponível em: <[http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/259367/1/Menezes\\_AlamSilva\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/259367/1/Menezes_AlamSilva_M.pdf)>. Acesso em: 31 maio 2018.

PANTOJA, F.R.; DARGAM, D. **Apostila de Guerra Eletrônica de Comunicações**. Rio de Janeiro, RJ, 2006.

PEREIRA, F. G. S. **Antenas Inteligentes: Um Estudo sobre Conceitos e Propostas de Aplicações**. 2003. 104 p. Dissertação de Mestrado (Mestre em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, 2003. Disponível em: <<http://www.ifba.edu.br/professores/fsimoes/Dissertacao.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2018.

PEREIRA, F. E. S.; GOMES, G. A. F.; DIAS, M. H. C. Considerações sobre a Escolha de Antenas para Rádio Definido por Software Tático Terrestre. **XXXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICAÇÕES**, SANTARÉM, PA, p. 649-653, set. 2016.

PLESSIS, W. P. du. *Software-Defined Radio (SDR) as a Mechanism for Exploring Cyber-Electronic Warfare (EW) Collaboration*. In: Information Security for South Africa (ISSA), Johannesburg, 2014. **Anais**. Pretoria: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2014.

FRANK, S. The transmission paths for radio waves: surface waves, space waves and sky waves. Disponível em: <<http://www.frankswebpace.org.uk/ScienceAndMaths/physics/physicsGCE/radioComms.htm>>. Acesso em: 22 maio 2017.

SILVA, W. S. et al. Introdução a Rádios Definidos por *Software* com aplicações em GNU Radio. In: Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, 2015, Vitória, Espírito Santo. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <<http://sbrc2015.ufes.br/wp-content/uploads/Ch5.pdf>>. Acesso em: 23.abr.2018.

TANENBAUM, Andrew S. **Redes de Computadores**. 4. ed. [S.l.]: Campus, 2003. 632 p.

VIAN, R. **Análise de Métodos de Cognição em Redes de Transmissão sem Fio Baseadas em Rádios Cognitivos**. 2010. 58 f. Tese (Bacharel em Engenharia de Telecomunicações) – Centro Universitário La Salle – Unilasalle, Canoas, Rio Grande do Sul.

## ANEXOS

### ANEXO A – Modelo de Referência OSI

#### 1.4.1 O modelo de referência OSI

O modelo OSI (exceto o meio físico) é mostrado na Figura 1.20. Esse modelo se baseia em uma proposta desenvolvida pela ISO (International Standards Organization) como um primeiro passo em direção à padronização internacional dos protocolos empregados nas diversas camadas (Day e Zimmermann, 1983). Ele foi revisto em 1995 (Day, 1995). O modelo é chamado Modelo de Referência ISO OSI (Open Systems Interconnection), pois ele trata da interconexão de sistemas abertos — ou seja, sistemas que estão abertos à comunicação com outros sistemas. Para abreviar, vamos denominá-lo simplesmente modelo OSI.

O modelo OSI tem sete camadas. Veja a seguir um resumo dos princípios aplicados para se chegar às sete camadas.

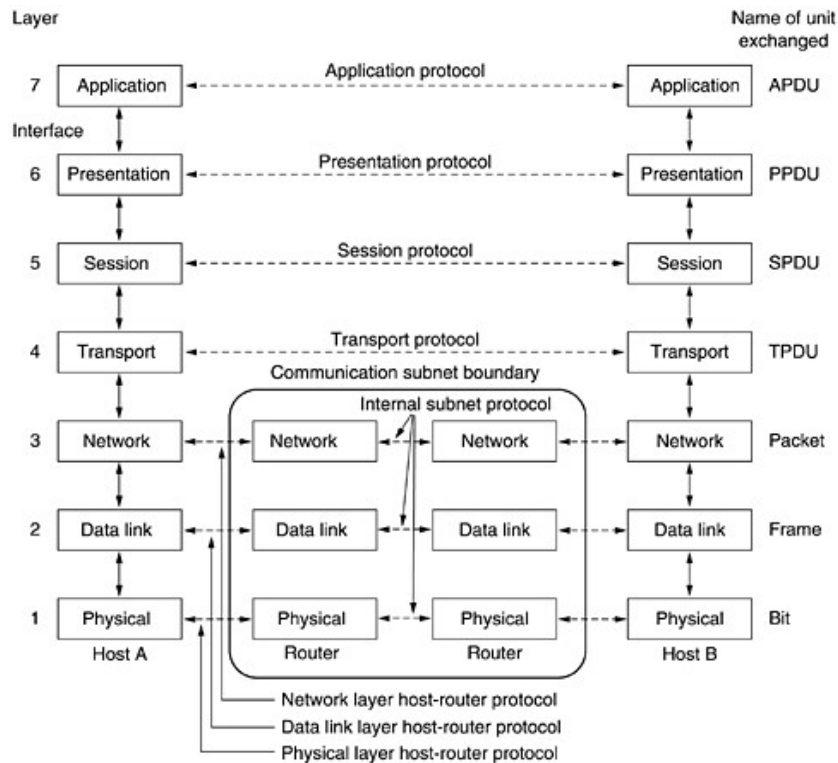
1. Uma camada deve ser criada onde houver necessidade de outro grau de abstração.
2. Cada camada deve executar uma função bem definida.
3. A função de cada camada deve ser escolhida tendo em vista a definição de protocolos padronizados internacionalmente.
4. Os limites de camadas devem ser escolhidos para minimizar o fluxo de informações pelas interfaces.
5. O número de camadas deve ser grande o bastante para que funções distintas não precisem ser desnecessariamente colocadas na mesma camada e pequeno o suficiente para que a arquitetura não se torne difícil de controlar.

Em seguida, discutiremos cada uma das camadas do modelo, começando pela camada inferior. Observe que o modelo OSI propriamente dito não é uma arquitetura de rede, pois não especifica os serviços e os protocolos exatos que devem ser usados em cada camada. Ele apenas informa o que cada camada deve fazer. No entanto, a ISO também produziu padrões para todas as camadas, embora esses padrões não façam parte do próprio modelo de referência. Cada um foi publicado como um padrão internacional distinto.

## A camada física

A camada física trata da transmissão de bits brutos por um canal de comunicação. O projeto da rede deve garantir que, quando um lado enviar um bit 1, o outro lado o receberá como um bit 1, não como um bit 0. Nesse caso, as questões mais comuns são a voltagem a ser usada para representar um bit 1 e um bit 0, a quantidade de nanosegundos que um bit deve durar, o fato de a transmissão poder ser ou não realizada nos dois sentidos simultaneamente, a forma como a conexão inicial será estabelecida e de que maneira ela será encerrada quando ambos os lados tiverem terminado, e ainda quantos pinos o conector de rede terá e qual será a finalidade de cada pino. Nessa situação, as questões de projeto lidam em grande parte com interfaces mecânicas, elétricas e de sincronização, e com o meio físico de transmissão que se situa abaixo da camada física.

Figura 1.20. O modelo de referência OSI



## A camada de enlace de dados

A principal tarefa da camada de enlace de dados é transformar um canal de transmissão bruta em uma linha que pareça livre de erros de transmissão não detectados para a camada de rede. Para executar essa tarefa, a camada de enlace de dados faz com que o

transmissor divide os dados de entrada em quadros de dados (que, em geral, têm algumas centenas ou alguns milhares de bytes), e transmite os quadros sequencialmente. Se o serviço for confiável, o receptor confirmará a recepção correta de cada quadro, enviando de volta um quadro de confirmação.

Outra questão que surge na camada de enlace de dados (e na maioria das camadas mais altas) é como impedir que um transmissor rápido envie uma quantidade excessiva de dados a um receptor lento. Com frequência, é necessário algum mecanismo que regule o tráfego para informar ao transmissor quanto espaço o buffer do receptor tem no momento. Muitas vezes, esse controle de fluxo e o tratamento de erros estão integrados.

As redes de difusão têm uma questão adicional a ser resolvida na camada de enlace de dados: como controlar o acesso ao canal compartilhado. Uma subcamada especial da camada de enlace de dados, a subcamada de controle de acesso ao meio, cuida desse problema.

### **A camada de rede**

A camada de rede controla a operação da sub-rede. Uma questão fundamental de projeto é determinar a maneira como os pacotes são roteados da origem até o destino. As rotas podem se basear em tabelas estáticas, "amarradas" à rede e raramente alteradas. Elas também podem ser determinadas no início de cada conversação; por exemplo, uma sessão de terminal (como um logon em uma máquina remota). Por fim, elas podem ser altamente dinâmicas, sendo determinadas para cada pacote, com o objetivo de refletir a carga atual da rede.

Se houver muitos pacotes na sub-rede ao mesmo tempo, eles dividirão o mesmo caminho, provocando gargalos. O controle desse congestionamento também pertence à camada de rede. De modo mais geral, a qual idade do serviço fornecido (retardo, tempo em trânsito, instabilidade etc.) também é uma questão da camada de rede. Quando um pacote tem de viajar de uma rede para outra até chegar a seu destino, podem surgir muitos problemas. O endereçamento utilizado pela segunda rede pode ser diferente do que é empregado pela primeira rede. Talvez a segunda rede não aceite o pacote devido a seu tamanho excessivo. Os protocolos podem ser diferentes e assim por diante. Cabe à camada de rede superar todos esses problemas, a fim de permitir que redes heterog neas sejam interconectadas.

Nas redes de difusão, o problema de roteamento é simples, e assim a camada de rede com frequência   estreita, ou mesmo inexistente.

### **A camada de transporte**

A função básica da camada de transporte é aceitar dados da camada acima dela, dividi-los em unidades menores caso necessário, repassar essas unidades à camada de rede e assegurar que todos os fragmentos chegarão corretamente à outra extremidade. Além do mais, tudo isso deve ser feito com eficiência e de forma que as camadas superiores fiquem isoladas das inevitáveis mudanças na tecnologia de hardware.

A camada de transporte também determina que tipo de serviço deve ser fornecido à camada de sessão e, em última análise, aos usuários da rede. O tipo de conexão de transporte mais popular é um canal ponto a ponto livre de erros que entrega mensagens ou bytes na ordem em que eles foram enviados. No entanto, outros tipos possíveis de serviço de transporte são as mensagens isoladas sem nenhuma garantia relativa à ordem de entrega e à difusão de mensagens para muitos destinos. O tipo de serviço é determinado quando a conexão é estabelecida. (Observe que é impossível conseguir um canal livre de erros; o que as pessoas realmente entendem por essa expressão é que a taxa de erros é baixa o suficiente para ser ignorada na prática.) 71A camada de transporte é uma verdadeira camada fim a fim, que liga a origem ao destino. Em outras palavras, um programa da máquina de origem mantém uma conversa com um programa semelhante instalado na máquina de destino, utilizando os cabeçalhos de mensagens e as mensagens de controle. Nas camadas inferiores, os protocolos são trocados entre cada uma das máquinas e seus vizinhos imediatos, e não entre as máquinas de origem e de destino, que podem estar separadas por muitos roteadores. A diferença entre as camadas de 1 a 3, que são encadeadas, e as camadas de 4 a 7, que são camadas fim a fim, é ilustrada na Figura 1.20.

### **A camada de sessão**

A camada de sessão permite que os usuários de diferentes máquinas estabeleçam sessões entre eles. Uma sessão oferece diversos serviços, inclusive o controle de diálogo (mantendo o controle de quem deve transmitir em cada momento), o gerenciamento de símbolos (impedindo que duas partes tentem executar a mesma operação crítica ao mesmo tempo) e a sincronização (realizando a verificação periódica de transmissões longas para permitir que elas continuem a partir do ponto em que estavam ao ocorrer uma falha).

### **A camada de apresentação**

Diferente das camadas mais baixas, que se preocupam principalmente com a movimentação de bits, a camada de apresentação está relacionada à sintaxe e à semântica das informações transmitidas. Para tornar possível a comunicação entre computadores com diferentes representações de dados, as estruturas de dados a serem intercambiadas podem ser definidas de maneira abstrata, juntamente com uma codificação padrão que será usada durante a conexão. A camada de apresentação gerencia essas estruturas de dados abstratas e permite a definição e o intercâmbio de estruturas de dados de nível mais alto (por exemplo, registros bancários).

### **A camada de aplicação**

A camada de aplicação contém uma série de protocolos comumente necessários para os usuários. Um protocolo de aplicação amplamente utilizado é o HTTP (HyperText Transfer Protocol), que constitui a base para a World Wide Web. Quando um navegador deseja uma página da Web, ele envia o nome da página desejada ao servidor, utilizando o HTTP. Então, o servidor transmite a página de volta. Outros protocolos de aplicação são usados para transferências de arquivos, correio eletrônico e transmissão de notícias pela rede.