



ESCOLA DE COMANDO E ESTADO-MAIOR DA AERONÁUTICA  
COORDENADORIA ACADÊMICA  
CURSO DE COMANDO E ESTADO-MAIOR

**MARCIA REGINA LAFFRATTA CARDOSO, Maj Av**

**Tramitação de Dados RADAR na Faixa de Alta Frequência (HF) para Ações  
de Defesa Antiaérea**

Rio de Janeiro - RJ

2024

ESCOLA DE COMANDO E ESTADO-MAIOR DA AERONÁUTICA  
COORDENADORIA ACADÊMICA  
CURSO DE COMANDO E ESTADO-MAIOR

**MARCIA REGINA LAFFRATTA CARDOSO, MAJ AV**

**Tramitação de Dados RADAR na Faixa de Alta Frequência (HF) para  
Ações de Defesa Antiaérea**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à  
Estado-Maior da Aeronáutica como requisito  
parcial para aprovação no Curso de Comando  
e Estado-Maior.

Linha de Pesquisa: Poder Aeroespacial  
Orientadora: Silvia Veiga Brito, Cel Int

Rio de Janeiro - RJ

2024

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo geral analisar a influência da utilização de frequências HF na tramitação de dados RADAR para um Grupo de Defesa Antiaérea deslocado. Considerando um cenário de contingência, com o uso de satélite limitado, é de grande importância um meio secundário de trâmite de dados RADAR para a atuação oportuna, caso seja identificada uma aeronave hostil. A metodologia foi baseada em uma pesquisa bibliográfica e documental, de maneira a realizar uma abordagem qualitativa, tendo como cenário o Exercício Escudo-Tínia 2023. Como resultado foi possível analisar, por meio de uma matriz SWOT, os fatores negativos e os fatores positivos na utilização de HF para trâmite de dados RADAR. Por um lado, percebeu-se tanto a necessidade de melhoria de equipamentos, quanto a instabilidade e a reduzida capacidade de tráfego de dados da camada ionosférica. Por outro lado, foram identificados como fatores de força: treinamento básico para o operador, mobilidade para pontos remotos, baixo custo para utilização do HF e domínio do sistema Átrio pelo COMAER. Além disso, foi verificado o longo alcance, sem a necessidade de repetidor, bem como uma oportunidade para a interoperabilidade entre as Forças Singulares. Dessa forma, concluiu-se que a transmissão foi efetiva e alcançou o resultado esperado de manutenção da consciência situacional da unidade de defesa antiaérea desdobradas no terreno, bem como representou um meio de tramitação eficaz em situação de falha ou contingência da comunicação satelital.

**Palavras-chave:** Ionosfera; alta frequência; dados RADAR; defesa antiaérea.

## **ABSTRACT**

*The main objective of this work was to analyze the HF frequencies use's influence in the processing of RADAR data for a deployed Anti-Aircraft Defense Group. Considering a contingency scenario, with limited satellite use, a secondary means of data processing is of great importance for timely action if a hostile aircraft is identified. The methodology was based on bibliographical and documentary research, in order to carry out a qualitative approach, taking as a backdrop the Escudo-Tínia 2023 Exercise. As a result, it was possible to analyze, through a SWOT analysis, the negative factors and positive factors in the use of HF for RADAR data processing. On one hand, both the need to improve equipment and the instability and reduced data traffic capacity of the ionospheric layer were perceived. On the other hand, the following were identified as strength factors: basic training for the operator, mobility to remote points, low cost for using the HF and the COMAER domain of Atrium system. Furthermore, the long range was verified, without the need for a repeater, as well as an opportunity for interoperability among the Armed Forces. Therefore, it was concluded that the transmission was effective and achieved the expected result of maintaining situational awareness of anti-aircraft defense unit deployed in the field, as well as representing an effective means of processing in situations of satellite communication failure or contingency.*

**Key words:** *Ionosphere; high frequency; RADAR data; anti-aircraft defense.*

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

**1º/1º GCC** – Primeiro Esquadrão do Primeiro Grupo de Comunicações e Controle  
**ALE** – *Auto Link Establishing*  
**ASAPS** – *Advanced Stand Alone Prediction System*  
**ASTERIX** – *All-purpose Structured Eurocontrol Surveillance Information Exchange*  
**CF** – *Critical Frequency*  
**COMAE** – Comando de Operações Aeroespaciais  
**DACOM** – Defesa Aérea e Circulação Operacional Militar  
**FAB** – Força Aérea Brasileira  
**FOT** – *Frequency of Optimum Transmission*  
**GDAAE** – Grupo de Defesa Antiaérea  
**HF** – *High Frequency*  
**ITU** – *International Telecommunication Union*  
**LUF** – *Lowest Usable Frequency*  
**MUF** – *Maximum Useable Frequency*  
**RADAR** - *Radio Detection And Ranging*  
**SHF** – *Super High Frequency*  
**SWOT** – *Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats*  
**UHF** – *Ultra High Frequency*

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>9</b>
2.1	A CAMADA IONOSFÉRICA.....	10
2.2	FREQUÊNCIA HF.....	11
2.3	DADOS RADAR.....	14
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO DOS DADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	<b>18</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>24</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>28</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo, as telecomunicações se desenvolveram de maneira a possibilitar a troca de um volume maior de informações e com mais rapidez. No começo do século XX, foi iniciada a utilização da comunicação sem fio por meio de ondas curtas, em alta frequência, também conhecida como HF, sigla em inglês para *High Frequency* (Azevedo, 2017). A utilização de frequências HF permitiu alcançar longas distâncias com necessidade de pouca infraestrutura, tornando-se um recurso de baixo custo e seguro para as comunicações.

Com o surgimento do satélite no final da década de 60, foi possível observar uma diminuição no uso do HF, devido à grande capacidade satelital em tráfego de dados, tanto de volume como de velocidade, apresentando vantagens na sua utilização para as comunicações. Entretanto, o uso de satélites possui elevados custos com a produção e lançamento, bem como são suscetíveis a ataques cibernéticos, os quais podem tornar o sistema indisponível para uso (Sequeira *et al.*, 2018).

Aliado a isso, o surgimento de novas tecnologias para utilização de transmissões por HF permitiu que um operador com pouco treinamento conseguisse executar uma função que anteriormente demandava conhecimento altamente especializado. Dessa forma, a comunicação por HF foi colocada novamente como área de interesse, principalmente em cenários de contingência (Azevedo, 2017).

Considerando as dimensões do território brasileiro, torna-se evidente a importância das comunicações em todas as atividades, sejam na área civil ou militar, permitindo que a informação esteja disponível mesmo nas áreas mais distantes. De acordo com a Política Nacional de Defesa, o Estado Brasileiro tem como pressuposto “manter as Forças Armadas adequadamente motivadas, preparadas e equipadas, a fim de serem capazes de cumprir suas missões constitucionais, e de prover a adequada capacidade de dissuasão” (Brasil, 2020, p. 20).

No âmbito das Forças Armadas, a necessidade de constante atualização do cenário operacional, seja em treinamento, conflito ou em apoio às instituições governamentais, coloca ainda mais em evidência a importância da comunicação rápida e precisa entre os níveis político, estratégico, operacional e tático.

Para cumprir sua missão de “manter a soberania do espaço aéreo e integrar o território nacional, com vistas à defesa da Pátria” (Brasil, 2018, p. 20), a Força Aérea

Brasileira (FAB) realiza diversos exercícios operacionais, de maneira a treinar as capacidades na manutenção da soberania, integridade territorial e defesa patrimonial.

Dentre os exercícios operacionais realizados para o preparo da Força Aérea Brasileira, está o Exercício Escudo-Tínia, com foco no adestramento em operação multidomínio. De acordo com Marques *et al.* (2022), a batalha multidomínio é aquela em que as Forças Conjuntas e aliados realizam campanhas utilizando os meios terrestre, marítimo, aéreo, espacial e cibernético.

Nesse exercício operacional são treinadas diversas Ações de Força Aérea, previstas na Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira (DCA 1-1, vol. 2, 2020), como: Alerta em Voo, Assalto Aeroterrestre, Ataque, Reabastecimento em Voo, Reconhecimento Aeroespacial, Ressuprimento Aéreo, Defesa Antiaérea, Varredura, Coleta e Defesa Cibernética. Neste contexto, são simulados ataques cibernéticos às unidades responsáveis pela defesa antiaérea das três Forças Armadas, os quais cumprem missões de defesa antiaérea.

Para realizar as ações de defesa antiaérea em um cenário de conflito, é fundamental que as unidades responsáveis pela ação tenham consciência situacional sobre os tráfegos aéreos não autorizados, com informações fornecidas pelos radares da rede de vigilância do espaço aéreo brasileiro. Na Força Aérea Brasileira, essas unidades são chamadas de Grupo de Defesa Antiaérea (GDAAE).

Normalmente, a transmissão dos dados RADAR para locais distantes é feita através de satélites. Entretanto, em caso de conflito, é importante possuir um meio secundário para transmissão dos dados, auxiliando na tomada de decisão oportuna e adequada, tanto por parte das unidades desdobradas responsáveis pela defesa antiaérea, como também pelo comando e controle.

Dessa maneira, o cumprimento das atividades de defesa antiaérea são garantidas, mesmo em caso de indisponibilidade do meio primário de transmissão de dados, ou seja, em um cenário no qual o uso do satélite encontra-se limitado.

Com isso, surgiu a questão central deste trabalho: Qual é a influência da utilização de frequências HF na tramitação de dados RADAR para uma unidade de defesa antiaérea deslocada?

Para delimitação deste trabalho, foi considerado o Exercício Escudo-Tínia realizado em 2023, tendo em vista a possibilidade de obter um cenário operacional,

propício para estudo do objetivo geral (OG) desta pesquisa: analisar a influência da utilização de frequências HF na tramitação de dados RADAR para um Grupo de Defesa Antiaérea deslocado.

Dessa forma, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos (OE):

OE1- Verificar a faixa de frequência ideal, de acordo com a predição ionosférica;

OE2- Descrever os meios necessários para a tramitação de dados RADAR através de frequências HF;

OE3- Analisar os fatores envolvidos na utilização de frequências HF para o trâmite de dados RADAR.

Cabe ressaltar que a presente pesquisa é de interesse da defesa nacional, pois colabora para o desenvolvimento de sistemas de defesa, no âmbito do Ministério da Defesa e das Forças Armadas, na área tecnológica relativa a comunicações, conforme previsto na Portaria GM-MD no 1.112, de 4 de março de 2024.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A comunicação por meio de alta frequência ou HF (*High Frequency*) é utilizada desde o início do século XX, sendo observado, por volta de 1902, a existência de uma camada condutora na atmosfera, capaz de refletir ondas de rádio e, assim, acompanhar a curvatura do planeta. Dessa forma, a comunicação por HF tornou-se o principal meio de comunicações de longa distância até o final da década de 1960, conforme estudado por Maslin (1987). Para o sucesso das comunicações em HF, o operador deveria ser altamente treinado, com elevado conhecimento sobre propagação no plasma ionosférico e das características de seus equipamentos.

Assim, no início dos anos 70, as comunicações por satélites surgiram como uma alternativa ao uso do HF, por serem mais fácil de operar, possuírem maior estabilidade e maior capacidade de transmissão (Azevedo, 2017). Entretanto, os custos elevados de produção, lançamento e manutenção dos satélites levou ao reaparecimento do desenvolvimento científico e uso das comunicações por HF no século XXI (Sequeira *et al.*, 2018).

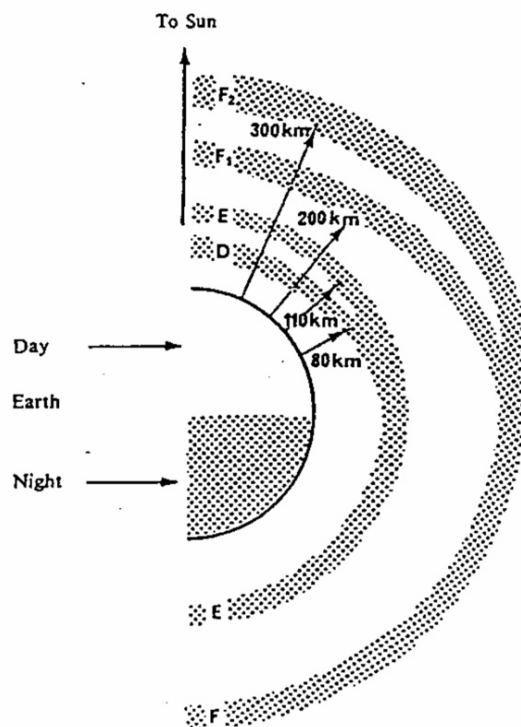
Devido às características físicas da camada ionosférica, é possível utilizá-la

como meio de reflexão de sinais, funcionando como um satélite, conforme observado por Azevedo (2017). Dessa forma, é possível efetuar transmissões de dados e voz a longas distâncias, proporcionando alcance além da linha de visada, ou seja, sem as restrições causadas pelo terreno e pela distância entre os pontos de comunicação.

## 2.1 A CAMADA IONOSFÉRICA

A ionosfera é uma camada da atmosfera terrestre, carregada eletricamente, situada entre 50 km e 600 km de altitude em relação à superfície da terra (Maslin, 1987). A radiação ultravioleta proveniente do sol e outras radiações cósmicas afetam a composição da ionosfera, a qual é, conseqüentemente, muito afetada pela localização geográfica, altitude, período do ano, fase do ciclo solar e atividade geomagnética (Sequeira *et al.*, 2018). Conforme Araujo (2018), a ionosfera é dividida em camadas, denominadas D, E e F, conforme figura 1 abaixo, levando em consideração a altitude e densidade dos elétrons livres.

**Figura 1** – Camadas da ionosfera.



**Fonte:** *International Telecommunication Union (ITU, 1998).*

A camada D, que está situada entre 50 e 90 km de altitude, é a mais próxima da superfície, se forma com o nascer do sol e se dissipa rapidamente após o pôr do sol. De acordo com Araujo (2018), possui características de baixa ionização e, com isso, as ondas de rádio não são refletidas, tendo pouca aplicação para as transmissões.

A camada E localiza-se entre 90 e 130 km de altitude, sendo composta pela camada E normal e E esporádica. Conforme Araujo (2018), a Camada E normal é regular e importante para a propagação HF durante o dia, porém somente um pequeno nível residual permanece na região E durante o período noturno. A Camada E esporádica ocorre eventualmente, devido à elevada ionização na região E aliada à determinadas condições do ciclo solar.

A camada F situa-se acima de 130 km, sendo dividida, durante o dia, nas camadas F1 e F2. De acordo com Araujo (2018), durante a noite as camadas F1 e F2 se fundem, a cerca de 300 km de altitude, e se mantém ionizada mesmo após o por do sol. Por isso, é a camada mais importante para as comunicações de longa distância.

O ciclo solar é outro fator relevante para a densidade do plasma ionosférico. Conforme Araujo (2018), cada ciclo tem duração aproximada de 11 anos e é caracterizada pela variação média da atividade solar. O aparecimento de manchas solares na superfície do sol e as explosões solares estão associados à intensidade de radiação, a qual interfere diretamente na densidade ionosférica.

Devido às grandes alterações da camada ao longo do dia, é necessário calcular a frequência ótima de comunicação, de maneira a possibilitar uma comunicação satisfatória.

## 2.2 FREQUÊNCIAS HF

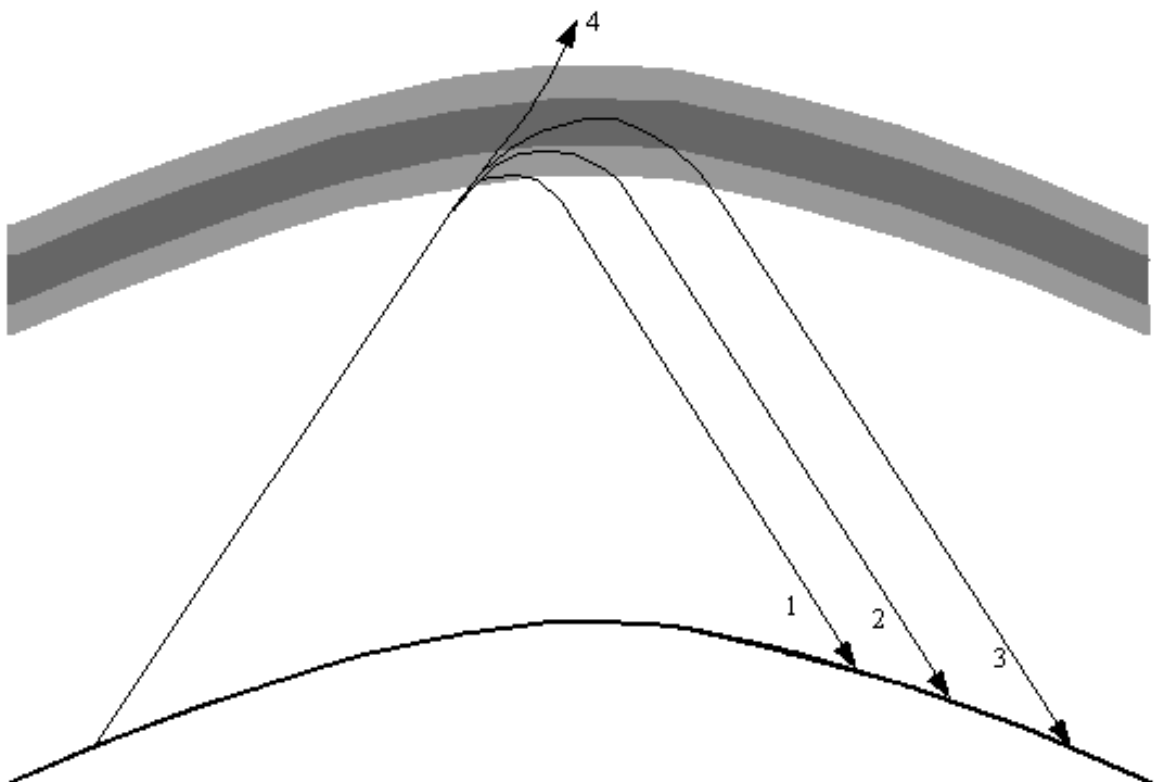
A escolha da frequência HF é de grande relevância para o estabelecimento de comunicações entre dois pontos, em determinado dia e horário. Conforme explicado por Azevedo (2017), para o cálculo da Frequência Ótima de Trabalho (FOT – *Frequency of Optimum Transmission* ou OWF – *Optimum Working Frequency*), são utilizados os conceitos de Máxima Frequência Utilizável (MUF –

*Maximum Useable Frequency*), Mínima Frequência Utilizável (LUF – *Lowest Usable Frequency*) e Frequência Crítica (CF – *Critical Frequency*), os quais são importantes para o uso de ferramentas de predição das condições ionosféricas.

A mínima frequência utilizável (LUF) é o limite inferior da faixa HF a ser utilizada, “abaixo da qual a comunicação não pode ser mantida entre duas estações rádio específicas” (Azevedo, 2017, p. 11), dependendo das características dos equipamentos utilizados.

A frequência crítica (CF) é aquela em que uma determinada camada ionosférica “deixa de refletir um sinal em uma incidência perpendicular à superfície da Terra” (Araújo, 2018, p. 35). Assim, conforme observado por Araújo (2018), uma frequência abaixo da CF será refletida para a superfície, enquanto uma frequência acima da CF seguirá para o espaço sem retorno, conforme a trajetória 4 ilustrada na figura 1 abaixo.

**Figura 2** – Reflexão de sinais pela ionosfera.



**Fonte:** Silva (2001).

A máxima frequência utilizável (MUF) é o limite superior da faixa HF a ser

utilizada, cujo cálculo leva em consideração a frequência crítica (CF) e o ângulo de incidência da onda (Azevedo, 2017).

A frequência ótima de trabalho (FOT) é, então, estimada em 0,85 da MUF para um determinado circuito, de modo a obter uma margem de segurança para as diversas variáveis que afetam a ionosfera (Araujo, 2018).

Devido aos diversos fatores que afetam a transmissão em HF, a União Internacional de Telecomunicações emitiu a recomendação ITU-R P.533-14 para auxiliar na predição de faixa de frequência HF de acordo com a propagação ionosférica, considerando o uso de programação computadorizada na propagação de ondas entre 2 e 30 MHz (ITU, 2019). Esta recomendação fornece um método para realizar a previsão de frequências disponíveis, de níveis de sinal e de confiabilidade para sistemas HF, considerando a relação sinal-ruído, tempo e faixa de frequência do canal (Ramos e Arraes, 2020).

Para utilização do método, é importante determinar algumas características da ionosfera e parâmetros de propagação em pontos específicos, bem como as características técnicas dos equipamentos utilizados e dados da atividade solar no momento da comunicação, conforme observado por Ramos e Arraes (2020). Dessa forma, é possível obter maior precisão e maior probabilidade de acerto no enlace da comunicação por HF.

Conforme Azevedo (2017) destaca, os avanços tecnológicos permitiram o surgimento de uma nova geração de rádios, com diversas facilidades para melhoria na operação, como seleção digital de canais, filtros de alta eficiência, integração de modems, criptografia, estabelecimento automático de enlace (ALE), entre outros.

O ALE é uma “ferramenta que analisa a qualidade do canal e seleciona o melhor dentre os disponíveis, permitindo assim, uma comunicação robusta e de qualidade sem a necessidade de intervenção constante do operador” (Azevedo, 2017, p. 13). Segundo o autor, a escolha da frequência HF a ser utilizada era um processo longo, complicado e manual, vindo a ser simplificada com a evolução tecnológica e, dessa forma, facilitando a operação em HF com um treinamento básico.

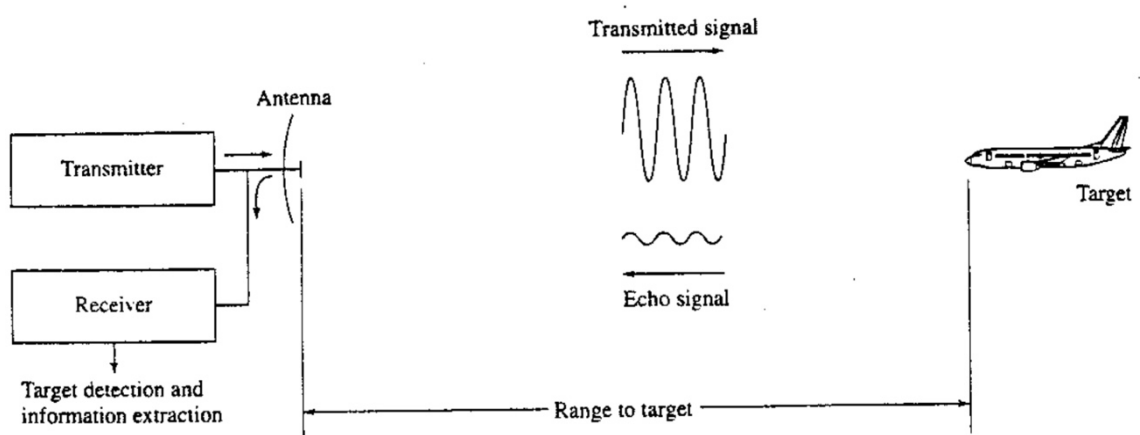
Após entendimento da camada ionosférica e das frequências envolvidas para o sucesso nas comunicações por HF, a seguir será apresentado o princípio básico do RADAR, bem como sua aplicação no controle de tráfego aéreo.

## 2.3 DADOS RADAR

A palavra RADAR é uma contração de *Radio Detection and Ranging* e o sistema tem por característica básica a emissão de ondas eletromagnéticas e recepção do retorno de parte do sinal emitido pela reflexão em objetos, de acordo com Stolnik (2003). Segundo o autor, o sistema é capaz de medir a distância do alvo com grande acurácia e em qualquer condição climática, sendo amplamente utilizado para sensoriamento remoto do meio ambiente, da meteorologia, de vias rodoviárias, de navegação marítima e aérea, entre outras aplicações.

Para a navegação aérea, conforme observado por Stolnik (2003) na figura 2 abaixo, além de medir a distância do alvo, o sistema RADAR consegue extrair outros dados como altitude, direção e velocidade, sendo mundialmente empregado na aviação para segurança de voo. Esse sistema é essencial para o serviço de controle do espaço aéreo, pois permite a detecção, identificação e acompanhamento das aeronaves em voo regular, efetuando a separação de tráfego aéreo. Assim, o Comando da Aeronáutica utiliza uma rede de RADAR, com equipamentos instalados em todo o território brasileiro, de maneira a identificar as aeronaves sob sua área de jurisdição.

**Figura 3** – Princípio básico do RADAR.



**Fonte:** Skolnik (2003, p. 2).

Para a área militar, o sistema também é de grande importância, de acordo com Ramos e Arraes (2020), pois na detecção de um voo não autorizado, a defesa aérea pode atuar de maneira oportuna para a identificação do alvo e interceptação

aérea, caso seja necessário.

De acordo com esses autores, o Brasil utiliza o protocolo ASTERIX para a tramitação de dados RADAR. Segundo eles, esse protocolo é um conjunto de documentos que define a implementação de um formato de dados utilizados para o intercâmbio de informações relacionadas com a vigilância do espaço aéreo, visando a padronização para adequado gerenciamento do tráfego aéreo.

Além disso, Ramos e Arraes (2020) enfatizaram que o sistema RADAR é de grande importância para estruturas de defesa antiaérea, principalmente se estiverem desdobradas no terreno, pois necessitam que as informações de alvos aéreos sejam transmitidas até o local de operação para manter a consciência situacional do espaço aéreo, bem como engajamento a alvos hostis, quando for o caso.

A transmissão dos dados RADAR até um local remoto geralmente é realizado por meio de satélite, utilizando frequências entre a banda UHF (*Ultra High Frequency*) e SHF (*Super High Frequency*). Conforme observado por Sequeira *et al.* (2018), os satélites são repetidores, que utilizam duas frequências diferentes, uma ascendente e outra descendente, e são amplamente utilizadas, principalmente, pela grande velocidade de transmissão.

Entretanto, alguns fatores podem afetar as comunicações por satélites, como antena molhada, influência da chuva e gelo na despolarização das ondas e atenuação do sinal pela atmosfera, conforme observado por Sequeira *et al.* (2018). Além disso, a possibilidade de ataque eletrônico, gerando interferência, bem como elevado custo de manutenção são outros fatores que podem afetar o uso de satélites, de acordo com Azevedo (2017).

Dessa maneira, Ramos e Arraes (2020) enfatizam que a utilização de enlace HF é um meio promissor, tendo em vista que possui uma forma rápida, segura e eficiente para obter os dados necessários às operações de defesa antiaérea, seja como meio principal ou como meio redundante.

### **3 METODOLOGIA**

De acordo com Gil (2017), o presente trabalho pode ser classificado como descritivo, devido à busca pela relação entre utilização de frequências HF e

tramitação de dados RADAR entre estações de solo. Ainda segundo o autor, pode também ser classificado como pesquisa aplicada, pois está voltada para o emprego do conhecimento relativo ao uso de comunicações por HF no trâmite de dados RADAR em situação de contingência. Foi utilizada uma abordagem qualitativa, ou seja, mediante apresentação de descrições verbais para identificar a influência da utilização de HF na tramitação dos dados RADAR.

Segundo o autor, a coleta de dados classifica-se em bibliográfica e documental, tendo em vista que foram considerados estudos e artigos publicados sobre telecomunicação em HF, assim como elementos sem tratamento analítico, como relatórios e registros de frequências utilizadas no Exercício Escudo-Tínia realizado em 2023.

Para verificar a faixa de frequência ideal, de acordo com a predição ionosférica (OE1), foi utilizado o método matemático indicado pela União Internacional de Telecomunicações, por meio da recomendação ITU-R P.533-14. Para tanto, foi utilizado como ferramenta computacional o *software* ASAPS, de maneira a verificar a faixa de frequência para o enlace de transmissão por HF, devido à variação da ionosfera ao longo do dia. De acordo com Brousseau, Gasse e Bertel (1996), esse *software* australiano foi desenvolvido para gerar previsões de propagação de ondas celestes ionosféricas, utilizando dados como data, localização e características dos terminais transmissores e receptores. Como saída, o programa fornece, entre outros dados, a faixa de frequência utilizável.

Para descrever os meios necessários para a tramitação de dados RADAR através de frequências HF (OE2), foi feito um levantamento documental dos meios HF utilizados no Exercício Escudo-Tínia para a tramitação dos dados RADAR, de forma a verificar os equipamentos necessários para o enlace de transmissão em HF. Para tanto, foi utilizado o relatório EXCON Escudo-Tínia 2023, do 1º/1º GCC, que detalhou o apoio realizado para o exercício na localidade de Santana da Boa Vista/RS.

De maneira a analisar os fatores envolvidos na utilização de frequências HF para o trâmite de dados RADAR (OE3), foi feita uma matriz SWOT, ferramenta amplamente utilizada no processo de planejamento estratégico, conforme observado por Chiavenato e Sapiro (2020), que possibilita listar e analisar a relação dos fatores que afetam uma organização. Segundo os autores, a sigla SWOT é um acrônimo,

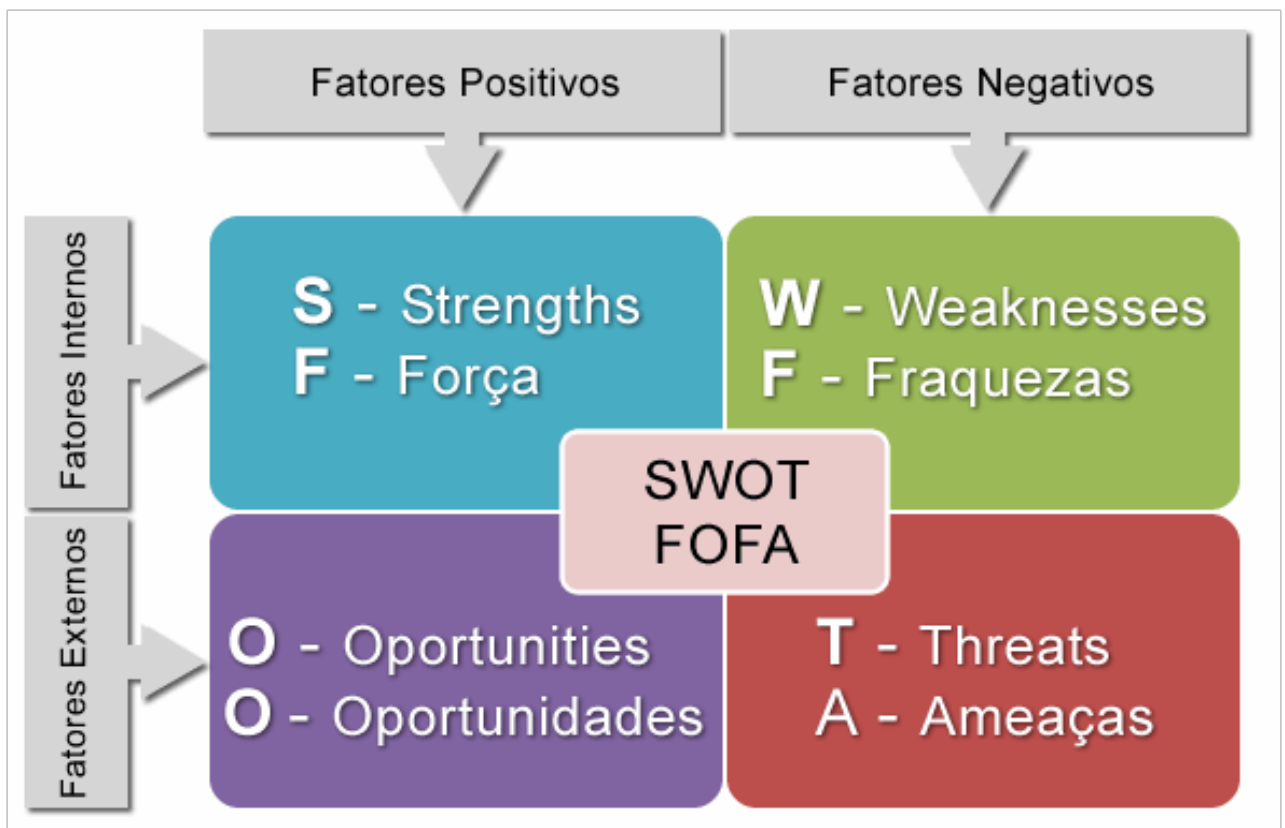
formado pelas iniciais das palavras em inglês *Strengths* (Forças), *Weaknesses* (Fragilidades), *Opportunities* (Oportunidades) e *Threats* (Ameaças).

Essa ferramenta possui como base a verificação dos fatores do ambiente interno da organização (identificados como forças e fragilidades), bem como dos fatores do ambiente externo que a envolve (identificados como oportunidades e ameaças), sendo um modelo de apoio à decisão que proporciona uma análise estratégica. Dessa maneira, é possível estabelecer as políticas mais apropriadas para a organização perante cada situação, levando em consideração sua missão, visão, valores e objetivos estratégicos.

Neste trabalho, a ferramenta foi aplicada para verificar os fatores positivos e negativos para a utilização do HF, identificando tanto os quesitos internos à Força Aérea Brasileira, quanto os quesitos externos à organização.

Para elaboração da matriz SWOT, foi utilizado um modelo adaptado ao apresentado por De Paula (2015), conforme figura 3 abaixo.

**Figura 4** - Áreas da Matriz SWOT.



**Fonte:** De Paula (2015).

Inicialmente, foram elencados os fatores externos (oportunidades - "O" / ameaças - "T"), bem como os fatores internos (forças ou pontos fortes - "S" / fragilidades ou pontos fracos - "W") que afetaram o sistema de transmissão por HF, através de levantamento documental de relatório de uso do HF.

Posteriormente, foi feita a análise dos pontos relevantes dos fatores positivos e negativos do sistema HF para o trâmite dos dados RADAR no Exercício Escudo-Tínia 2023, de maneira a alcançar o objetivo geral, de analisar a influência da utilização de frequências HF na tramitação de dados RADAR para um Grupo de Defesa Antiaérea deslocado.

Em relação à limitação da pesquisa, cabe destacar que o foco foi na utilização do HF por parte de defesa antiaérea em caso de contingência no trâmite pelo método primário, necessitando de outros estudos quanto à aplicabilidade em outros cenários.

#### **4 APRESENTAÇÃO DOS DADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

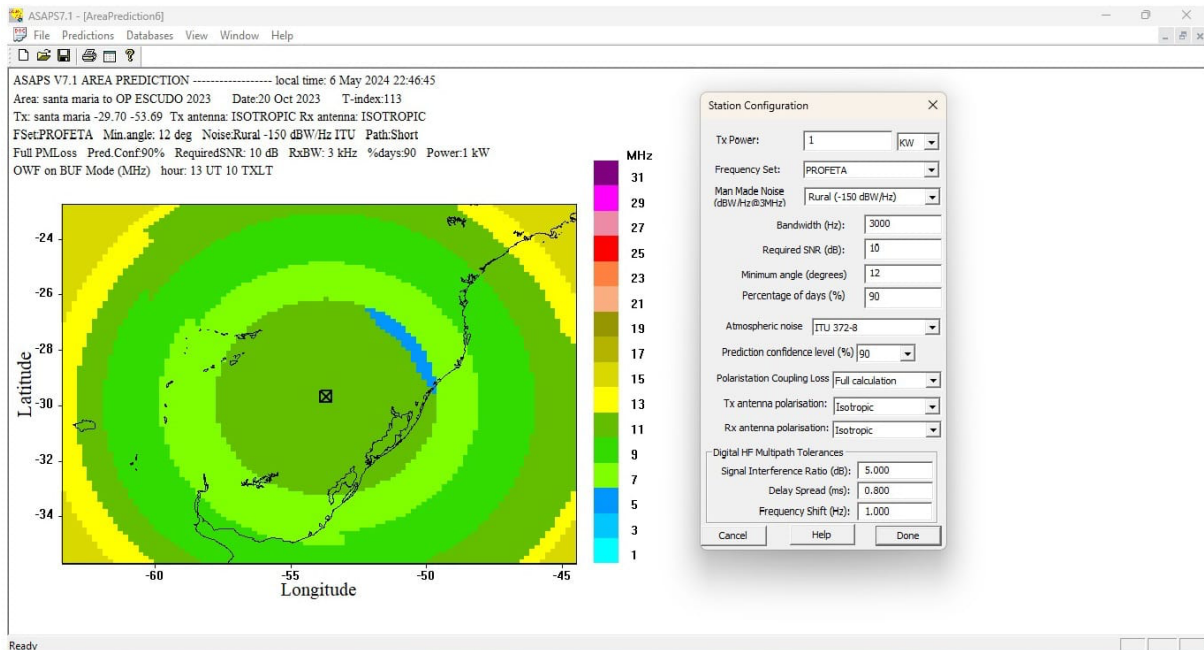
Para o Exercício Escudo-Tínia, o RADAR TPS-B 34, situado em Santa Maria/RS, forneceu os dados das aeronaves em voo para consciência situacional dos Grupos de Artilharia Antiaérea participantes, utilizando como meio primário a transmissão por satélite.

Para a transmissão dos dados RADAR por HF, os sinais foram enviados de Santa Maria/RS para o Grupo de Defesa Antiaérea da FAB situado em Santana da Boa Vista/RS, e para o COMAE, situado em Brasília/DF.

De acordo com a predição ionosférica da recomendação ITU-R P.533-14, foram inseridos no *software* ASAPS os dados referentes à estação de HF, situada em Santa Maria/RS, bem como os dados referentes ao dia do exercício, para cálculo dos valores de Mínima Frequência Utilizável (LUF) e Máxima Frequência Utilizável (MUF) ao longo do dia, conforme figura 3.

Assim, a camada ionosférica configurou um fator externo à Força Aérea Brasileira, com variação significativa ao longo do dia, necessitando de medidas para atenuar sua instabilidade.

**Figura 3 - Software ASAPS.**



Fonte: A autora.

Por meio dessa ferramenta, foram identificadas as faixas de frequência para enlace HF entre Santa Maria e Santana da Boa Vista (distantes cerca de 160 km), bem como entre Santa Maria e Brasília (aproximadamente 2.100 km de distância), nos períodos de 00:00 às 06:00, 06:00 às 12:00, 12:00 às 18:00 e 18:00 às 00:00, conforme quadro 1 abaixo. Dessa forma, foram determinadas as frequências a serem utilizadas dentro da faixa calculada e realizado o enlace por meio da camada F da ionosfera, atingindo o primeiro objetivo específico de maneira a verificar a faixa de frequência ideal, de acordo com a predição ionosférica.

**Quadro 1 - Predição de Faixa de Frequências HF a partir de Santa Maria.**

<b>Horário (Z)</b>	<b>Santana da Boa Vista</b>	<b>Brasília</b>
00:00 às 06:00	7 a 9 MHz	17 a 19 MHz
06:00 às 12:00	7 a 9 MHz	13 a 15 MHz
12:00 às 18:00	9 a 11 MHz	19 a 21 MHz
18:00 às 00:00	9 a 11 MHz	19 a 21 MHz

Fonte: A autora.

Para pesquisa do trâmite de dados RADAR por HF, foram montadas estruturas no local de transmissão, em Santa Maria, e nos locais de recepção dos dados RADAR, em Santana da Boa Vista e em Brasília, detalhados a seguir de maneira a atingir o segundo objetivo específico de descrever os meios necessários para a tramitação de dados RADAR através frequências HF.

Para transmissão a partir de Santa Maria, foram utilizados um *hardware* conversor, um servidor Átrio, um *software* conversor, um modem HF, um rádio HF e uma antena HF, seguindo os estudos de Ramos e Arraes (2020).

O *hardware* conversor transformou o sinal inicial, emitido pelo RADAR de detecção, e identificou o protocolo RADAR utilizado, ou seja, o protocolo ASTERIX. Assim, esse equipamento permitiu mudar o sinal de saída do RADAR, conhecido como *serial*, para um sinal de trâmite em rede de computadores, conhecido como *ethernet*.

Na sequência, o servidor Átrio (*software* instalado em um computador comum) transformou o sinal inicial em um sinal mais enxuto. Assim, as informações do sinal inicial foram reduzidas para os dados mínimos de velocidade, proa, altitude e código transponder da aeronave, devido à capacidade reduzida de tráfego de dados por HF, sendo caracterizado como uma ameaça (T) na análise SWOT.

Após a redução do sinal inicial, os dados RADAR passaram por outro conversor, desta vez um *software*, o qual converteu o tipo do sinal de *ethernet* para *serial* novamente, de maneira a efetuar a transmissão por HF.

O modem, então, efetuou o chaveamento da transmissão junto ao rádio HF. Este estava sintonizado na frequência estabelecida para o horário, passando os dados RADAR para a antena de HF efetivar a propagação do sinal.

Para o recebimento dos dados RADAR transmitido, a estrutura necessária iniciou pela antena HF para recepção do sinal, um rádio HF, um modem HF, um *software* Átrio e um dispositivo para visualização em monitor de vídeo, seguindo Ramos e Arraes (2020).

Para o exercício operacional em Santana da Boa Vista, foi instalada uma antena HF do tipo varal e utilizado um rádio HF transportável, possibilitando a recepção do sinal no local de operação do Grupo de Defesa Antiaérea deslocada. O sinal foi captado pela antena, de acordo com a frequência sintonizada no rádio

HF e estabelecida para o horário conforme a previsão ionosférica.

Em seguida, o modem entregou como saída um sinal *serial* e o *software* Átrio o transformou em sinal de *ethernet*, para trâmite em rede de computadores. Dessa forma, foi possível visualizar os dados RADAR transmitidos por meio do sistema de tratamento e visualização de dados do Comando da Aeronáutica, como o DACOM. Esse sistema permite que as aeronaves sejam plotadas em um mapa georreferenciado e visualizados em telas, possibilitando que os movimentos de tráfego aéreo sejam observados graficamente.

Dessa forma, tanto o COMAE, em Brasília, quanto o Grupo de Defesa Antiaérea da FAB (deslocado em Santana da Boa Vista), receberam os dados RADAR em tempo real por meio de enlace HF, de maneira redundante ao enlace principal via satélite, com visualização por meio do sistema DACOM.

Durante o exercício, foi percebida alguma instabilidade no enlace HF devido às condições intrínsecas da camada ionosférica, sendo caracterizado como uma ameaça (T). Entretanto, é possível reduzir consideravelmente a instabilidade da propagação mediante uso de módulo de aumento de potência do rádio HF e uso de ferramenta para previsão ionosférica a cada hora, para identificar a frequência ótima de trabalho (FOT) entre transmissor e receptor, caracterizando como fator interno passível de melhoria, ou seja, fraqueza (W).

O sistema Átrio mostrou-se com potencial para ser utilizado como ferramenta tática e operacional nas Forças Armadas, sendo capaz de transmitir dados RADAR por meio de enlace HF. Dessa forma, possibilita o emprego pelas três Forças Singulares, aumentando a interoperabilidade e a consciência situacional em caso de contingência, representando uma oportunidade (O).

Tendo em vista que o sistema Átrio foi desenvolvido por militares da Força Aérea Brasileira, o *hardware* conversor precisaria ser produzido em maior quantidade para que fosse aplicável em mais radares de interesse a serem transmitidos por HF como redundância. Além disso, os *softwares* desenvolvidos são de domínio do Comando da Aeronáutica, facilitando a atualização e customização conforme as necessidades operacionais, bem como representa um fator interno relevante de força (S).

Utilizando a ionosfera como meio de propagação, ressaltou-se a capacidade

de longo alcance obtido para a tramitação de dados RADAR por HF, sem a necessidade de equipamentos repetidores, tanto terrestre (outras antenas) quanto espacial (satélite), representando um fator externo importante de oportunidade (O). Dessa forma, não existiu custo associado ao uso de HF, como custo por uso de dados móveis ou implantação de repetidor, apresentando uma escolha mais econômica quando comparado ao uso satelital para transmissão de dados e representando um fator interno significativo de força (S)

Além disso, por utilizar uma camada atmosférica que se altera constantemente pela atividade solar, observou-se a importância do planejamento prévio das frequências a serem utilizadas ao longo do período de transmissão, de maneira a aumentar a possibilidade de sucesso no enlace por HF. Utilizando as ferramentas computacionais de cálculo para predição ionosférica, foi possível minimizar esses óbices naturais.

Ainda assim, com os equipamentos HF utilizados no exercício, observou-se a capacidade de mobilidade, por terem sido usados equipamentos já disponíveis na FAB e com capacidade de serem transportados para o local de interesse, representando fatores internos de força (S). Dessa forma, o operador realizará apenas treinamento básico para configuração e operação do sistema, não tendo necessidade de treinamento altamente especializado com conhecimento avançado sobre a camada ionosférica, como fora imprescindível há décadas.

Desse modo, foi possível identificar os fatores internos e externos da Força Aérea Brasileira em relação à utilização de HF, sintetizados no quadro 2 abaixo, atingindo o terceiro objetivo específico.

**Quadro 2** - Matriz SWOT para utilização de HF na tramitação de dados RADAR pela FAB.

	<b>Fatores Positivos</b>	<b>Fatores Negativos</b>
<b>Fatores Internos</b>	<p><b>FORÇA (<i>Strength</i> – S):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Treinamento básico do operador</li> <li>- Mobilidade para recepção em pontos remotos</li> <li>- Baixo custo para utilização do HF</li> </ul>	<p><b>FRAQUEZA (<i>Weakness</i> – W):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Necessidade de melhoria dos equipamentos atuais</li> </ul>

	- <i>Software</i> do sistema Átrio de domínio do COMAER	
<b>Fatores Externos</b>	<p>OPORTUNIDADE (<i>Opportunity</i> – O):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Longo alcance, sem necessidade de repetidor</li> <li>- Interoperabilidade entre as Forças Singulares</li> </ul>	<p>AMEAÇA (<i>Threat</i> – T):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Instabilidade das condições ionosféricas</li> <li>- Capacidade restrita de tráfego de dados pela ionosfera</li> </ul>

Fonte: A autora.

Para se contrapor às ameaças identificadas, verificou-se que a ferramenta computacional de predição ionosférica foi capaz de minimizar a instabilidade das condições ionosféricas, permitindo o sucesso no enlace por HF. Além disso, o sistema Átrio conseguiu adequar o dado à baixa capacidade de tráfego de dados por HF, reduzindo o sinal proveniente do RADAR, com protocolo ASTERIX, para um sinal mais enxuto e, conseqüentemente, permitindo a utilização do HF para transmissão de dados RADAR.

Para a melhoria dos equipamentos atuais, foi identificada a necessidade de produção em larga escala do *hardware* conversor para utilização do sistema Átrio, como um investimento para que essa fraqueza possa ser superada. Também foi identificado que o uso de um módulo de aumento de potência HF pode melhorar a qualidade da transmissão, sendo um outro investimento para melhoria do sistema HF.

Utilizando os equipamentos disponíveis na Força Aérea Brasileira, o enlace por HF no Exercício Escudo-Tínia foi estabelecido, sendo identificados alguns fatores de força, como a realização de treinamento básico para o operador e a mobilidade para recepção do dado RADAR em pontos remotos, favorecendo o uso pelas unidades responsáveis pela defesa antiaérea desdobradas. Além disso, o uso da camada ionosférica para propagação de sinais não gera custos adicionais, como pode ocorrer para trâmite de dados por satélite, por exemplo, em função de necessidade de eventuais contratos estabelecidos para seu uso.

Como o sistema Átrio é de domínio do Comando da Aeronáutica, pode ser atualizado e modificado conforme a necessidade operacional, sendo identificado

como um fator de força relevante para a tramitação de dados por HF.

Assim sendo, a utilização de frequências HF permitiu o longo alcance para o trâmite de dados RADAR sem a necessidade de repetidor. Dessa forma, apresentou também uma oportunidade para possibilitar a interoperabilidade entre as Forças Singulares, principalmente em cenário de contingência no modo principal de transmissão.

Diante do exposto, foi possível analisar a influência da utilização de frequências HF na tramitação de dados RADAR para um Grupo de Defesa Antiaérea deslocado, sendo observado que a transmissão foi efetiva e alcançou o resultado esperado de manutenção da consciência situacional da unidade de defesa antiaérea desdobrada no terreno, bem como representou um meio de tramitação eficaz em situação de falha ou contingência da comunicação satelital.

## 5 CONCLUSÃO

O uso de alta frequência, ou HF, para as comunicações teve início por volta de 1902, quando se descobriu a possibilidade de atingir longas distâncias sem utilização de fios. Com o passar do tempo, novas tecnologias surgiram e o advento do satélite permitiu maior estabilidade e capacidade de tráfego de dados, levando ao declínio na utilização de HF, conforme Azevedo (2017).

Levando em consideração os elevados custos de produção, lançamento e manutenção dos satélites, conforme observado por Sequeira *et al.* (2018), a utilização de HF foi colocada novamente como área de interesse nas comunicações, principalmente em um cenário de contingência.

Para efetuar o controle do espaço aéreo brasileiro, o Comando da Aeronáutica utiliza o sistema RADAR para obter dados de alvos aéreos, como distância, altitude, velocidade e código transponder, conforme observado por Ramos e Arraes (2020), possibilitando identificar todas as aeronaves sob sua área de jurisdição.

Em caso de conflito, os Grupos de Defesa Aérea podem ser deslocados para áreas de interesse, de maneira a efetuar a proteção local contra aeronaves inimigas. Assim sendo, essas organizações necessitam manter elevada a consciência

situacional, de maneira a engajar em alvos hostis quando necessário. Para tanto, precisam visualizar os dados RADAR em tempo real e em seu local de desdobramento.

Como o meio primário para envio dos dados RADAR para a unidade desdobrada é feita por meio de satélite, surgiu a inquietação na autora, levando ao objetivo geral (OG) do presente trabalho de analisar a influência da utilização de frequências HF na tramitação de dados RADAR para um Grupo de Defesa Antiaérea deslocado. Para tanto, foram estabelecidos três objetivos específicos e realizada uma pesquisa bibliográfica e documental para uma abordagem qualitativa, sendo utilizado o Exercício Escudo-Tínia 2023 como delimitação da pesquisa.

O primeiro objetivo específico (OE1) verificou a faixa de frequência ideal, conforme Azevedo (2017), a ser utilizada entre Santa Maria e Santana da Boa Vista. Assim, foi utilizado o *software* ASAPS, de acordo com a predição ionosférica do método matemático da recomendação ITU-R P.533-14, indicado pela União Internacional de Telecomunicações. Dessa maneira, foram determinadas as frequências a serem utilizadas, dentro das faixas de 7 a 9 MHz, entre 00:00h e 12:00h; e na faixa de 9 a 11 MHz para o período entre 12:00h e 00:00h. Assim, foi possível perceber que camada ionosférica caracterizou-se como um fator externo à Força Aérea Brasileira, com variação significativa durante o dia, necessitando de medidas para atenuar sua instabilidade.

O segundo objetivo específico (OE2) descreveu os meios necessários para a tramitação de dados RADAR através frequências HF, conforme estudado por Ramos e Arraes (2020). Dessa forma, foi observado que, para a transmissão a partir de Santa Maria, foram utilizados um *hardware* conversor, um servidor Átrio, um *software* conversor, um modem HF, um rádio HF e uma antena HF. Para o recebimento do dado RADAR em Santana da Boa Vista, a estrutura necessária utilizada foi uma antena HF, um rádio HF, um modem HF, um *software* Átrio e um dispositivo para visualização em monitor de vídeo.

Foi verificado que, devido à reduzida capacidade de tráfego de dados por HF, o servidor Átrio transformou o sinal inicial recebido do RADAR, conforme protocolo ASTERIX, em um sinal mais enxuto, contendo informações reduzidas para os dados mínimos de velocidade, proa, altitude e código transponder da aeronave (Ramos e Arraes, 2020).

Dessa forma, tanto o COMAE (em Brasília) quanto o Grupo de Defesa Antiaérea da FAB (deslocada em Santana da Boa Vista), receberam os dados RADAR em tempo real por meio de enlace HF, de maneira redundante ao enlace principal via satélite.

O terceiro objetivo específico (OE3) analisou a utilização de frequências HF para o trâmite de dados RADAR, por meio de uma matriz SWOT, conforme modelo de De Paula (2015). Dessa forma, foram relacionados os fatores internos e externos da Força Aérea Brasileira em relação à utilização de HF, possibilitando a análise tanto dos fatores negativos (ameaça e fraqueza), quanto dos fatores positivos (força e oportunidade).

Assim, as ameaças (T) de instabilidade das condições ionosféricas e de reduzida capacidade de tráfego de dados foram verificadas, mas podem ser superadas por meio da utilização, respectivamente, dos *softwares* para cálculo da faixa de frequência (como realizado no OE1), para sucesso no enlace por HF, e do sistema Átrio (como realizado no OE2), para redução do sinal de saída do RADAR.

Para minimizar a fraqueza (W) identificada em relação aos equipamentos atuais, seria necessário investir tanto em módulo de aumento de potência HF, para melhorar a qualidade da transmissão; quanto em produção do *hardware* conversor, para utilização do sistema Átrio em mais unidades de interesse.

A realização de treinamento básico para o operador e mobilidade para recepção dos dados RADAR em pontos remotos foram fatores de força (S) identificados que favorecem o uso por unidades desdobradas de defesa antiaérea. Outro fator de força (S) relevante é o sistema Átrio sendo de domínio do Comando da Aeronáutica, possibilitando que seja atualizado e modificado conforme as necessidades das unidades operacionais.

Além disso, o uso da camada ionosférica como refletor de sinais apresenta baixo custo, se comparado com uso de satélite, o qual pode ter gastos adicionais devido a custo contratual associado para uso. Assim sendo, foi representado como um fator de força (S) para a Força Aérea Brasileira.

Como fator de oportunidade (O), foi observada a eficácia e efetividade no uso de frequências HF para a tramitação dos dados RADAR, permitindo alcance de longas distâncias sem necessidade de instalação de outras estações de solo, contribuindo para manter a consciência situacional do Grupo de Defesa Antiaérea

deslocado. Outra oportunidade (O) para uso de HF no trâmite de dados RADAR é a possibilidade de interoperabilidade entre as Forças Armadas brasileiras, proporcionando melhor integração para as operações conjuntas.

Devido à limitação da presente pesquisa, com foco na utilização do HF por unidade de defesa antiaérea, sugere-se que outros estudos sejam feitos, de maneira a verificar sua aplicação em outros cenários, como a transmissão de dados em HF entre estação fixa e estação móvel, por exemplo uma aeronave.

Dessa forma, a utilização de frequências HF pode contribuir para o aprimoramento das comunicações tanto dentro da Força Aérea Brasileira, quanto entre as Forças Armadas, tornando-se uma opção importante para comando e controle de operações conjuntas, sobretudo em longas distâncias.

## REFERÊNCIAS

- ARAUJO, Valdileide Freire de. **Transmissão Digital em HF**. 2008. 139f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Telecomunicações, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2008. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/17275/Dissert%20Valdileide%20Freire%20de%20Araujo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 06 abr. 2024.
- AZEVEDO, Fernando Antonio Paiva de. Comunicações de Alta Frequência: Evolução e o Merecido Reconhecimento. **Revista Hotel Fox: A revista do Esquadrão Profeta**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p.7-23, nov. 2017.
- BROUSSEAU, C.; GASSE, V.; BERTEL, L. *Comparison of Three H.F. Ionospheric Prediction Models (ASAPS, VOACAP, LOCAP)*. **8th International Ionospheric Effects Symposium**, Washington, EUA, jan. 1996. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/281804119\\_Comparison\\_of\\_Three\\_HF\\_Ionospheric\\_Prediction\\_Models\\_ASAPS\\_VOACAP\\_LOCAP/link/56aa028108ae7f592f0f0c6d/download?\\_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmXPY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmXPY2F0aW9uIn19](https://www.researchgate.net/publication/281804119_Comparison_of_Three_HF_Ionospheric_Prediction_Models_ASAPS_VOACAP_LOCAP/link/56aa028108ae7f592f0f0c6d/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmXPY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmXPY2F0aW9uIn19). Acesso em: 21 jun. 2024.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. **Concepção Estratégica Força Aérea 100**, DCA-11-45. Brasília, DF, 2018. Disponível em: <https://www.fab.mil.br/missaovisaovalores>. Acesso em: 12 fev. 2024.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. **Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira**, vol. 2, DCA 1-1. Brasília, DF, 2020. Disponível em: [https://www2.fab.mil.br/unifa/ppgca/images/conteudo/D-QBRN/DCA\\_1-1\\_DOCTRINA\\_BSICA\\_DA\\_FORA\\_AREA\\_BRASILEIRA\\_-\\_VOLUME\\_2\\_2020.pdf](https://www2.fab.mil.br/unifa/ppgca/images/conteudo/D-QBRN/DCA_1-1_DOCTRINA_BSICA_DA_FORA_AREA_BRASILEIRA_-_VOLUME_2_2020.pdf). Acesso em: 18 fev. 2024.
- BRASIL. Ministério da Defesa. **Doutrina de Operações Conjuntas**, vol. 2, MD-30-M-01. Disponível em: <https://www.gov.br/defesa/pt-br/arquivos/legislacao/emcfa/publicacoes/doutrina/md30-m-01-vol-2-2a-edicao-2020-dou-178-de-15-set.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2024.
- BRASIL. Ministério da Defesa. **Política Nacional de Defesa e Estratégia Nacional de Defesa**. Brasília, DF, 2020. Disponível em: [https://www.gov.br/defesa/pt-br/arquivos/estado\\_e\\_defesa/pnd\\_end\\_congresso\\_.pdf](https://www.gov.br/defesa/pt-br/arquivos/estado_e_defesa/pnd_end_congresso_.pdf). Acesso em: 12 fev. 2024.
- BRASIL, Ministério da Defesa. Portaria GM-MD nº 1.112, de 4 de março de 2024. Áreas Tecnológicas de Interesse da Defesa Nacional, Destinadas A Orientar A Realização de Atividades de Pesquisa e Desenvolvimento no Âmbito do Ministério da Defesa e das Forças Armadas. **Diário Oficial da União**, 07 mar. 2024. Seção 1.
- CHIAVENATO, I.; SAPIRO, A. **Planejamento estratégico**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- DE PAULA, G.B. **Matriz SWOT ou Matriz FOFA**: utilizando a Análise SWOT para conhecer as cartas do jogo e aumentar as chances de vitória de sua empresa.

Treasy, 17 ago.2015. Disponível em: <<https://www.treasy.com.br/blog/matriz-swot-analise-swot-matriz-fofa/>. Acesso em: 30 abr. 2024.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

ITU, *International Telecommunication Union* (org.). **Method for the prediction of the performance of HF circuits**. 2019. Recommendation ITU-R P.533-14. Disponível em: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.533-14-201908-III-PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.533-14-201908-III-PDF-E.pdf). Acesso em: 06 abr. 2024.

ITU, *International Telecommunication Union* (org.). **The ionosphere and its effects on radiowave propagation**. 1998. Disponível em: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-32-1998-PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-32-1998-PDF-E.pdf) . Acesso em: 24 jun.2024.

MARQUES, R.B.; DIAS, M. O.; CAMARGO, F. N. *Literature Review on Multi-Domain Battle*. **International Journal of Development Research**. v.12, n.4, p. 55380-55384. Disponível em: <https://doi.org/10.37118/ijdr.24376.04.2022>. Acesso em: 07 abr. 2024.

MASLIN, Nicholas. **HF Communications: a system approach**. 1. ed. New York: Routledge, 1987.

RAMOS, Marcio Gonçalves; ARRAES, Pablo Pontes. Transmissão de Dados RADAR por meio de Rádio Frequência na Faixa de HF. **Simpósio de Aplicações Operacionais em Áreas de Defesa**, São José dos Campos, v. 14, n. 1, p. 73-78, set. 2020. Disponível em: [https://www.sige.ita.br/edicoes-antteriores/2020/st/ST\\_05\\_2.pdf](https://www.sige.ita.br/edicoes-antteriores/2020/st/ST_05_2.pdf). Acesso em: 06 abr. 2024.

SEQUEIRA, V., RODRIGUES, M., RODRIGUES, A., SANGUINO, J. e GRIFO, P., 2018. Melhoria da Eficiência de Comunicações HF Utilizando Algoritmos de Seleção de Débito Binário Evoluidos. **Revista de Ciências Militares**, novembro, VI (2), pp. 207-231. Disponível em: [https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/34632/1/Melhoria%20da%20Efici%20de%20...%20%28por%29\\_Vasco%20Sequeira%20et%20al.pdf](https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/34632/1/Melhoria%20da%20Efici%20de%20...%20%28por%29_Vasco%20Sequeira%20et%20al.pdf) . Acesso em: 10 fev. 2024.

SKOLNIK, M. I. **Introduction to RADAR System**. 3. ed. New York: Tata McGraw-Hill, 2003.

SILVA, H. J. A. S. **Propagação na Atmosfera**. 1. ed. Sidney: IPS Radio & Space Services, 2001. Disponível em: <http://www.sarmiento.eng.br/Propagacao.htm> . Acesso em: 1 jun. 2024.