

**ESCOLA DE ARTILHARIA DE COSTA E ANTIAÉREA**

**OTAVIO DA SILVA FERREIRA**

**A EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DOS RADARES DE BUSCA DA ARTILHARIA  
ANTIAÉREA NO EXÉRCITO BRASILEIRO.**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Escola de Artilharia de  
Costa e Antiaérea como requisito parcial  
para a obtenção do Grau Especialidade  
em Operações Militares de Defesa  
Antiaérea e Defesa do Litoral.

Orientador: Maj Art Cristiano Delgado  
**Siqueira**

**Rio de Janeiro  
2017**



**MINISTÉRIO DA DEFESA  
EXÉRCITO BRASILEIRO  
DECEx - DETMil  
ESCOLA DE ARTILHARIA DE COSTA E ANTIAÉREA**

**DIVISÃO DE ENSINO / SEÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO**

**COMUNICAÇÃO DO RESULTADO FINAL AO POSTULANTE (TCC)**

FERREIRA, Otavio da Silva (1º Ten Art). A evolução tecnológica dos radares de busca da Artilharia Antiaérea no Exército Brasileiro. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no programa *lato sensu* como requisito parcial para obtenção do certificado de especialização em Operações Militares de Defesa Antiaérea e Defesa do Litoral. Escola de Artilharia de Costa e Antiaérea.

Orientador: CRISTIANO DELGADO SIQUEIRA, Maj Art

Resultado do Exame do Trabalho de Conclusão de Curso: \_\_\_\_\_

Rio de Janeiro, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2017.

**COMISSÃO DE AVALIAÇÃO**

\_\_\_\_\_  
ALLAN DIAS MERCÊS – Maj Art  
PRESIDENTE

\_\_\_\_\_  
CRISTIANO DELGADO SIQUEIRA - Maj Art  
MEMBRO

\_\_\_\_\_  
AUGUSTO CESAR RODRIGUES FORTES – Cap Art  
MEMBRO

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, Major Siqueira, pelas orientações que tanto ajudaram durante a confecção deste trabalho.

Aos meus pais Antônio Cesar Ferreira e Severina Alves da Silva Ferreira, e a minha avó Ana Costa Soares pelo amor com que me educaram, pelas inúmeras horas que velaram meu sono, pelo eterno exemplo que são em minha vida e pelas palavras de incentivo a cada tropeço de minha jornada, minha eterna gratidão.

A minha esposa Angela Cassia Moreira Carlos Ferreira, meu porto seguro, pela compreensão, apoio e companheirismo nos momentos em que abdicou de minha atenção em prol do meu aprimoramento técnico-profissional.

## RESUMO

Este trabalho tem como objetivo o estudo acerca das evoluções tecnológicas dos radares de busca da Artilharia Antiaérea do Exército Brasileiro, do Equipamento Diretor de Tiro *Fighting Intruders at Low Altitude* (EDT FILA) para o Sensor de Acompanhamento de Alvos Aéreos Baseado na Emissão de Radiofrequência (SABER) M60. O objetivo geral da pesquisa consiste em analisar a evolução tecnológica dos radares de busca da Artilharia Antiaérea do Exército Brasileiro, a partir da aquisição do EDT FILA nos anos 80 até a entrada em operação do radar SABER M60 no final de 2011 e no que essa evolução contribuiu para a capacidade de análise e detecção de alvos. Foi utilizada a pesquisa bibliográfica em livros, revistas e artigos com o intuito de conseguir o embasamento teórico necessário, posicionando melhor o leitor acerca do tema abordado. Procurou-se atingir ao objetivo geral da pesquisa através da abordagem do tipo de ameaça aérea que atua na faixa de emprego destes sensores, da apresentação do princípio de operação e dos tipos de radar presentes na Artilharia Antiaérea do Exército Brasileiro, e da análise das características do EDT FILA e do radar SABER M60, de suas capacidades e limitações, procurando realizar uma comparação entre ambos. Logo, concluiu-se que houve grande evolução tecnológica do radar de busca do EDT FILA para o radar SABER M60, principalmente no que tange à análise e detecção de alvos e que, devido a seu desenvolvimento e fabricação nacional, tornam essa evolução importantíssima para a capacidade de dissuasão do país e evolução da indústria nacional de material de defesa.

**Palavras-Chave:** Artilharia Antiaérea. Radar. Evolução Tecnológica.

## **ABSTRACT**

This work has as objective the study about the technological evolutions of the radar of search of the antiaircraft artillery of the Brazilian Army, from EDT FILA to the SABER M60. The general objective of the research is to analyze the technological evolution of the Brazilian Army's Anti-aircraft Artillery search radars, from the acquisition of EDT FILA in the 80's until the SABER M60 radar was put into operation at the end of 2011, and in what this evolution contributed to the ability to analyze and detect targets. Bibliographical research was used in books, journals and articles with the aim of obtaining the theoretical basis necessary, better positioning the reader about the topic addressed. The objective was to reach the general objective of the research through the approach of the type of aerial threat that operates in the range of use of these sensors, the presentation of the principle of operation and the types of radar present in the Brazilian Army's antiaircraft artillery, and the analysis of the characteristics The EDT FILA and the SABER M60 radar, of their capacities and limitations, trying to make a comparison between both. Therefore, it was concluded that there was a great technological evolution of the search radar of EDT FILA for the radar SABER M60, mainly regarding the analysis and detection of targets and that due to its development and national manufacture make this evolution very important for the capacity of Deterrence of the country and evolution of the national defense material industry.

**Keywords:** Anti-aircraft Artillery. Radar. Technological evolution.

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	9
2	<b>A AMEAÇA AÉREA</b> .....	12
2.1	Tipos de Aeronave.....	13
<b>2.1.1</b>	<b>Aeronaves de Asa Fixa</b> .....	13
2.1.1.1	Aeronaves de Transporte.....	13
2.1.1.2	Bombardeiros.....	14
2.1.1.3	Aeronaves de Ataque.....	14
2.1.1.4	Aeronaves de Guerra Eletrônica.....	15
<b>2.1.2</b>	<b>Aeronaves de Asa Rotativa</b> .....	16
2.1.2.1	Helicóptero de Ataque.....	16
2.1.2.2	Helicóptero Utilitário.....	16
<b>2.1.3</b>	<b>Mísseis de Cruzeiro</b> .....	17
<b>2.1.4</b>	<b>Sistema de Aeronaves Remotamente Pilotadas</b> .....	18
2.2	Possibilidades da Ameaça Aérea.....	19
2.3	Considerações Parciais.....	21
<b>3</b>	<b>PRINCIPIOS DE OPERAÇÃO E TIPOS DE RADAR</b> .....	22
3.1	Definição.....	22
3.2	Histórico.....	22
3.3	Princípios de Operação.....	24
<b>3.3.1</b>	<b>Radares de onda contínua</b> .....	26
<b>3.3.2</b>	<b>Radares Pulsados</b> .....	27
<b>3.3.3</b>	<b>Radares Secundários</b> .....	27
<b>3.3.4</b>	<b>Bandas de operação</b> .....	28
3.4	Tipos de Radar.....	30
<b>3.4.1</b>	<b>Radar de Vigilância</b> .....	31
<b>3.4.2</b>	<b>Radar de Busca</b> .....	31
<b>3.4.3</b>	<b>Radar de Tiro</b> .....	32

3.5	Considerações Parciais.....	32
4	<b>O EQUIPAMENTO DIRETOR DE TIRO <i>FIGHTING INTRUDERS AT LOW ALTITUDE</i> (EDT FILA).....</b>	<b>34</b>
4.1	Características Gerais.....	34
4.2	Sistema RADAR.....	36
4.2.1	<b>Funcionamento Sumário.....</b>	<b>37</b>
4.2.2	<b>Sistema <i>Identification Friend Or Foe</i> (IFF).....</b>	<b>37</b>
4.3	O Radar de Busca do EDT FILA.....	38
4.3.1	<b>Espaço de Busca.....</b>	<b>38</b>
4.3.2	<b>Transmissor.....</b>	<b>39</b>
4.3.3	<b>Antena do Radar de Busca.....</b>	<b>40</b>
4.3.4	<b>Indicador de Alvos Móveis (MTI).....</b>	<b>42</b>
4.4	Extrator de Dados do Radar de Busca (EDRB).....	42
4.5	Mobilidade e Transportabilidade.....	43
4.6	Considerações Parciais.....	44
5	<b>SENSOR DE ACOMPANHAMENTO DE ALVOS AÉREOS BASEADO NA EMISSÃO DE RADIOFREQUÊNCIA (SABER) M60.....</b>	<b>46</b>
5.1	Características.....	46
5.2	Módulo de Controle e Radiofrequência.....	48
5.2.1	<b>Transmissor.....</b>	<b>49</b>
5.2.2	<b>Unidade de Processamento de Sinais.....</b>	<b>50</b>
5.3	Radar Secundário S60 (IFF).....	51
5.4	Antena.....	52
5.5	Gerador.....	54
5.6	Unidade de Visualização do Radar.....	55
5.7	Condições de Mobilidade e Transporte.....	56
5.8	Medidas de Coordenação e Controle do Espaço Aéreo e MPE.....	58
5.8.1	<b>Medidas de Coordenação e Controle do Espaço Aéreo (MCCEA).....</b>	<b>58</b>
5.8.2	<b>Medidas de Proteção Eletrônica (MPE).....</b>	<b>58</b>

5.9	Considerações Parciais.....	59
6	<b>ANÁLISE COMPARATIVA</b> .....	61
6.1	Análise Comparativa do Processamento de Sinais e dos Transmissores	61
6.2	Análise comparativa da Antena Primária e Radar Secundário.....	62
6.3	Análise comparativa da Transportabilidade, da Mobilidade e do Gerador	63
6.4	Análise Comparativa Complementar.....	64
6.5	Considerações Parciais.....	65
6	<b>CONCLUSÃO</b> .....	67
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	70

## 1 INTRODUÇÃO

O presente estudo pretende integrar os conceitos básicos e a informação científica relevante e atualizada, a fim de fornecer subsídios para a melhor compreensão de quais foram as evoluções tecnológicas dos radares de busca da Artilharia Antiaérea no Exército Brasileiro, do Equipamento Diretor de Tiro *Fighting Intruders at Low Altitude* (EDT FILA), adquirido na década de 1980, para o Sensor de Acompanhamento de Alvos Aéreos Baseado na Emissão de Radiofrequência (SABER) M60, em operação a partir do final de 2011, e no que essa evolução contribuiu para a capacidade de análise e detecção de alvos.

Com relação à Defesa Antiaérea (DA Ae), o Brasil tem como importante ferramenta os radares da Artilharia Antiaérea (AAAe). Levando-se em consideração a importância da vigilância do espaço aéreo nacional e ao engajamento efetivo e preciso de possíveis vetores aéreos inimigos, tem-se dado cada vez mais importância à evolução tecnológica dos radares, dentre eles os de busca, das unidades de Artilharia Antiaérea do Exército Brasileiro.

Naturalmente, conforme as aeronaves vinham tomando seu espaço no combate houve a necessidade de se desenvolver uma defesa efetiva para esse novo tipo de ameaça. Dentro dessa necessidade surgiu o radar, que possibilitou obter informação antecipada da ameaça aérea e utilizá-la para contrapor-se ao seu ataque.

Dentre esses sistemas de detecção e alarme destaca-se o radar de busca que demonstra sua importância como elo relevante para o engajamento de qualquer ameaça aérea.

Estão em operação, atualmente, na Artilharia Antiaérea do Exército Brasileiro, dois equipamentos que fazem parte do rol dos radares de busca: o radar de busca do Equipamento de Direção de Tiro (EDT) FILA e o Radar SABER M60.

De posse dessas informações, este estudo busca responder a seguinte problematização: a evolução tecnológica do radar de busca do EDT FILA para o SABER M60 aprimorou a capacidade de análise e detecção de alvos da Artilharia Antiaérea do Exército Brasileiro?

E as seguintes questões de estudo:

a. Quais são os tipos de ameaça aérea que esses radares são capazes de detectar?

- b. Quais as capacidades e limitações do Radar de Busca do EDT FILA?
- c. Quais as capacidades e limitações do Radar SABER M60?
- d. Quais os ganhos obtidos na análise e detecção de alvos devido às evoluções tecnológicas do Radar de Busca do EDT FILA para o SABER M60?

Neste sentido, o objetivo geral de estudo consiste em analisar a evolução tecnológica dos radares de busca da Artilharia Antiaérea do Exército Brasileiro, particularmente a do EDT FILA para o SABER M60, e no que essa evolução contribuiu para a capacidade de análise e detecção de alvos. E os objetivos específicos consistem em: apresentar os tipos de ameaça aérea, apresentar os tipos de radares utilizados na Artilharia Antiaérea brasileira, verificar as capacidades e limitações do Radar de Busca do EDT FILA, verificar as capacidades e limitações do Radar SABER M60 e comparar os ganhos obtidos na análise e detecção de alvos devido às evoluções tecnológicas do Radar de Busca do EDT FILA para o SABER M60.

A fim de se alcançar o objetivo geral proposto buscou-se atingir aos objetivos específicos abordando a ameaça aérea que atua na faixa de emprego destes sensores, o princípio de operação e os tipos de radar presentes na Artilharia Antiaérea no Exército Brasileiro, e as características do EDT FILA e do radar SABER M60, suas capacidades e limitações, comparando as deste com as daquele.

Abordando a ameaça aérea procura-se apresentar as características das ameaças aéreas atuais que realizam suas ações no envelope de emprego da baixa altura, bem como suas possibilidades. Procura-se mostrar, sucintamente, essas características no que tange, principalmente, ao tipo de ameaça, sua faixa de emprego, suscetibilidade à detecção por parte dos sensores radar de baixa altura da AAAe e possíveis danos que podem causar a esses radares e à DAAe como um todo.

Procura-se apresentar os tipos de radares presentes na Artilharia Antiaérea brasileira e seus princípios de operação, com a finalidade de facilitar o entendimento sobre alguns aspectos da evolução tecnológica evidenciados nos radares de busca do EDT FILA e SABER M60 e esclarecer em que nicho dos tipos de sensores de detecção os objetos de pesquisa desse trabalho estão inseridos.

Apresenta-se, então, o EDT FILA e o radar SABER M60, com a finalidade de analisar as capacidades e limitações, bem como suas características; para que, através de uma comparação entre ambos, se possa analisar a evolução tecnológica

dos radares de busca da Artilharia Antiaérea no Exército Brasileiro e no que essa evolução contribuiu para a capacidade de análise e detecção de alvos.

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizada a pesquisa bibliográfica em livros, revistas e artigos com o intuito de conseguir o embasamento teórico necessário, posicionando melhor o leitor acerca do tema abordado.

## 2 A AMEAÇA AÉREA

O desfecho dos conflitos atuais tem sido cada vez mais determinado pela ameaça aérea, devido suas possibilidades. “Define-se como ameaça aérea todo vetor aeroespacial cujo emprego esteja dirigido a destruir ou neutralizar objetivos terrestres, marítimos e outros vetores aeroespaciais” (BRASIL, 2011, p. A-1).

A partir da I Guerra Mundial, quando os primeiros aviões passaram a ser empregados intensamente, tornando tridimensional um ambiente até então bidimensional; descobrir formas de se contrapor a estas poderosas superfícies de combate tem desafiado continuamente os especialistas em Defesa Antiaérea, principalmente os relacionados aos subsistemas de Controle e Alerta e aos de Armas Antiaéreas (BRASIL, 2011, p. A-1).

Entretanto, foi na II Guerra Mundial que as aeronaves (Anv) passaram a ser empregadas maciçamente para variados fins. Surgiu, então, uma grande variedade de Anv além dos pequenos caças monomotores, tais como as Anv de transporte e os bombardeiros de longo alcance e grande capacidade de armazenagem de bombas. Durante esse conflito também surgiram as bombas V1 e V2, precursoras dos mísseis balísticos (BRASIL, 2011, p. A-1).

A ameaça aérea continuou sua evolução nas décadas que se seguiram, destacando-se as guerras da Coréia e do Vietnã. “A guerra da Coréia, em 1950, marca definitivamente o uso de Anv a jato em conflitos armados, surgindo também o helicóptero para uso em operações militares.” (BRASIL, 2011, p. A-1).

Dos conflitos das décadas de 1980 e 1990 até os dias atuais, outros atores foram inseridos no “hall” das ameaças aéreas, deixando de ser constituído somente por Anv de Asa Fixa ou Rotativa, passando a ser integrado, também, por Mísseis (Msl) em geral como os Balísticos e os de Cruzeiro, Satélites e Sistema de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARP). Salienta-se, também, a inserção, nesse contexto, de aeronaves que se utilizam de tecnologia furtiva, “*stealth*”, para dificultar sua detecção por radares inimigos; além das aeronaves estarem, cada vez mais, sendo dotadas de modernos armamentos e aviônicos de alta tecnologia (BRASIL, 2011, p. A-1).

Para fins de estudo, serão alvo de observação as ameaças que concentram a maioria de suas ações desenvolvidas na faixa de emprego de baixa altura, ou seja,

na faixa que compreende de 0 a 3000 m de altitude, devido ao tipo de sensor de busca, tratado neste estudo, detectar alvos que utilizam essa faixa de emprego.

## 2.1 Tipos de Aeronave

### 2.1.1 Aeronaves de Asa Fixa

As aeronaves de asa fixa modernizam-se para contrapor-se às, cada vez mais complexas, inovações e evoluções tecnológicas das defesas antiaéreas e de seus sensores e armamentos.

As Anv de asa fixa ou aviões são os mais tradicionais dos vetores Aepc em atividade, como também se constituem na espinha dorsal de qualquer F Ae. Propulsadas por motores a reação ou a hélice, desenvolvem velocidades e alcançam distâncias variadas, de acordo com suas características próprias, ditadas pelo tipo de missão para a qual foram construídas (BRASIL, 2011, p. A-11).

Dentro do proposto pelo estudo, são inúmeros os tipos de aeronave de asa fixa que executam ações na faixa de emprego da baixa altura, tais como as de transporte, de ataque ao solo, de caça, de reconhecimento, de guerra eletrônica e os bombardeiros. Estas aeronaves realizam os mais variados tipos de missão, como as de cobertura, supressão de defesa antiaérea, de reconhecimento, de interferência, operações de ataque a alvos estratégicos em superfície, operações de assalto aeroterrestres, lançando tropas e material, dentre muitas outras possibilidades.

#### 2.1.1.1 Aeronaves de Transporte

São responsáveis pelas missões de transporte de tropas e carga; podem ser classificadas como aeronaves de transporte leves ou pesadas; possuem velocidades de cruzeiro entre 400 e 700 km/h e são muito vulneráveis à Artilharia Antiaérea por serem lentas e possuírem uma grande seção reta radar devido às suas grandes dimensões, tornando-as, de fácil detecção aos radares da Defesa Antiaérea (DA Ae). Tem como exemplo as Anv C-130 Hércules e KC 390 (figura 2.1) (BRASIL, 2011, p. A-11).



Fig 2.1- Embraer KC 390

Fonte: <http://www.defesaeseguranca.com.br> – acesso em 14 Jun 17.

### 2.1.1.2 Bombardeiros

São aeronaves de grande capacidade que podem carregar grande quantidade de bombas e mísseis e possuem a capacidade de percorrer grandes distâncias sem a necessidade de reabastecimento em voo (REVO). Tem como missão principal, executar bombardeios a alvos de natureza estratégica na zona de interior do território inimigo. Utilizam-se da grande e média altura para executar suas ações, porém, devido às evoluções tecnológicas dos radares e do subsistema de armas, viram a necessidade de executar incursões à baixa altura para se furta à DA Ae. Fazem parte desse tipo de Anv os B-52 Stratofortress (figura 2.2) e B-1 (BRASIL, 2011, p. A-12).



Fig 2.2- B-52 Stratofortress.

Fonte: <http://www.bbc.com/news/magazine-33766644>– acesso em 14 Jun 17.

### 2.1.1.3 Aeronaves de Ataque

São aeronaves com dimensões pequenas, de grande mobilidade e velocidade e que possuem como objetivo principal de suas ações realizar ataques contra alvos na superfície. Merecem redobrada atenção das DA Ae por constituírem o principal vetor de ataque ao solo e, por vezes, realizarem missões de supressão de defesa

antiaérea através do emprego de mísseis antirradiação contra seus sensores de busca e detecção. Podem ser movidos à jato, como o A-10 Thunderbolt, ou à turboélices, como o A-29 Supertucano (figura 2.3) (BRASIL, 2011, p. A-12).



Fig 2.3- A-29 Supertucano

Fonte: <http://www.forcasarmadasnews.com.br>– acesso em 14 Jun 17.

#### 2.1.1.4 Aeronaves de Guerra Eletrônica

Geralmente são aeronaves de transporte que sofreram algum tipo de modificação para cumprirem missões do tipo SIGINT (inteligência de Sinal), AWACS e AEW, devido a sua capacidade de carga e autonomia de voo, como o E-99 (figura 2.4) e o E-3 *Centry*. Quando executam missões de Interferência eletrônica, costumam utilizar a plataforma das Anv de caça ou de ataque ao solo, como o EF/A-18 *Super Hornet*, estando a Anv dentro do “pacote” das formações de ataque (*Escort-Jammers*). Utilizam a plataforma das Anv de transporte, ao realizarem missões de interferência estando, a Anv, fora da formação de ataque e fora do envelope de emprego das armas antiaéreas da DA Ae (*Stand-off Jammers*) (BRASIL, 2011, p. A-13).



Fig 2.4 Embraer E-99.

Fonte: <http://www.defesanet.com.br>– acesso em 14 Jun 17.

## 2.1.2 Aeronaves de Asa Rotativa

Os helicópteros ou Anv de asa rotativa, por possuírem velocidade, mobilidade, disponibilidade de armamento, aliados a sua capacidade de surpreender o inimigo, representam uma séria ameaça à Artilharia Antiaérea, bem como à Força Terrestre como um todo.

São vulneráveis às condições meteorológicas e às DA Ae; e, possuem menor raio de ação se comparadas com as Anv de asa fixa. São muito uteis nas missões de reconhecimento e de emboscada. Dividem-se em dois tipos, helicópteros de ataque e helicópteros Utilitários (BRASIL, 2011, p. A-14).

### 2.1.2.1 Helicóptero de Ataque

Os helicópteros de ataque utilizam uma gama de armamentos como canhões, foguetes e metralhadoras; são construídos sob projetos específicos para realizarem missões de combate; geralmente são blindados e de silhueta fina. Pode-se citar como exemplo, a aeronave AH-64 *Apache* (figura 2.5), provada em combate na Guerra do Golfo, Afeganistão e Iraque pelos EUA (BRASIL, 2011, p. A-14).



Fig 2.5- AH-64 Apache.

Fonte: <http://www.centralclubs.com/topic-t99517.html>– acesso em 14 Jun 17.

### 2.1.2.2 Helicóptero Utilitário.

Os Helicópteros Utilitários são projetados para o cumprimento de todo tipo de missão, como transporte, assalto aeromóvel, entre outras. Possuem pouca ou nenhuma blindagem e um campo de visão menor do que os de ataque, entretanto,

podem ser equipados com suportes laterais que abrigam metralhadoras, canhões e foguetes, dando-lhe a capacidade de apoiar, no ataque, as forças terrestres caso não haja helicóptero específico para esse fim. Atua como utilitário, por exemplo, o helicóptero UH-60 *Black Hawk* (figura 2.6) (BRASIL, 2011, p. A-15).



Fig 2.6- UH-60 Black Hawk.

Fonte: <http://lockheedmartin.com>– acesso em 14 Jun 17.

### 2.1.3 Mísseis de Cruzeiro

Estes vetores aéreos possuem a capacidade de realizar um perfil de voo à velocidade e altitude constante. Para alcançar seu objetivo, geralmente alvos fixos de grande importância na Zona de Interior do território inimigo ou à retaguarda do Teatro de Operações, este tipo de míssil utiliza um radar que se orienta pelo terreno através de coordenadas previamente inseridas em seu computador de bordo. A comparação entre as leituras do terreno e as coordenadas armazenadas no computador gera as correções na trajetória e na manutenção da altura de voo (BRASIL, 2011, p. A-15).

Durante todo o trajeto até próximo ao alvo, realiza aproximação rasante, a baixa altura e com alta velocidade. Quando próximo ao objetivo, realiza a técnica de ataque de ângulo de mergulho para atingir o alvo que lhe foi designado. Por essa capacidade de aproximação rápida e furtiva à baixa altura e por apresentar uma seção reta radar pequena, torna-se uma grande ameaça aos meios de detecção das DA Ae. Tem como um de seus mais conhecidos exemplares o míssil *Tomahawk* (figura 2.7), que pode atingir 0,8 Mach de velocidade e procura manter altura constante de 15 m do solo durante sua trajetória de aproximação (BRASIL, 2011, p. A-15).



Fig 2.7- Míssil de Cruzeiro Tomahawk.  
 Fonte: /www.defensetech.org– acesso em 14 Jun 17.

#### 2.1.4 Sistema de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARP)

Os Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARP) tornam-se cada vez mais utilizados em conflito devido à sua grande versatilidade e difícil detecção por parte dos sensores radar das DA Ae dentre outras características.

[...] é uma plataforma de baixo custo operacional que pode ser operada por controle remoto de uma estação de terra (RPV- Remotely Piloted Vehicles) ou executar perfis de voo de forma autônoma (UAV- Unmanned Aerial Vehicles) (MACHADO, 2006, p.30).

São, geralmente, empregados à baixa altura e tem a possibilidade de transportar sensores de natureza diversa, equipamentos de comunicação, designar alvos, executar missões de reconhecimento e fazer uso de armamentos (MACHADO, 2006, p.30).

Bastante utilizado pelas forças armadas norte-americanas nas Guerras do Golfo para reconhecimento, vigilância e busca de alvos; foi no conflito do Afeganistão que provou sua eficiência como arma letal, pois “[...] os Estados Unidos da América (EUA) utilizaram o PREDATOR RQ-1 como plataforma de lançamento dos mísseis HELLFIRE no ataque contra alvos em superfície.” (MACHADO, 2006, p.31).

O SARP (Figura 2.8) transforma-se cada vez mais em uma possível ameaça e em um grande desafio para a Artilharia Antiaérea, tendo em vista suas possibilidades de utilização, principalmente como vetor de ataque. Suas características como plataforma de voo, tal qual seu emprego à baixa altura, aliado a sua pequena seção reta radar, devido à suas diminutas proporções, dificulta muito sua detecção.



Fig 2.8- SARP Predator RQ-1 equipado com míssil Hellfire.  
 Fonte: <http://defensesystems.com>– acesso em 14 Jun 17.

## 2.2 Possibilidades da Ameaça Aérea

A moderna ameaça aérea tem como característica a possibilidade de efetuar uma gama cada vez maior de missões, utilizando-se de uma grande diversidade de armamentos e equipamentos que a habilita a, cada vez mais, furtar-se aos meios de detecção das DA Ae, dificultar ou impossibilitar seu correto funcionamento e até mesmo destruí-lo utilizando-se de sua própria emissão de radiofrequência (BRASIL, 2011).

O emprego da Arma Aérea (A Ae) possibilita ao oponente:

- a) o Ataque (Atq) a diversos alvos simultaneamente, empregando um número variável de Aeronaves (Anv) e de outros engenhos Aeroespaciais (Aepc), como satélites, mísseis (Msl), entre outros;
- b) a surpresa no Atq, exigindo um tempo de resposta extremamente curto;
- c) o emprego de várias táticas de Atq, usando armamento e munição diversificados, como metralhadoras, Canhões (Can), Foguetes (Fgt), Msl, bombas e outros;
- d) a utilização de plataformas Aepc como meio de Inteligência (Intlg) e Contra-Inteligência (C Intlg);
- e) o emprego de variadas táticas e técnicas de Guerra Eletrônica (GE) (BRASIL, 2011, p.1-1).

Tendo em vista os objetivos deste estudo, salientam-se as possibilidades da ameaça aérea que mais influenciam nos radares das DA Ae e que imprimem a necessidade de evoluções tecnológicas desses sensores. Quais sejam:

a) Surpresa: a ameaça Aérea vem adotando, cada vez mais, táticas de aproximação à baixa altura e o emprego de guerra eletrônica, tentando se furtar ao máximo dos sistemas de detecção das DA Ae (BRASIL, 2011, p. A-7).

b) Emprego de Medidas de Ataque Eletrônico (MAE): amplamente utilizada nos conflitos atuais, as ações de MAE visam interferir no correto funcionamento dos radares das DA Ae através de Anv “escort-jammer” e “Stand-off Jammer”, que possuem interferidores potentes como equipamentos de dotação, e

ANV que carregam mísseis Antirradiação, que são guiados pela emissão de radiofrequência do radar até atingi-lo; realizando assim, missões de Supressão de DA Ae (BRASIL, 2011).

A moderna Ameaça Aérea possui dispositivos para contrapor-se a detecção por radar e procurar furtar-se a ela, como *Chaff* e RWR (*Radar Warning Receiver*) (BRASIL, 2011).

c) Diversidade de Vetores Aeroespaciais: permite maior versatilidade no cumprimento de missões aéreas devido à variação dos vetores aéreos que vão desde satélites artificiais aos SARP (BRASIL, 2011, p. A-7).

d) Uso de Aviônicos Sofisticados: permite que as modernas aeronaves, que possuem equipamentos sofisticados para navegação e ataque, realizem missões em quaisquer situações meteorológicas e condições de visibilidade, incluindo missões noturnas (BRASIL, 2011, p. A-8).

e) Uso de novas tecnologias: há a necessidade do estudo constante das evoluções tecnológicas das Anv para que a AAAe não seja surpreendida. Deve-se dar atenção às evoluções dos sensores ativos como radar e LASER de Alto desempenho, sensores passivos como LWR, RWR e FLIR, tecnologias de energia dirigida e tecnologia “*Stealth*” (BRASIL, 2011, p. A-8).

Esta tecnologia furtiva, “*Stealth*”, reduz significativamente a seção reta radar da Anv, dificultando, e muitas vezes, impedindo a detecção da mesma pelos sensores de busca das DA Ae. Tem como um dos exemplos mais modernos a Anv norte-americana F-35 *Lightning* (Fig 2.9) (BRASIL, 2011, p. A-8).



Fig 2.9- F-35 Lightning.

Fonte: <http://www.dailytech.com> – acesso em 14 Jun 17.

### 2.3 Considerações Parciais

Neste capítulo foram apresentadas as características das ameaças aéreas atuais que realizam suas ações no envelope de emprego da baixa altura, bem como suas possibilidades. Procurou-se mostrar, sucintamente, essas características no que tange, principalmente, ao tipo de ameaça, sua faixa de emprego, suscetibilidade à detecção por parte dos sensores radar de baixa altura da AAAe e possíveis danos que podem causar a esses radares e à DA Ae como um todo.

Sendo assim, verifica-se que, cada vez mais, há uma evolução tecnológica e tática do vetor aéreo, que utiliza a faixa de emprego de baixa altura, para contrapor-se aos radares de busca que procuram detectar ameaças nessa faixa; e que obriga a estes sensores que se modernizem e evoluam também.

### 3 PRINCIPIOS DE OPERAÇÃO E TIPOS DE RADAR.

#### 3.1 Definição

O **Radar** é um **dispositivo eletrônico** que utiliza **ondas de rádio** para **detecção e locação de objetos**, permitindo o reconhecimento de algumas de suas características (BRASIL, 2014, p. 4-12).

“A palavra **RADAR** corresponde à sigla retirada das palavras **RADIO DETECTION AND RANGING** (detecção e medida de distâncias por ondas de rádio) criada pela Marinha americana” (BRASIL 2014, p. 4-12). O radar caracteriza-se por transmitir um tipo particular de onda eletromagnética e detectar a natureza do sinal do “eco”. Sua finalidade é dar a capacidade de observar muito além do que nossos sentidos são capazes, principalmente o da visão; além de propiciar medir a distância dos objetos que estão sendo detectados.

O valor do radar não está em substituir os olhos, pois ele não reconhece detalhes do objeto, como a cor. Seu valor reside no fato de “ver” através de condições meteorológicas adversas, como neblina, escuridão ou nevoeiro. Em adição, o radar tem a vantagem de ser capaz de medir a distância do objeto. Este é, provavelmente, seu atributo mais importante. Os maiores usuários e contribuintes do desenvolvimento do radar são os militares. Entretanto têm crescido cada vez mais suas aplicações civis; o radar tem hoje vasto emprego (BRASIL, 2014, p. 4-12).

Além de seu emprego militar, o radar é utilizado para muitos outros fins, tais como para o controle e direção de tiro, para o controle de tráfego aéreo, controle de velocidade, meteorologia, astronomia, navegação, dentre outros.

#### 3.2 Histórico

Embora o desenvolvimento do radar como equipamento tecnológico completo não tenha ocorrido até a Segunda Guerra Mundial, o princípio básico de detecção do radar é tão antigo como o do eletromagnetismo. Entre os anos de 1885 e 1888, o físico alemão **Heinrich Rudolph Hertz** demonstrou pela primeira vez o fenômeno da reflexão das ondas eletromagnéticas em corpos metálicos e dielétricos (não-metálicos) (BRASIL, 2014, p. 4-1).

A partir do fim do Século XIX, o princípio de funcionamento dos radares, utilização da reflexão das ondas eletromagnéticas para medir distâncias, vem sendo estudado. O físico alemão Hertz utilizou um equipamento similar a um radar pulsado, com frequências próximas a 455 MHz para demonstrar esse princípio de reflexão em corpos metálicos e dielétricos.

“Em agosto de 1917, o matemático, físico e engenheiro elétrico sérvio Nikola Tesla propôs princípios a respeito das frequências e dos níveis de potência para possibilitar o desenvolvimento das primeiras unidades de Radar” (BRASIL, 2014, p. 4-1). Este físico foi pioneiro ao afirmar ser possível determinar a posição, a distância e a velocidade de um alvo em relação a um ponto através da emissão intencional de ondas eletromagnéticas; neste caso, o ponto foi uma estação de transmissão (BRASIL, 2014, p. 4-1).

O primeiro Radar concebido com a finalidade de detectar aeronaves foi desenvolvido, em 1930 por Lawrence A. “Pat” Hyland e L.C. Young. Em 1937 foi desenvolvido o “*Chain Home*”, sistema de alerta antecipado composto por 20 radares posicionados nas costas Leste e Sudeste da Inglaterra para contrapor-se ao grande poder aéreo alemão e possibilitar tempo aos ingleses para preparar a defesa adequada e proteger sua população contra bombardeios em massa (BRASIL, 2014, p. 4-1). Esse sistema possuía as seguintes características:

Os radares da Chain Home eram biestáticos (uma antena para transmissão e outra para recepção) e trabalhavam na faixa de frequência de 20 a 30 MHz com 350 KW de potência. Suas antenas eram “cortinas” de dipolos e ficavam no alto de grandes torres” (BRASIL, 2014, p. 4-4).

A Segunda Guerra Mundial foi a responsável pela grande impulsão no desenvolvimento dos radares através da modernização das Válvulas Magnetrons, da invenção dos Refletores Parabólicos, Duplexeres e, para que fosse possível a criação dos radares de micro-ondas, o desenvolvimento do guia de ondas e da Válvula Klystron. Todas essas inovações, advindas das necessidades e imposições do combate, tornaram a Segunda Guerra Mundial marco importante para o início do desenvolvimento tecnológico dos radares (BRASIL, 2014).

No período da Guerra Fria, logo após o fim da Segunda Guerra Mundial, os radares continuaram sua evolução tecnológica. Na Guerra do Vietnã, por exemplo, os radares vietnamitas estavam associados a mísseis teleguiados do tipo SAM (Mísseis Superfície-Ar), tornando-se uma ameaça antiaérea real às aeronaves norte-americanas; o que forçava os norte-americanos a desenvolver mísseis antirradiação para contrapor-se ao sistema antiaéreo vietnamita (BRASIL, 2014, p. 4-10).

Estes mísseis antirradiação “são armas capazes de navegar com alta precisão em direção a um radar, guiados pela radiação emitida pelo mesmo” (BRASIL EB60-ME-23.020, 2014, p. 3-3).

Nas duas Guerras do Golfo, entre 1991 e 2003, o conceito de supressão de defesa aérea inimiga foi largamente utilizado, que consiste em:

Supressão de Defesa Aérea é a missão Aérea destinada a destruir, neutralizar ou degradar a capacidade de defesa aérea e de C<sup>2</sup> (Cmdo e Ct) inimigo, em determinada área e por um período de tempo, usando energia eletromagnética ou armamento que empregue a emissão intencional do alvo para o seu guiamento (utilização de mísseis antirradiação) (BRASIL, EB60-ME-23.020, 2014, p. 1-30).

Nos dias atuais, chega-se a nova tendência de evolução tecnológica dos sensores de detecção e busca de alvos, os radares LPI (Low Probability of Interception), que tem como objetivo contrapor-se a cada vez mais crescente utilização dos meios de guerra eletrônica em combate, especialmente aos mísseis antirradiação (BRASIL, 2014, p. 4-11).

Nota-se, logo, que a evolução dos radares no decorrer da história, procura nortear-se pela busca em fazer frente às evoluções do perfil de utilização dos vetores aéreos e suas táticas e técnicas de ataque e aproximação, tornando-se cada vez mais importante, a busca pela evolução das capacidades de seus sensores radares à medida que as aeronaves, seus equipamentos e armamentos vão evoluindo também.

### 3.3 Princípios de Operação

O princípio de funcionamento do radar (figura 3.1) consiste na reflexão das ondas de rádio ao encontrarem um objeto qualquer. O radar utiliza ondas eletromagnéticas de elevada frequência que se propagam com velocidade constante, cerca de 300.000 km/seg; estas são refletidas pelos objetos e retornam com intensidade reduzida, “ecos”, mas capazes, ainda, de serem captadas, mesmo o alvo estando localizado a grandes distâncias (BRASIL, 2014, p. 4-14).

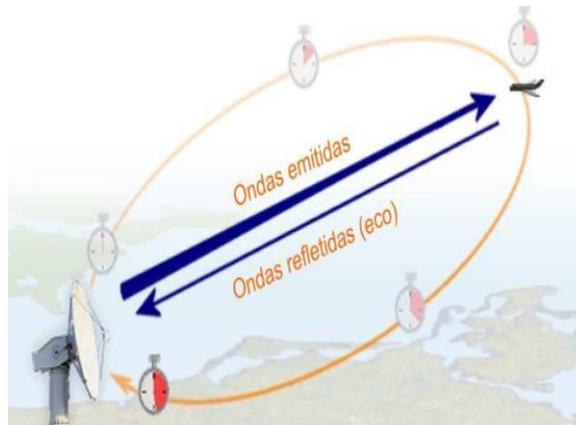


Fig 3.1 – Princípio de funcionamento do radar

Fonte: EB60-ME-23.014 Manual de Ensino Princípios Básicos de Radar, p. 4-14.

Com relação ao funcionamento do conjunto de componentes que formam o radar (figura 3.2), na transmissão uma antena direcional envia ao espaço um pulso de ondas eletromagnéticas de alta potência, frequência e de intervalo constante que é gerado por um transmissor.

Ao se chocarem com um objeto, essas ondas eletromagnéticas retornam em forma de eco até a antena; esta capta a informação transportada pelo eco e direciona para o receptor. Por sua vez, o receptor amplifica o sinal proveniente do eco, pois chega ao mesmo com intensidade muito pequena, e o decodifica, obtendo, portanto, os elementos necessários para sua localização. Então, estes elementos são transformados em dados e demonstrados em um display (Conceição 2009 apud Trevilato 2013, p. 23).



Fig 3.2 – Estação Radar

Fonte: Conceição (2009) apud Trevilato (2013)

Os radares são classificados em duas grandes categorias básicas, os de onda contínua (CW) e os pulsados. Para entender como os radares conseguem determinar alcance, azimute, sítio e velocidade dos alvos se deve compreender os métodos de transmissão e medidas de tempo utilizadas por essas categorias.

### 3.3.1 Radares de onda contínua

Os radares de onda contínua (CW) trabalham com transmissores que operam continuamente e que transmitem ondas eletromagnéticas de baixa amplitude e de longa duração. Nesse tipo de radar são empregadas duas antenas, uma para recepção e outra para transmissão; pois a antena ligada ao transmissor envia ondas eletromagnéticas continuamente, impedindo que seja utilizada para recepção (BRASIL, 2014, p. 5-1). Tem-se como exemplo os radares Doppler e os radares FMCW.

Nos radares Doppler básicos, o transmissor opera continuamente em uma dada frequência, obtendo apenas a velocidade relativa do alvo. A detecção dos alvos é feita usando-se o “efeito Doppler”. A energia eletromagnética é afetada pelo deslocamento do alvo, proporcionalmente à sua componente de aproximação ou afastamento (BRASIL, 2014, p. 5-1).

Observa-se, então, que nesse tipo de radar a frequência do sinal refletido é comparada com a do sinal transmitido e, a partir dessa comparação, dá-se a velocidade relativa do alvo. Logo, se o alvo acompanhado estiver parado, ou em velocidade radial nula em relação ao radar, o mesmo não é capaz de detectá-lo, pois não haverá diferença de frequência entre a onda emitida e a recebida pelo mesmo (BRASIL, 2014, p. 5-2).

Militarmente, esses radares possuem muitas utilidades. Na AAAe, suas principais funções são auxiliar no melhoramento da solução de tiro, equipar espoletas de proximidade em mísseis e servir como designador de alvos para sistemas que se utilizam de guiamento semiativo, conforme citado abaixo:

A principal utilidade destes radares (que empregam princípios Doppler) é quando necessitamos saber justamente a velocidade do alvo sem usar nenhum contato físico (tal qual é utilizado pelas polícias rodoviárias e em várias outras aplicações). Militarmente, estes radares são empregados em conjunto com espoletas de proximidade em granadas de artilharia e mísseis, além servir de designador de alvos para armamentos de guiagem semiativa, como alguns mísseis. Também são usados em conjunto com radares pulsados de direção de tiro, como auxiliar na medição e predição do deslocamento do alvo, melhorando a solução de tiro (BRASIL, 2014, p. 5-3).

Ainda sobre os radares de onda contínua, podem-se citar os radares FMCW (onda contínua modulada em frequência) que diferem dos radares CW pelo fato de possuírem modulação em frequência, o que permite aos mesmos, além de medir a velocidade, calcular a distância para alvos em movimento ou estacionários (BRASIL, 2014, p. 5-3).

### 3.3.2 Radares Pulsados

Os radares mais utilizados em sistemas de busca, detecção, acompanhamento e direção de tiro são os radares pulsados. Estes buscam detectar alvos de diversas formas e natureza emitindo pulsos periódicos de curta duração, da ordem de microssegundos ( $\mu\text{s}$ ). Estes pulsos, após transmitidos, percorrerão a distância até o alvo, irão refletir e voltarão para a antena do radar em forma de ecos (BRASIL, 2014, p. 5-5).

Logo, considerando que a onda de rádio emitida pelo radar possui velocidade constante ( $300\text{m}/\mu\text{s}$ ) em seu deslocamento e sabendo-se o tempo que o pulso leva para ir e retornar de determinado alvo, pode-se medir, então, a distância que esse alvo está do radar (BRASIL, 2014, p. 5-6).

Por não depender da frequência do sinal refletido, nem do movimento do alvo, dificuldades que existem ao se utilizar os métodos de FMCW e CW, o radar pulsado é o mais utilizado em sistemas radar para usos militares.

Dentre os radares de busca da AAAe brasileira que utilizam o princípio de funcionamento dos radares pulsados, está o radar de busca do EDT FILA e o radar SABER M60, objetos de estudo dessa pesquisa.

### 3.3.3 Radares Secundários

Também conhecidos como sistema IFF (*Identification Friend Or Foe* - identificação amigo ou inimigo), os radares secundários são equipamentos de identificação e recepção de dados enviados pelo *transponder* de uma aeronave. O IFF interroga a aeronave detectada através de uma frequência fixa (1030 MHz), devendo a mesma responder às interrogações através da emissão de pulsos na frequência (1090 MHz), que serão captados pelo radar. Caso a aeronave responda a esse questionamento, deixará de ser um alvo desconhecido, melhorando a atuação do radar

primário. Logo, não haverá somente uma simples reflexão do eco gerado pelo alvo, mas sim uma resposta ativa proveniente do mesmo que poderá ser considerado amigo ou inimigo (BRASIL, 2014, p. 10-8).

Os radares secundários podem operar utilizando códigos com características específicas, que são chamados de modos de IFF, sendo os principais:

Modo 1 - controle e identificação de tráfego aéreo - militar  
 Modo 2 - uso estratégico - militar  
 Modo 3/A - controle e identificação de tráfego aéreo - militar e civil  
 Modo C - transmissão automática da altura da aeronave  
 Modo 4 - controle e identificação de tráfego aéreo militar com a utilização de chave criptográfica para autenticação  
 Modo S - modo de interrogação seletivo. O transponder modo S ignora interrogações não endereçadas com seu código identificador, o que reduz a saturação no canal (BRASIL, 2014, p. 10-9).

Os modos de IFF citados acima podem ser interrogados simultaneamente utilizando o entrelaçamento dos modos de interrogação para que obtenham o maior número possível de informações sobre a aeronave que o radar está iluminando (BRASIL, 2014, p. 10-9).

### 3.3.4 Bandas de operação

Os radares podem ser utilizados para diferentes finalidades, existindo, assim, um sensor apropriado que opera conforme a banda (faixa de frequência) específica que melhor supre suas necessidades, como pode ser visto no quadro a seguir:

Designação	Faixa Nominal de Frequência	Aplicação Radar
HF	3 MHz – 30 MHz	Primeiros radares britânicos antes da II GM com alcance de até 200 milhas; grandes desvantagens para aplicação radar; ondas eletromagnéticas nas frequências de HF têm a importante propriedade de serem refratadas na ionosfera, retornando à superfície a distâncias entre 500 e 2.000 milhas náuticas (NM), dependendo das condições, permitindo a utilização de radares “ <i>over the horizon</i> ” (OTH).
VHF	30 MHz – 300 MHz	Maioria dos radares desenvolvidos na década de 30; boa faixa de frequência para radares de baixo custo e de longo alcance; nesta faixa, teoricamente, é difícil reduzir a “ <i>radar cross section</i> ” (RCS) da maioria dos alvos aéreos; entretanto, as vantagens não compensam as desvantagens e existem poucas aplicações radar em VHF.
UHF	300 MHz – 1000 MHz	Mesmos problemas da faixa VHF; entretanto, o ruído externo natural é menos problemático e as larguras de feixe são mais estreitas; boa opção para radares de vigilância de longo alcance, especialmente contra alvos como mísseis balísticos; ajusta-se bem numa “ <i>airborne early warning</i> ” (AEW).

Designação	Faixa Nominal de Frequência	Aplicação Radar
L	1 GHz – 2GHz	Esta é a faixa preferida para aplicação de vigilância em longa distância, como radares de rota com 200 NM de alcance; é possível obter boa performance na função “ <i>moving target indicator</i> ” (MTI) e obter alta potência com antenas faixa estreita; ruído externo é baixo; radares militares 3D podem ser encontrados tanto nesta faixa quanto na banda S; também utilizada para detecção de alvos espaciais a longa distância (mísseis balísticos, por exemplo).
S	2 GHz – 4 GHz	Radares de Vigilância aérea podem ter longo alcance nesta faixa; as velocidades cegas que ocorrem na função MTI são maiores na medida em que sobe a frequência; o eco da chuva pode reduzir significativamente o alcance de radares na banda S, entretanto, é a banda de frequência preferida para radares meteorológicos que precisam fazer estimativas das taxas de precipitação; é também uma boa faixa para radares de terminais de aproximação; a largura de feixe mais estreita proporcionam boa resolução angular; <b>nesta faixa encontram-se radares militares 3D</b> ; radares altímetros e radares pulso-Doppler de vigilância embarcada; <b>geralmente, frequências abaixo da faixa S são melhores para vigilância e acima para aquisição de informação, tais como acompanhamento de precisão de alvos individuais</b> ; se uma frequência única deve ser escolhida tanto para vigilância aérea quanto para rastreamento de precisão, como em sistemas de defesa aérea militares, a banda S oferece uma boa relação de compromisso.
C	4 GHz – 8 GHz	Solução intermediária entre as faixas S e X; nesta faixa encontram-se radares de precisão de longa distância para acompanhamento de mísseis; também utilizada para radares de defesa aérea “ <i>phased array</i> ” multifuncionais e em radares meteorológicos de médio alcance.
X	8 GHz – 12 GHz	Esta é uma faixa popular para radares militares para controle de armas (rastreamento) e outras aplicações civis; navegação marítima; aplicações meteorológicas, navegação Doppler e radares de velocidade policiais são utilitários dessa faixa de frequência; radares dessa faixa são geralmente de tamanho conveniente e, portanto, oferecem vantagens quanto à mobilidade e o peso, quando não há necessidade de grande alcance; a faixa larga disponível permite a construção de radares de alta definição e a geração de pulsos curtos e feixes estreitos que podem ser obtidos com antenas bem pequenas; entretanto radares de banda X são bastante debilitados na presença de chuva.

Designação	Faixa Nominal de Frequência	Aplicação Radar
Ku	12 GHz – 18 GHz	Os primeiros radares da banda K desenvolvidos na II Guerra Mundial tinham comprimento de onda de 1,25 cm (24 GHz); esta escolha provou ser pobre, pois é muito próxima à frequência de resistência do vapor d'água (22,2 GHz), onde a absorção pode reduzir o alcance do radar; as aplicações nessa faixa são raras devido aos problemas de propagação; os radares para detecção de movimentos de superfície em aeroportos, para localização e controle de tráfegos no solo, estão na banda Ku, pela necessidade de alta resolução; as desvantagens nesse caso não são importantes devido ao curto alcance requerido.
K	18 GHz – 27 GHz	
Ka	27 GHz – 40 GHz	

Quadro 1 - Divisão por bandas do espectro eletromagnético nas aplicações radar.  
Fonte: BRASIL (2006) apud Trevilato (2013).

Torna-se importante para entender o quadro acima, conhecer as bandas de radar, conforme demonstrado no Quadro 2:

TIPO DO RADAR	BANDA	ANTIGA CLASSIFICAÇÃO	FREQUÊNCIA (GHz)
VHF	A	-	0,1 - 0,25
UHF	B	-	0,2 - 0,5
	C	-	0,5 - 1,0
MICROONDA S	D	L	1,0 - 2,0
	E	S	2,0 - 3,0
	F		3,0 - 4,0
	G	C	4,0 - 6,0
	H		6,0 - 8,0
	I	X	<b>8,0 - 10,0</b>
	J	Ku	10,0 - 20,0
	K	K	20,0 - 40,0
	L	Ka	40,0 - 60,0
	M	-	60,0 - 100,0

Quadro 2 – Bandas de Radar  
Fonte: EB60-ME-23.014 Manual de Ensino Princípios Básicos de Radar, p. 6-3.

### 3.4 Tipos de Radar

Na Artilharia Antiaérea os radares são divididos em 3 grupos: os radares de vigilância, os radares de busca e os radares de tiro.

### 3.4.1 Radar de Vigilância

O radar de vigilância “Tem por finalidade detectar qualquer incursão que ingresse no volume de espaço, de uma defesa, sob a responsabilidade de um centro de controle, de modo que este possa fornecer o alerta com a devida antecedência” (BRASIL, 2014, p. 4-15). Não necessitando fornecer dados com muita precisão, pois não controla diretamente um sistema de armas.

Para cumprir a finalidade a que se destina e detectar alvos a grandes distâncias, este tipo de radar deve possuir a capacidade de transmitir grande quantidade de potência, operando em frequências relativamente baixas, geralmente na banda D (1 a 2 GHz), banda E/F (3 GHz), ou ainda mais baixas (em torno de 200 MHz ou 400 MHz); evitando, assim, perdas com a absorção atmosférica (BRASIL, 2001). Pode-se citar como exemplo desse tipo de radar, o radar GIRAFFE 75 (figura 3.3).



Fig 3.3 – Radar GIRAFFE 75

Fonte: <http://www.army-technology.com> - acesso em 11 Jul 17

### 3.4.2 Radar de Busca

O radar de busca é “[...] integrado a um sistema de armas, a fim de detectar qualquer incursão que ingresse no volume do espaço de uma defesa, propiciando seu engajamento em tempo útil. Fornece dados mais precisos que os Radares de Vigilância” (BRASIL, 2014, p. 4-15).

Este tipo de radar integra um sistema de armas a fim de direcionar o radar de tiro, ou o atirador, no caso de mísseis, para o setor de aproximação do alvo. Tem-se como exemplo desse tipo de radar, o radar SABER M60 e o radar de busca do EDT FILA (figura 3.4), objetos da presente pesquisa, os quais serão estudados com mais profundidade nos capítulos seguintes.



Fig 3.4 – EDT Fila, à esquerda, e radar SABER M60, à direita.  
 Fonte: EB60-ME-23.014 Manual de Ensino Princípios Básicos de Radar, p. 4-16.

### 3.4.3 Radar de Tiro.

O radar de tiro “acompanha um determinado vetor hostil, com a finalidade de fornecer elementos precisos para o ataque ao referido vetor. Fornece dados com muita precisão” (BRASIL, 2014, p. 4-17). Este tipo de radar fornece dados contínuos e atualizados sobre um determinado alvo, detectado, geralmente, por um radar de busca, para um sistema de armas a fim de que este o engaje de maneira mais eficaz.

Pode transmitir dados como distância, direção, elevação e velocidade do alvo a que se está direcionando o sistema de armas. Possui a capacidade de acompanhamento do alvo, ou “*tracking*”, que consiste na capacidade do radar de manter atualizado o sistema de armas com uma alta razão de dados por unidade de tempo (BRASIL, 2001). Como exemplo desse tipo de radar, tem-se o radar de tiro do EDT FILA, figura anterior.

### 3.5 Considerações Parciais

Neste capítulo foram apresentados os tipos de radares presentes na Artilharia Antiaérea brasileira e seus princípios de operação com a finalidade de facilitar o entendimento sobre alguns aspectos da evolução tecnológica evidenciados nos radares de busca do EDT FILA e SABER M60, que serão abordados nos capítulos posteriores.

Através de um breve histórico, mostrou-se a necessidade da evolução dos radares para contrapor-se à constante modernização dos vetores aéreos e evolução de suas táticas e armamentos.

O princípio de operação dos radares foi exposto através da abordagem sucinta da sua composição básica, de seu princípio de funcionamento, da sua classificação, dando ênfase ao radar pulsado, das faixas de frequência e suas bandas de operação.

Então, os tipos de radar presentes na AAAe brasileira foram abordados enfatizando os radares de busca e suas especificidades.

Sendo assim, apresentaram-se os princípios de operação e funcionamento dos radares a fim de esclarecer em que nicho dos tipos de sensores de detecção os objetos de pesquisa desse trabalho estão inseridos: radares pulsados e do tipo busca.

#### **4 O EQUIPAMENTO DIRETOR DE TIRO *FIGHTING INTRUDERS AT LOW ALTITUDE* (EDT FILA)**

O Exército Brasileiro adquiriu, na década de 1980, treze Equipamentos Diretores de Tiro (EDT) FILA (*Fighting Intruders at Low Altitude* - Atacante de Invasores à Baixa Altura), uma versão brasileira do sistema sueco SKYGUARD, produzida no país pela AVIBRÁS (BARROSO, 2007, p.38).

O EDT FILA é um equipamento móvel, possuidor de um tempo de reação baixo e grande precisão nos cálculos dos elementos de tiro. É integrado ao sistema de armas, tornando-o perfeitamente adequado para o combate a ameaças aéreas voando à baixa altura e com alta manobrabilidade (De CAMPOS, 2010, p.56).

Sua associação com os canhões 40 mm C/70 BOFORS, formando o sistema antiaéreo 40 mm FILA-BOFORS significou uma grande evolução tecnológica e operacional ao material da Artilharia Antiaérea do Exército Brasileiro (De CAMPOS, 2010, p.56).

##### **4.1 Características Gerais**

O EDT FILA tem a “possibilidade de comandar até 3 (três) Canhões (Can) 40 milímetros (mm) C/70 BOFORS ou 35 mm OERLIKON, e um lançador de Mísseis Solo-Ar” (EsACosAAe, 2002, p. 30-1).

Sua Seção (figura 4.1), caracterizada por também ser sua Unidade de Tiro (U Tir), é composta por dois canhões Automáticos Antiaéreos Auto Rebocados 40 mm C/70 e um EDT FILA, de acordo com a configuração adotada pelo Exército Brasileiro (BRASIL, 2003, p. 1-2).

A U Tir é a menor fração de Artilharia Antiaérea capaz de, por seus próprios meios, detectar, identificar, apreender, acompanhar e destruir uma incursão aérea (BRASIL, 2003, p. 1-2).

Sua unidade de emprego mínima para a defesa de um ponto sensível é a Bateria, sendo composta por três seções.

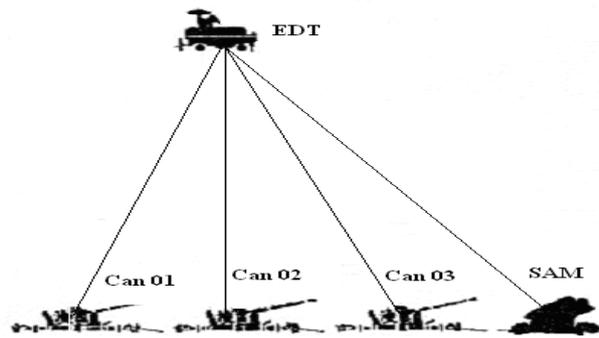
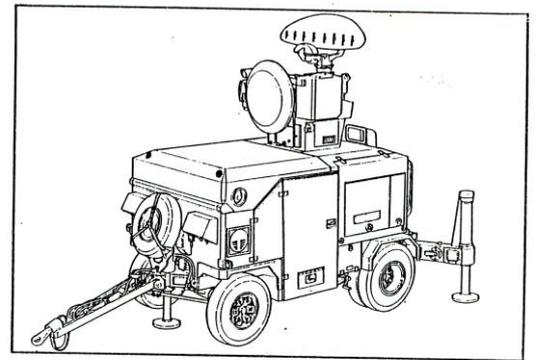
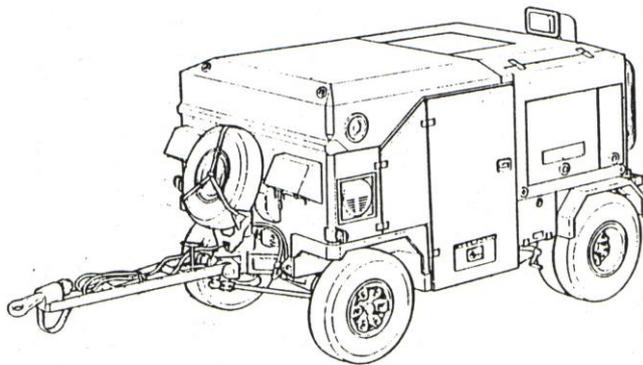


Fig 4.1 – Seção AAAe de baixa altura

Fonte: ME B-2 Manual Escolar Descrição e Funcionamento EDT FILA, p. 30-7.

O EDT FILA (figura 4.2) possui a capacidade de operar sob condições meteorológicas adversas. Pode ser transportado por meios terrestres, aquáticos ou aéreos. É capaz de entrar e sair de posição rapidamente. Realiza, simultaneamente, a busca e o acompanhamento de alvos; podendo realizar, com restrições, a vigilância do espaço aéreo. Seu tempo de reação é reduzido, possui alta precisão no comando dos canhões e tecnologia compatível para contrapor-se às modernas ameaças aéreas. Possui, ainda, Medidas de Proteção Eletrônicas (MPE) eficientes, um sistema de supervisão e testes automáticos para a indicação de panes e um simulador embutido para treinamento da guarnição (EsACosAAe, 2002, p. 30-2).



*Figura 1-2. EDT-FILA NA POSIÇÃO DE OPERAÇÃO*

Fig 4.2 – EDT Fila em posição de marcha, à esquerda, e EDT Fila em posição de operação, à direita.

Fonte: ME B-2 Manual Escolar Descrição e Funcionamento EDT FILA, p. 30-1.

“O EDT FILA, apesar de se apresentar como um equipamento integrado em uma única unidade, é composto de sistemas inter-relacionados e interdependentes que operam em conjunto. Didaticamente, podemos dividir o EDT em 12 sistemas básicos.” (EsACosAAe, 2002, p. 30-9); quais sejam: reboque, sistema de geração de energia (conversor estático e grupo gerador), sistema hidráulico, sistema de distribuição de energia, sistema de ventilação e ar condicionado, sistema de

transmissão de dados, computador, intercomunicador, extrator de dados do radar de busca, sistema de radar, sistema de acompanhamento, sistema IFF e sistema optrônico (AOA, LASER, INFRAVERMELHO, TV) (EsACosAAe, 2002, p. 30-11).

Tendo em vista o objetivo deste trabalho, serão abordados com mais profundidade, nos próximos subcapítulos, o sistema radar e o extrator de dados do radar de busca, além de outras características que evidenciem capacidades e limitações do material.

## 4.2 Sistema RADAR

O sistema radar do EDT FILA “destina-se a realizar a busca, localização e o acompanhamento de vetores aéreos, enviando ao computador os dados de posicionamento desses vetores. É ele que permite ao EDT operar em qualquer tempo.” (EsACosAAe, 2002, p. 30-10). Para isso, o sistema é composto por dois subsistemas distintos, que “operam em duas diferentes faixas de frequência, configurando o subsistema da banda I (8,6 a 9,5 GHz) e subsistema da banda K (34,0 a 34,5 GHz)” (EsACosAAe, 2002, p. 30-10).

O subsistema da banda I é composto por um radar operando na banda I (8.6 –9.5 GHz) combinando, simultaneamente, as funções de busca e acompanhamento. Pode-se dizer, então, que o subsistema é composto pelo radar de busca e pelo radar de acompanhamento, pois utiliza um transmissor que divide a potência entre ambos os radares, um receptor que possui dois canais distintos (um para busca e outro para acompanhamento) e uma unidade de processamento de sinais (EsACosAAe 2002, p. 39-1).

O subsistema da banda K é composto por um radar de acompanhamento que opera na banda K (34,0-34,5 GHz). Seu objetivo é “complementar a função de acompanhamento do radar de banda I, particularmente quanto à capacidade e precisão no acompanhamento de alvos a baixa altura, supressão de ecos fixos e características de MPE.” (EsACosAAe, 2002, p. 39-3).

Os radares de banda K e I compartilham a mesma antena de acompanhamento e unidade de micro-ondas, porém não compartilham a mesma antena de busca.

A fim de esclarecer melhor como funcionam em conjunto esses dois subsistemas, será apresentado abaixo um subcapítulo a cerca do funcionamento sumário do sistema radar do EDT FILA.

#### 4.2.1 Funcionamento Sumário

Estando o EDT em seu funcionamento normal, o radar de busca da banda I monitorará constantemente, em um raio de 300m a 20240m, o espaço aéreo em torno do equipamento. Então, ao ser detectado um vetor aéreo, seu sinal será processado e apresentado na tela PPI (BRASIL, 2003, P. 4-2).

Após um alvo ser designado, o radar de acompanhamento da banda I inicia, automaticamente, a busca pelos dados precisos do alvo (direção, sítio e distância inclinada), voltando sua antena para o mesmo. Sendo obtidos esses dados, o radar de acompanhamento desta banda, inicia o acompanhamento 3D (BRASIL, 2003, P. 4-2).

O radar de acompanhamento da banda K assume, automaticamente, o acompanhamento 3D tão logo o alvo ocupe posição central no lóbulo do radar de acompanhamento da banda I (BRASIL, 2003, P. 4-3).

Caso, durante o acompanhamento, o radar da banda K perca o alvo, o radar de acompanhamento da banda I assume a função até que o alvo retorne novamente ao centro do lóbulo. Isso é possível devido às antenas de acompanhamento dos dois radares serem sobrepostas, o que as faz irradiar as ondas eletromagnéticas num mesmo eixo e direção (BRASIL, 2003, P. 4-3).

Pode-se exemplificar esse processo por meio da figura abaixo (figura 4.3):

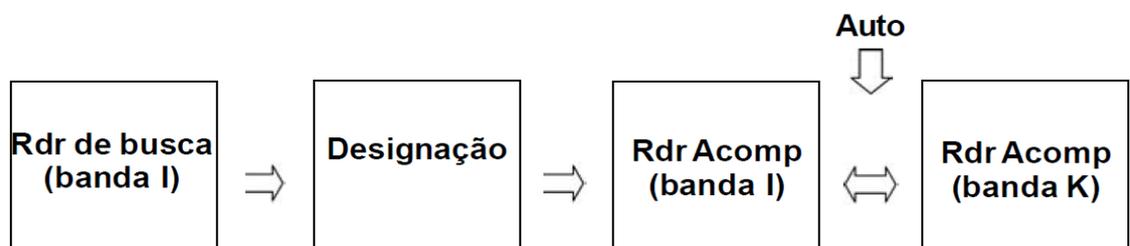


Fig 4.3 – Funcionamento sumário do sistema radar do EDT FILA  
 Fonte: ME B-2 Manual Escolar Descrição e Funcionamento EDT FILA, p. 39-4.

#### 4.2.2 Sistema *Identification Friend Or Foe* (IFF)

O sistema de identificação amigo inimigo (IFF) presente no EDT FILA “tem por objetivo fazer a identificação do vetor aéreo, por meio de uma interrogação que é enviada à aeronave e do processamento da resposta recebida, classificando-o para o EDT como amigo ou inimigo” (BRASIL, 2003, P. 1-8). Este equipamento permite fazer interrogações nos modos 1, 2 e 3A.

As antenas do IFF são conjuntos dipolos montadas na antena do radar de busca do EDT. O sistema IFF, auxilia na identificação do alvo e, por conseguinte, melhora a detecção por parte do radar de busca.

#### 4.3 O Radar de Busca do EDT FILA

Tendo em vista o objetivo deste trabalho, serão enfatizadas as características, capacidades e possíveis limitações do radar de busca do EDT FILA, que é parte integrante do subsistema radar que atua na banda I. Nos subcapítulos seguintes serão vistas suas principais características.

##### 4.3.1 Espaço de Busca

Direção	6400°
Amplitude vertical do lóbulo	- 88° a + 880°; e
Distância instrumentada	300m a 20240m

Tabela 4.1- Espaço de busca.

Fonte: adaptação realizada pelo autor baseada no manual ME B-2 Manual Escolar Descrição e Funcionamento EDT FILA, p. 30-4.

Através da tabela acima, verifica-se que o radar de busca efetua sua varredura do espaço aéreo em busca de alvos em 6400° de direção, ou seja, em todas as direções, devido à capacidade de sua antena girar em torno de si mesma. A amplitude de varredura de seu lóbulo é de - 88° a + 880°, ou seja, 968° de amplitude de varredura. Possui alcance mínimo de detecção de 300m e máximo de 20240m.

O alcance do radar de busca pra efeito de processamento de sinais, entretanto, chamado de “janela de busca”, é de 1320m a 20240m, ou seja, alvos que

se encontrarem de 300m a 1320m do EDT, serão detectados, mas seu acompanhamento será deficiente (BRASIL, 2003, P. 4-5).

#### 4.3.2 Transmissor

“O transmissor de um radar é a unidade responsável **por gerar os pulsos de altas frequências e elevada potência.**” (BRASIL, 2014, p.8-1).

Segundo EsACosAAe (2002, p. 39-2), o transmissor do radar de busca do EDT FILA possui as seguintes características:

Tipo	Pulso Doppler coerente TWT
Frequências de operação	5 (comutação automática ou manual)
Largura de pulso	0,3 $\mu$ s ou 1,4 $\mu$ s (comutação manual)
FRP	5 pares entre 4,7 e 6,9 KHz (comutação manual ou automática)
Polarização da antena do radar de busca	Circular/Horizontal

Tabela 4.2- Características do Transmissor

Fonte: adaptação realizada pelo autor baseada no manual ME B-2 Manual Escolar Descrição e Funcionamento EDT FILA, p. 39-2.

Analisando a tabela acima se verifica que o radar de busca do EDT possui um transmissor do Tipo TWT (figura 4.4). As válvulas de ondas progressivas, também chamadas de TWT (*Traveling Wave Tube*), são amplificadores de micro-ondas de alto ganho, baixo ruído e que operam em banda larga. Sua característica de possuir baixo ruído interno e operar em extensa largura de banda permite o uso de recursos de MPE, proporcionando boa operacionalidade em ambiente sujeito a ações de guerra eletrônica, o que torna esse tipo de transmissor, ideal para ser utilizado em equipamentos radar de uso militar (BRASIL, 2014, p.8-15).



Figura 4.4 – TWT do EDT FILA

Fonte EB60-ME-23.014 Manual de Ensino Princípios Básicos de Radar, p. 8-16.

Possui 5 (cinco) frequências de operação dentro da banda I (8.6 –9.5 GHz), que podem ser comutadas para se furta a um ataque eletrônico, ocasionado por Anv que utilize equipamento MAE (Medidas de Ataque Eletrônico), como, por exemplo, um bloqueio de ponto. A essa comutação dá-se o nome de agilidade de frequência. “A **agilidade de frequência** é a habilidade de mudar rapidamente a frequência de operação, pulso a pulso ou por pacotes de pulsos (*bursts*). Essa técnica é muito eficaz, principalmente contra bloqueio de ponto.” (BRASIL, EB60-ME-23.020, 2014, p. 4-17).

Os pulsos emitidos pela TWT são obtidos através da modulação de pulsos dentro de uma Frequência de Repetição de Pulso (FRP), número de pulsos produzidos por unidade de tempo, geralmente pps (pulsos por segundo). A FRP, específica desse transmissor, pode ser comutada em 5 (cinco) pares, e a duração de tempo para produção de cada pulso, ou LP (largura de pulso), pode ser escolhida entre dois valores, 1,4  $\mu$ s e 0,3  $\mu$ s, o que maximiza a agilidade de frequência do material, auxiliando o equipamento contra ataques de guerra eletrônica (EsACosAAe, 2002, p. 39-5).

Outra capacidade importante do EDT FILA contra MAE é a possibilidade de o material executar a mudança de polarização através de um dispositivo de polarização circular que “permite a mudança, pôr ação do operador, da polarização horizontal da antena de busca para circular.” (EsACosAAe, 2002, p. 39-5), tendo-se uma excelente MPE contra bloqueios de polarização fixa, contra chaff e efeitos gerados pela chuva, conforme descrito abaixo:

“Assim sendo, utilizando-se radares com polarizações diferentes da utilizada pelo bloqueador, ter-se-á uma excelente MPE, pois torna-se eficaz na eliminação ou redução de bloqueios de polarização fixa. Devemos lembrar que polarizações circulares podem ser um excelente recurso na presença de chuva e *chaff*.” (BRASIL, EB60-ME-23.020, 2014, p. 4-19).

### **4.3.3 Antena do Radar de Busca**

Segundo (EsACosAAe, 2002, p. 39-2), a antena do radar de busca do EDT FILA possui as seguintes características:

Tipo	Cossecante ao quadrado modificado
Rotação	1 rps, sentido horário
Resistência do vento	Até 120 km/h

Tabela 4.3- Características da antena do radar de busca  
 Fonte: adaptação realizada pelo autor baseada no manual ME B-2 Manual Escolar  
 Descrição e Funcionamento EDT FILA, p. 39-2.

A função da antena é, durante a transmissão, concentrar a onda de radiofrequência, gerada pelo transmissor, e irradiá-la para o espaço num feixe, definido por sua geometria, em uma direção desejada; e, durante a recepção, coletar e entregar ao receptor do equipamento, na forma de tensões elétricas, a energia proveniente do sinal do eco de um possível alvo (BRASIL, 2014, p. 9-4).

A antena do radar de busca do EDT fila é do tipo Cossecante ao Quadrado (figura 4.5), que possui algumas especificidades, conforme exposto abaixo:

Elas **permitem uma distribuição adaptada do feixe irradiado** com uma consequente varredura mais adequada para a missão. Este tipo de antena consegue captar um sinal de retorno (eco) com força mais uniforme, de acordo com que o alvo se movimenta dentro do feixe em uma altitude constante. Para se conseguir uma antena cossecante ao quadrado na prática, constrói-se uma antena com **refletor parabólico com uma leve deformação na sua parte inferior**. Com este desenho, obtém-se um **feixe com maior ganho em sua porção inferior**, sendo **altamente desejável para a detecção de alvos à baixa altura**. (BRASIL, 2014, p.9-9).

Nota-se que por possuir um refletor parabólico com leve deformação em sua parte inferior, esta antena possibilita que o feixe de radiofrequência emitido pelo radar de busca tenha maior ganho em sua porção inferior, melhorando a detecção de alvos na faixa de emprego de baixa altura (BRASIL, 2014, p. 9-9). Demonstrando, assim, mais uma evolução tecnológica inserida no material que possibilita melhora na busca e detecção de alvos pelos equipamentos da AAAe do Exército Brasileiro.

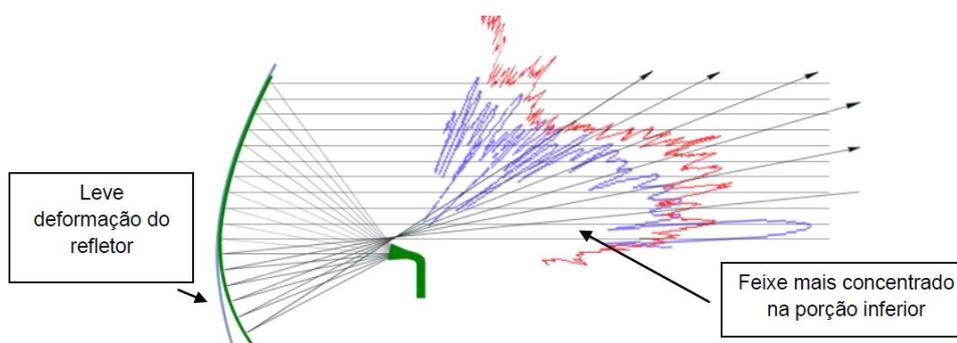


Figura 4.5 – Antena Cossec<sup>2</sup>

Fonte: EB60-ME-23.014 Manual de Ensino Princípios Básicos de Radar, p. 9-10.

#### 4.3.4 Indicador de Alvos Móveis (MTI)

O radar de busca do EDT FILA possui o MTI (Moving Target Indicator) ou indicador de alvos móveis. “O MTI é um modo de operação que detecta e apresenta alvos móveis e rejeita *clutters* (alvos fixos ou lentos).” (BRASIL, 2014, p.11-7).

Devido aos ecos das ondas de radio frequência produzidos pelas aeronaves confundirem-se com os provenientes dos obstáculos no terreno, como por exemplo, uma grande elevação que esteja dentro do raio de atuação do equipamento, torna-se muito difícil distingui-los quando utilizada a tela PPI; ou seja, dificulta-se a detecção pelo radar de busca de aeronaves voando em áreas em que o terreno produz muitos retornos (BRASIL, 2014, p.11-7).

A fim de dirimir esse problema, tornou-se necessário o desenvolvimento de um meio que contornasse essa dificuldade; então, foi criado o MTI, que se caracteriza por ser um recurso que permite somente aos alvos móveis serem apresentados na tela, cancelando os retornos do terreno para que não sejam inseridos no indicador (Tela PPI) do radar de busca do EDT FILA (BRASIL, 2014, p.11-7).

O EDT FILA, ao possuir esse recurso em seu sistema, demonstra mais uma possibilidade tecnológica que o auxilia na busca e detecção de alvos.

#### 4.4 Extrator de Dados do Radar de Busca (EDRB)

O Extrator de Dados do Radar de Busca (EDRB) é um equipamento que auxilia os operadores do EDT no engajamento das ameaças aéreas. Possui as seguintes funções:

- (a) liberação de alarme para indicar a presença do primeiro alvo detectado na tela PPI (opcional).
- (b) designação automática do primeiro alvo detectado na tela PPI (opcional).
- (c) acompanhamento automático dos 8 primeiros alvos detectados, numerando-os na tela PPI.**
- (d) avaliação automática dos 8 alvos numerados e indicação, dentre estes, do mais ameaçador ao EDT. Para essa avaliação, o EDRB utiliza como parâmetros de comparação a distância do alvo e sua velocidade radial.**
- (e) mascaramento, que consiste em hachurar áreas na tela PPI e mantê-las armazenadas na memória do EDRB. Essas hachuras devem ser feitas sobre ecos fixos que persistem na tela PPI, apesar do Indicador de Alvos Móveis (MTI). (BRASIL, 2003, P. 1-8).

Segundo a citação acima, nota-se que esse equipamento dá ao EDT FILA a capacidade de avaliar, através dos dados provenientes do seu radar de busca, a situação de vulnerabilidade do equipamento em relação às ameaças que o circundam, apresentando o alvo mais ameaçador em destaque na tela PPI utilizando, como parâmetros para essa avaliação, sua velocidade radial e distância para o EDT.

Entretanto, verifica-se que o mesmo só é capaz de apresentar na PPI e fazer o acompanhamento de 8 (oito) aeronaves, o que pode vir a ser um problema, caso haja uma força de ataque à instalação defendida pelo equipamento composta por mais de 8 (oito) vetores.

#### 4.5 Mobilidade e Transportabilidade

O “EDT-FILA, na versão auto rebocado, apresenta mobilidade em qualquer terreno graças ao emprego de pneus de baixa pressão e suspensão por barras de torção.” (EsACosAAe, 2002, p. 30-1). Em estrada, a velocidade máxima permitida para seu tracionamento é de 60 km/h.

Além de ser tracionado por viatura, o mesmo pode ser transportado por modal rodoviário ou ferroviário, desde que obedecidas suas características de transporte:

Peso	5500 Kg
Comprimento total na posição de marcha	6,355m
Altura total na posição de marcha	2,353m
Largura total em posição de marcha	2,300m
Máxima inclinação transversal	+/- 35°
Ângulo de descida máximo de frente	30°
Ângulo de descida máximo de ré	26°

Tabela 4.4- Características de Transporte do EDT FILA  
 Fonte: adaptação realizada pelo autor baseada no manual ME B-2 Manual Escolar  
 Descrição e Funcionamento EDT FILA, p. 39-2.

O EDT transporta em seu interior um gerador para facilitar seu funcionamento quando não houver energia elétrica de rede comum disponível. Este gerador, pesando 400 Kg, possui motor VW, refrigerado a ar, de 4 (quatro) cilindros com 46 (quarenta e seis) cavalos de potência a 3428 rpm, alimentado por gasolina, cujo

consumo é entorno de 9 (nove) a 14 (quatorze) litros por hora (BRASIL, 2003, P. 1-3).

Essas características de transporte aliadas a existência do gerador possibilitam ao EDT FILA a mobilidade necessária a sua operação. Não obstante as dificuldades impostas por suas dimensões e peso, o material cumpre bem ao fim que se destina.

#### 4.6 Considerações Parciais

Neste capítulo foi apresentado o EDT FILA com a finalidade de analisar as capacidades e limitações do seu radar de busca, bem como suas características; para que, através de uma comparação com o radar SABER M60, se possa analisar a evolução tecnológica dos radares de busca da Artilharia Antiaérea do Exército Brasileiro e no que essa evolução contribuiu para a capacidade de análise e detecção de alvos.

A fim de ambientar-se sobre o equipamento diretor de tiro, foram expostas algumas características gerais sobre o EDT, como, por exemplo, onde o mesmo se enquadra em uma defesa antiaérea, qual sua função, quais tipos e quantas armas antiaéreas ele pode comandar. Citaram-se também os sistemas componentes do EDT, que possuem a característica de serem inter-relacionados e interdependentes; possibilitando, através de seu trabalho conjunto, que o equipamento faça a busca, a detecção, o acompanhamento de uma ameaça aérea e direcione os canhões, dando ordem de disparo quando a mesma deva ser engajada.

O sistema radar do equipamento foi apresentado, tanto em sua fase de busca e detecção, quanto em sua fase de acompanhamento; ambas executadas pelos subsistemas radar de banda I e K, demonstradas através da apresentação de seu funcionamento sumário.

Então, deu-se ênfase nas capacidades e possíveis limitações do radar de busca do EDT FILA, que faz parte do subsistema radar de banda I, através da apresentação geral e de algumas características de sua busca de aérea, bem como de seu sistema de IFF, de seu transmissor TWT e de seu indicador de alvos móveis.

Ainda, acerca das capacidades e limitações de seu radar de busca, foi apresentado o EDRB, que embora seja de extrema importância para a detecção e

engajamento das ameaças aéreas no raio de ação do material, possui a limitação de só apresentar, numerar e fazer o acompanhamento de poucos alvos.

Embora não faça parte diretamente do sistema radar do equipamento, foram apresentadas as características de mobilidade e transporte do EDT FILA, bem como de seu grupo gerador; haja vista sua importância para o deslocamento, entrada em posição e operação nas atividades de DA Ae de pontos sensíveis.

Sendo assim, mostra-se que o EDT FILA, ainda hoje, possui grande capacidade de busca e detecção de alvos com precisão e que sua inserção na década de 1980 na AAAe do Exército Brasileiro trouxe ao sistema de DA Ae grande salto tecnológico; apesar dos anos de uso do material, de sua limitação de pequeno número de aeronaves detectadas simultaneamente, de sua dificuldade de transporte e acesso limitado a determinadas áreas devido suas grandes dimensões.

## 5 SENSOR DE ACOMPANHAMENTO DE ALVOS AÉREOS BASEADO NA EMISSÃO DE RADIOFREQUÊNCIA (SABER) M60

Iniciou-se em 2002 o projeto do radar SABER M60, cujo objetivo era suprir a necessidade do Exército Brasileiro em equipar seu sistema de DA Ae com um material compacto e de fabricação nacional que atendesse aos requisitos de mobilidade da tropa (BRADAR, 2015, p.1).

De 2008 até 2010 desencadeou-se seu processo de desenvolvimento. Em dezembro de 2010 foi finalizada sua avaliação e homologação pelo Centro de Avaliações do Exército (CAEx), sendo entregue seu lote piloto no fim de 2011 (PINTO, 2013, p. 57).

O radar SABER M60 (**S**ensor de **A**companhamento de **A**lvos **A**éreos **B**aseado na **E**missão de **R**adiofrequência) é um equipamento de baixo peso e grande mobilidade, que suporta operação em todos os climas do continente sul-americano, o que torna possível que seja empregado em operações diversas, tais como as operações de defesa externa, operações de garantia da lei e da ordem e as operações de paz (BRASIL, 2016, p.1-1).

Tem por finalidade, “integrar um sistema de defesa antiaérea de baixa altura visando à proteção de infraestruturas críticas, como indústrias, usinas e instalações governamentais.” (BRASIL, 2016, P. 1-1). Possui capacidade de integração com o Sistema de Defesa Aeroespacial Brasileiro (SISDABRA) e com o Sistema de Controle de Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB), bem como a outros sistemas, caso necessário (BRASIL, 2016, P. 1-1).

### 5.1 Características

O radar SABER M60 (figura 5.1) apresenta ao operador do radar, informações tridimensionais (distância, azimute e elevação) das Anv que detecta, bem como sua velocidade e proa (BRASIL, 2016, P. 1-1).

Pode classificar alvos em Anv de asa rotativa ou fixa, distinguindo-os na tela da unidade de visualização do radar, e também, classifica-lo como ameaça aérea ou não, através de seu equipamento IFF (BRASIL, 2016, P. 1-1).

Devido sua baixa potência média de transmissão e seus recursos de MPE, é considerado um radar de baixa probabilidade de interceptação (LPI – *Low Probability*

*of Interception*), que “[...] vem sendo o padrão de radiação adotado pelos radares mais recentes. Esse conceito veio como resposta à GE [...]” (BRASIL, 2014, p.4-11).

Possui elevada mobilidade e transportabilidade já que pode ser montado e desmontado em aproximadamente 15 min por guarnição mínima de 3(três) homens, e ser transportado por helicóptero ou viatura com capacidade de carga mínima de 1 tonelada (BRASIL, 2016, P. 1-2).

Seu *software* possibilita ao sistema a representação gráfica de medidas de coordenação e controle do espaço aéreo segundo preconizado pela doutrina. Havendo a necessidade, pode ser modificado ou atualizado (BRASIL, 2016, P. 1-2).



Fig 5.1 – Radar SABER M60

Fonte: <http://defesaeseguranca.com.br/tecnologia-radar-e-dispositivo-termal-de-defesa-antiaerea-passam-por-avaliacao-da-fab/#prettyPhoto/0/> - acesso em 03 Ago 17.

A tabela 5.1, abaixo, demonstra outras características atinentes ao espaço de busca, do radar SABER M60:

Alcance Útil	60 km (alvo de 20 m <sup>2</sup> )
Alcance Mínimo	1750 m
Direção	6400”
Teto Máximo Aproximado	5000 m

Tabela 5.1- Espaço de busca.

Fonte: adaptação realizada pelo autor baseada no manual EB60-MT-23.401: Manual Técnico Operação do Radar SABER M60, p. 1-2.

Através da tabela acima, verifica-se que o radar de busca efetua sua varredura do espaço aéreo em busca de alvos em 6400° de direção, ou seja, em todas as direções, devido à capacidade de sua antena girar em torno de si mesma. Seu teto máximo de emprego é de 5000m de alcance em altura, o que caracteriza sua faixa de emprego como de baixa altura. Possui alcance mínimo de detecção de 1750 m e útil de 60000 m.

“O Radar SABER M60 possui uma concepção modular, visando facilitar sua operação, manutenção e transportabilidade.” (BRASIL, 2016, P. 2-1). Sua divisão em módulos dá-se da seguinte forma: quadripé, módulo de distribuição de energia, gerador, pedestal, antena, módulo de controle e radiofrequência, radar secundário S60, luneta, unidade de visualização (UV) do radar, unidade de visualização da unidade de tiro e cabos de conexão.

Ressalta-se que essa modularidade é a responsável pelo radar SABER M60 ser transportado, tanto em viaturas quanto em helicópteros, com capacidade superior a 1(uma) tonelada, além de possibilitar a montagem do mesmo em posições de difícil acesso já que pode ser montado, desmontado e carregado por tropa a pé (BRASIL, 2016, P. 2-1).

Tendo em vista o objetivo deste trabalho, serão abordados com mais profundidade nos próximos subcapítulos: seu módulo de controle e radiofrequência, seu radar secundário S60, sua antena, seu gerador e sua unidade de visualização do radar, além de outras características que evidenciem capacidades e limitações do material.

## 5.2 Módulo de Controle e Radiofrequência

O módulo de controle e radiofrequência (figura 5.2) tem por finalidade “gerar a RF para a transmissão e receber a RF da recepção, entregando-a a unidade digital de controle, para ser tratada e apresentada na UV.” (BRASIL, 2016, P. 2-8). Se o radar secundário S60 estiver operando, o módulo de controle e radiofrequência também recebe o seu sinal para consolidação e os apresenta na tela da Unidade de Visualização do radar (BRASIL, 2016, P. 2-8).

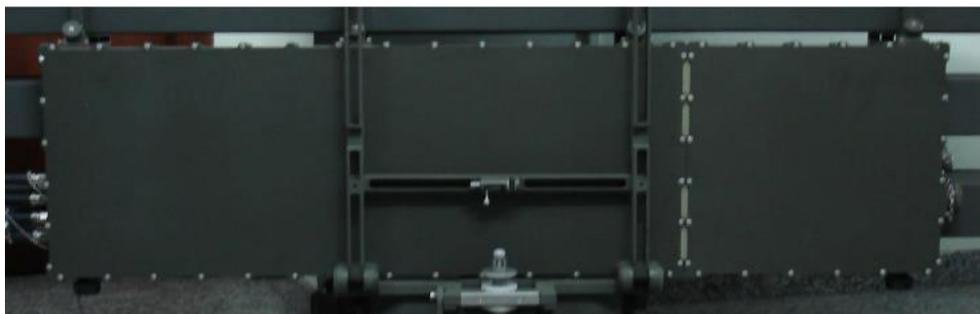


Fig 5.2 – Módulo de Controle e Radiofrequência  
 Fonte: EB60-MT-23.401: Manual Técnico Operação do Radar SABER M60, p. 2-9.

“No seu interior, está dividido em três unidades: RF de alta frequência, RF de baixa frequência e Digital [...]” (BRASIL, 2016, P. 2-8), o que nos permite deduzir que é o módulo onde se localiza o transmissor, o receptor e a unidade de processamento de sinais do radar.

### 5.2.1 Transmissor

A tabela 5.2, abaixo, possibilita analisar algumas características do transmissor que compõe o radar SABER M60:

Tipo	Estado sólido – Pulso Doppler Coerente
Faixa de Frequência	Banda L
Nr de Canais de Frequência	40 canais
Banda	80 MHZ
Frequência de Repetição de Pulsos	Variável, em conjuntos de 4 valores com algoritmos pseudoaleatórios.
Largura de Pulso	22 $\mu$ s
Polarização	Horizontal

Tabela 5.2 – Características do Transmissor do radar SABER M60.  
 Fonte: adaptação realizada pelo autor baseada no manual EB60-MT-23.401: Manual Técnico Operação do Radar SABER M60, p. 1-2.

Analisando a tabela acima, verifica-se que o radar SABER M60 possui um transmissor do Tipo Estado Sólido (figura 5.3). Os transmissores de estado sólido são de “pequeno tamanho, alta resistência mecânica, baixo custo de produção, não necessidade de vácuo e rendimento relativamente bom.” (BRASIL, 2014, p.8-21). Essa tecnologia vem substituindo, de maneira gradual os transmissores de alta potência, como o TWT, pois seu tamanho reduzido e baixo custo possibilitam a criação de radares mais baratos e de menores dimensões e peso.

A limitação de possuir uma baixa potência de saída, desse tipo de componente, vem sendo suplantada com a combinação de diversos componentes de estado sólido em paralelo, o que gera grande potência de saída, requisito típico de radares de uso militar (BRASIL, 2014, p.8-21).

Possui 40 (quarenta) canais de frequência, que podem ser comutados para se furta a situações em que esteja sofrendo ações de guerra eletrônica.

Entretanto, sua polarização é apenas horizontal, o que dificulta a capacidade de se furta aos efeitos gerados pela chuva e ao *Chaff*, já que não possui a capacidade de comutar a polarização da onda eletromagnética de horizontal para circular.



Fig 5.3 – Transmissor de Estado Sólido Diodo tipo Gunn  
Fonte: EB60-ME-23.014 Manual de Ensino Princípios Básicos de Radar, p. 8-21.

### 5.2.2 Unidade de Processamento de Sinais

A tabela 5.3, abaixo, possibilita analisar algumas características da unidade de processamento de sinais do radar SABER M60:

<i>Moving Target Indicator</i> (MTI)	Digital
Intervalo de Detecção	1750 m e 60 km
Resolução (Poder Separador)	75 m em alcance
Informações dos Alvos	3D (azimute, elevação e distância).
Nº de Alvos Simultâneos	40 alvos
Classificação de Aeronaves	Asa Fixa e Asa Rotativa
Velocidade Mínima para Detecção	36 km/h

Tabela 5.3 – Características da unidade de processamento de sinais do radar SABER M60.  
Fonte: adaptação realizada pelo autor baseada no manual EB60-MT-23.401: Manual Técnico Operação do Radar SABER M60, p. 1-2.

A tabela mostra as características da unidade digital de processamento de sinais do radar, que possui um indicador de alvos móveis (MTI) digital.

Verifica-se, também, a capacidade de detectar e acompanhar, simultaneamente, 40 (quarenta) alvos, obtendo informações tridimensionais dos mesmos.

Outra importante evolução tecnológica encontrada é sua capacidade de distinguir os alvos que detecta em aeronaves de asa rotativa ou de asa fixa, levando mais uma informação importante para a tomada de decisão do responsável pela DA Ae que o estiver utilizando como radar.

### 5.3 Radar Secundário S60 (IFF)

O Radar Secundário S60 (IFF) (figura 5.4) é constituído basicamente por uma antena fixada em um módulo transceptor, que se encaixa na antena do radar primário. Possui um mecanismo de inclinação que ajusta sua antena de 5° à 27° (BRASIL, 2016, p.2-9). O S60 possibilita ao SABER M60 “[...] realizar a identificação de aeronaves como amigas ou inimigas pelos modos de interrogação, e saber seu nível de voo pelo modo C. Pode operar em conjunto ou não com a Antena.” (BRASIL, 2016, p.2-9).

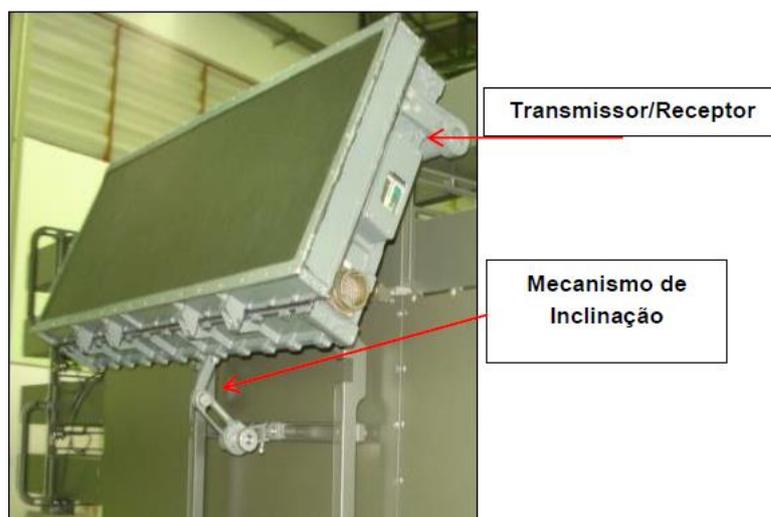


Fig 5.4 – Radar Secundário S60

Fonte: EB60-MT-23.401: Manual Técnico Operação do Radar SABER M60, p. 2-10.

A tabela 5.4, abaixo, demonstra sumariamente algumas características do radar secundário S60:

Modos	1, 2, 3A e C
Alcance Máximo	82 km
Ganho	17 dB
Potência de Pico	80 W
Potência Média	0,8 W
Inclinação da Antena de IFF	5° a 27°

Tabela 5.4 – Características do Radar Secundário S60.

Fonte: adaptação realizada pelo autor baseada no manual EB60-MT-23.401: Manual Técnico Operação do Radar SABER M60, p. 1-2.

Através da tabela, podemos deduzir que o alcance máximo de 82 km do radar secundário possibilita ao radar SABER M60 detectar aeronaves a uma distância maior que os 60 km do radar primário; porém, não com a precisão de dados que se obtêm pelo sensor primário.

Interroga as aeronaves através dos modos 1, 2, 3A e C, esse último, possibilita ao radar avaliar a altitude do alvo. Permite a seleção dos modos de funcionamento através da interrogação dos quatro modos dois a dois a cada giro da antena, através dos grupos de interrogação G1 e G2; ou permite utilizar até 3 (três) dos 4(quatro) modos de interrogação, simultaneamente, em todos os giros da antena, através do grupo de interrogação G3 (BRASIL, 2016, p.4-27).

Também, verifica-se a possibilidade da inclinação da antena do radar secundário S60 como uma evolução tecnológica, podendo assim, ajustar seu feixe de emissão.

#### 5.4 Antena

A antena do radar SABER M60 (figura 5.5) é a responsável por irradiar a RF gerada pelo módulo de controle e radiofrequência, e receber o eco proveniente da reflexão dos alvos, através de quatro guias de ondas fendado, protegidas por um radome feito de Kevlar; sendo a mesma, o módulo que possui o maior peso de todo o sistema radar SABER M60 (BRADAR, 2015, p.23).

Possui ainda, outras funções como sustentar o radar secundário S60, o módulo de controle e radiofrequência e auxiliar a dissipação de calor desse módulo devido a sua velocidade de rotação (BRADAR, 2015, p.23).

Há, também, em sua base, um sistema mecânico que permite o ajuste do seu ângulo de inclinação, de  $-2^{\circ}$  à  $10^{\circ}$ , possibilitando que o feixe de emissão do radar primário seja ajustável em altura (BRASIL, 2016, p.2-6).



Figura 5.5- Antena do Radar SABER M60  
Fonte: <http://www.embraerds.com> - acesso em 03 Ago 17.

A tabela 5.5, abaixo, possibilita analisar algumas características da antena do radar SABER M60:

Tipo	Guia de Ondas com Fendas
Peso	64,25 kg
Largura	3,1 m
Inclinação	$-2^{\circ}$ a $+10^{\circ}$
Rotação	7,5 -15 RPM programável
Vento Máximo	60 km/h

Tabela 5.5 – Características da antena do Radar SABER M60.  
Fonte: adaptação realizada pelo autor baseada no manual EB60-MT-23.401: Manual Técnico Operação do Radar SABER M60, p. 1-2.

Dentre essas características, pode-se ressaltar a capacidade do radar em programar a velocidade de rotação da antena em 7,5 RPM ou 15 RPM, o que possibilita ao radar iluminar um alvo por mais ou menos tempo, influenciando na precisão das informações advindas do mesmo e incrementando mais uma medida de proteção contra ataques eletrônicos.

O ajuste em inclinação, de  $-2^{\circ}$  a  $10^{\circ}$ , da antena do radar SABER M60, também caracteriza mais uma evolução na capacidade de busca e detecção.

## 5.5 Gerador

O Gerador (figura 5.6) utilizado pelo radar SABER M60 tem a finalidade de fornecer energia elétrica para a operação do radar quando não houver possibilidade de obtê-la pela rede comercial (BRASIL, 2016, p.2-4).



Fig 5.5 – Gerador

Fonte: EB60-MT-23.401: Manual Técnico Operação do Radar SABER M60, p. 2-4.

A tabela 5.6, abaixo, demonstra sumariamente algumas características desse gerador:

Gerador Externo	Toyama T4000CX com modificações feitas pela ORBISAT
Tensão	135 V (220 V – bloqueado)
Combustível	Diesel
Capacidade	15 L
Autonomia	8,3 horas
Peso	65 Kg

Tabela 5.6 – Características do Gerador do Radar SABER M60.

Fonte: adaptação realizada pelo autor baseada na Apostila de Treinamento de Operação e Manutenção de Primeiro Escalão Radar SABER M60, p 51.

Logo, verifica-se que este gerador, da marca Toyama modelo T4000Cx, é modificado para gerar tensão de 135 V, em vez de 110 V, e bloquear a tensão 220 V. Deve-se utilizar, exclusivamente, o gerador fornecido pela fabricante do radar na ausência de rede elétrica disponível.

Pode-se inferir, também, que o gerador do radar SABER M60 é um equipamento de dimensões e peso reduzidos, 65 Kg, que possibilita boa autonomia de funcionamento ao sensor e que trabalha com o diesel como combustível.

Este gerador possibilita ao radar obter energia necessária para operar em locais de difícil acesso e sem disponibilidade de energia elétrica de rede comercial, cooperando para sua mobilidade e redução de custos de operação, o que vem a acrescentar muito na evolução dos radares de busca da AAAe do Exército Brasileiro e na capacidade de busca e detecção de alvos.

## 5.6 Unidade de Visualização do Radar

A Unidade de Visualização (UV) do Radar (Figura 5.6) é um *notebook* robustecido que tem a finalidade de fornecer ao operador do radar SABER M60 “[...] o controle das funcionalidades dos radares primário e secundário e apresentar de forma visual, em tempo real, os alvos identificados.” (BRADAR, 2015, p.28) através de um *software* de controle do radar, utilizando um sistema operacional *LINUX* customizado.

Além de controlar as funções do radar primário e secundário, a unidade de visualização permite, através do *software* de controle do radar, apresentar graficamente na tela da UV as medidas de coordenação e controle do espaço aéreo (MCCEA) (BRADAR, 2015, p.28). O que demonstra mais uma evolução tecnológica dos radares da AAAe brasileira que procura melhorar a busca e detecção de alvos.



Fig 5.6 – Unidade de Visualização do Radar

Fonte: EB60-MT-23.401: Manual Técnico Operação do Radar SABER M60, p. 2-11.

## 5.7 Condições de Mobilidade e Transporte

Devido a sua concepção modular, o radar SABER M60 foi projetado de modo que seus módulos fossem guardados em caixas distintas, facilitando seu transporte e manuseio (BRASIL, 2016, p.5-1); a saber:

- a) A Caixa Nr 01 acondiciona a Antena do Radar, o Módulo de Controle e RF e as Sapatas;
- b) A Caixa Nr 02 acondiciona o Quadripé e os Cabos Externos;
- c) A Caixa Nr 03 acondiciona o Pedestal;
- d) A Caixa Nr 04 acondiciona a Fonte de Alimentação e a Caixa de Baterias;
- e) A Caixa Nr 05 acondiciona o S60 (IFF), a Luneta e a UV;
- f) A Caixa Nr 06 acondiciona as cintas de unitização, extensões de rede elétrica AC e os cabos adaptadores;
- g) Também acompanham o Radar SABER M60:
  - sacola com rede para helitransporte e cinta de içamento;
  - maleta de ferramentas para 1º Escalão;
  - maleta de ferramenta para 2º Escalão;
  - cones de sinalização. (BRASIL, 2016, p.5-1).

Essas caixas foram projetadas de modo que facilitem o seu transporte e acondicionamento, ocupando o menor espaço possível. Todo o conjunto fica preso por, no mínimo, 4 (quatro) fitas de unitização, conforme figura 5.7, cuja finalidade é unir as caixas em um único conjunto de transporte, evitando que o radar e suas caixas sofram avarias durante os deslocamentos (BRASIL, 2016, p.5-2).

Devido a essa modularidade e consecutiva facilidade de transporte, o radar SABER M60 diminuiu o tempo de ocupação de posição, facilitando as operações de movimento; pois, o mesmo pode ser transportado via terrestre, por viatura com no mínimo capacidade de suportar 1 (uma) tonelada de carga; via marítima; via transporte aéreo por qualquer Anv que suporte seu peso, entretanto, não pode ser lançado de paraquedas, pois há muitos componentes sensíveis que podem ser danificados ao chocar-se com o solo; e via helitransporte, internamente nas Anv HM-3 e HM-4, e no gancho pelas Anv HM-1 e HM-2 (BRASIL, 2016).



Fig 5.7 – Radar Saber M60 preparado para transporte  
 Fonte: EB60-MT-23.401: Manual Técnico Operação do Radar SABER M60, p. 5-2.

A tabela 5.7, abaixo, demonstra sumariamente algumas características de transporte do radar SABER M60:

Peso total bruto (radar + todos seus equipamentos e gerador)	848,85 kg
Peso total líquido (somente o radar)	357,85 kg
Comprimento total na posição de transporte	3,18 m
Largura na posição de transporte	0,88 m
Altura total na Posição de transporte	1,64 m
Comprimento total na Posição de Operação	3,20 m
Largura total na Posição de Operação	3,20 m
Altura total na Posição de Operação	2,85 m
Temperatura de Operação	- 25° a + 45° C
Temperatura de Armazenamento	-40 a + 65° C

Tabela 5.7 – Características de transporte e armazenamento do Radar SABER M60.  
 Fonte: adaptação realizada pelo autor baseada no manual EB60-MT-23.401: Manual Técnico Operação do Radar SABER M60, p. 1-2.

O SABER M60 apresenta-se, então, como um radar de peso e dimensões reduzidas, 848, 85 Kg. Pode ser dividido em caixas para ser carregado por homens a pé através de caminhos e trilhas devido a sua constituição modular; fazendo com que seja possível seu desdobramento e ocupação de posição em terrenos de difícil acesso (BRASIL, 2016).

Através da tabela acima, verifica-se como limitação do radar SABER M60 sua operação numa faixa de temperatura de -25° a + 45° sem possuir ventilação forçada. Isto pode obrigar o operador do mesmo interromper sua utilização caso a

temperatura suba acima de +45°; provocando, assim, lacunas no monitoramento do espaço aéreo defendido.

## 5.8 Medidas de Coordenação e Controle do Espaço Aéreo e MPE.

### 5.8.1 Medidas de Coordenação e Controle do Espaço Aéreo (MCCEA)

O Sistema UV do radar SABER M60 possui a característica de adicionar, remover e editar os elementos de medidas de coordenação e controle do espaço aéreo (BRADAR 2015, p. 91).

O sistema pode adicionar até 23 (vinte e três) Corredores de Segurança, inserir pontos sensíveis em torno do qual são desdobradas as DA Ae, Postos de Vigilância (P Vig) para cobrir as zonas de sombra radar e Rotas de Risco Mínimo (RRM) (BRADAR 2015).

Também possui a capacidade de apresentar, inserir e editar a posição das Unidades de Tiro (U Tir), bem como os Volumes de Responsabilidade de Defesa Antiaérea (VRDAAe), com sua classificação e estado de ação, e as Zonas de Voo Proibido (BRADAR 2015).

Pode, ainda, apresentar o Estado de Alerta das DA Ae, suas condições de aprestamento e executar a designação de alvos para seus sistemas de armas, cujas U Tir estão conectadas ao Sistema UV via Rádio (BRADAR 2015).

### 5.8.2 Medidas de Proteção Eletrônica (MPE)

Na Tela principal da Unidade de Visualização, em seu canto inferior direito, há uma caixa de controle dos radares primário e secundário, que é responsável por ligar os mesmos, além de acionar as medidas contra ataques eletrônicos do sistema radar (BRADAR, 2015, p. 131).

Para ligar o radar primário, fazendo com que sua antena gire e emita radiofrequência, é necessário selecionar um dos canais de emissão, cuja responsabilidade é o controle das frequências do radar primário (BRADAR, 2015, p. 131). Há 40 (quarenta) canais dos quais 6(seis) são liberados para utilização em tempo de paz, como situações de exercício, e o restante é de uso restrito, exclusivos para operações reais (BRADAR, 2015, p. 132).

Existe, nessa caixa, um indicativo MAE, que avisa quando o radar está sofrendo Medidas de Ataque Eletrônico (MAE), como bloqueio ou despistamento, utilização de *Chaff* por Anv detectada pelo radar. Caso essa situação ocorra, o indicativo MAE fica na cor vermelha, para que o operador do radar tome as MPE adequadas (BRADAR, 2015, p. 132).

Dentre as MPE presentes no sistema, pode-se citar o setor de bloqueio, em que o operador do radar pode inserir um setor na tela da UV em que tanto o radar primário quanto o secundário parem de emitir radiofrequência naquela direção delimitada, tornando ineficaz a ação de guerra eletrônica inimiga naquele setor específico (BRADAR, 2015, p. 129).

Contra esse tipo de ação, há também a possibilidade de comutação das frequências de operação do radar através de seus canais pré-definidos, sendo uma excelente MPE contra bloqueios de ponto (BRADAR, 2015, p. 131).

Para furtar-se aos despistamentos provocados pela utilização de *Chaff* por Anv que esteja sendo detectada pelo radar, o sistema possui, na aba Antena, uma caixa que procura minimizar seu efeito por meio da configuração da velocidade e azimute do vento; contribuindo para dirimir os efeitos das ações de guerra eletrônica inimiga sobre o equipamento (BRADAR, 2015, p. 130).

## 5.9 Considerações Parciais

Neste capítulo foi apresentado o radar SABER M60, com a finalidade de analisar suas capacidades e limitações, bem como suas características; para que fosse possível analisar a evolução tecnológica dos radares de busca da Artilharia Antiaérea do Exército Brasileiro e no que essa evolução contribuiu para a capacidade de análise e detecção de alvos.

A fim de ambientar-se sobre o radar SABER M60, foram expostas algumas características sobre o material, como sua capacidade de apresentar, ao operador do radar, informações tridimensionais sobre o alvo, classificar Anv como ameaças ou não, através do radar secundário, diferenciando as de asa fixa para as de asa rotativa; caracterizá-lo como radar LPI, dentre outras características que apresentassem inovações tecnológicas inseridas pelo mesmo.

Procurou-se, então, mostrar as principais características do radar SABER M60, suas possibilidades e limitações; a fim de verificar a evolução que sua inserção

trouxe para a capacidade de análise e detecção dos radares de busca da Artilharia Antiaérea do Exército Brasileiro.

Para isso, foram abordados os principais módulos e funcionalidades do radar que demonstrassem essa evolução, como o módulo de Controle e Radiofrequência, dando enfoque a seu transmissor de estado sólido e a sua unidade digital de processamento de sinais.

Versou-se sobre o radar secundário S60 e a antena primária do radar, composta por 4 (quatro) guias de ondas fendado, que possui ajuste de elevação e inclinação, além de possibilidade de rotação em duas velocidades. Abordou-se o gerador com tensão modificada e unidade de visualização do radar que possibilita ao operador do sensor controlar suas funções através de um *notebook* robustecido.

E então, foram expostas as características de mobilidade e transporte do radar, que possibilitam sua entrada em posição em locais de difícil acesso e com tempo reduzido. Também foi apresentada sua capacidade de acompanhamento, inserção e edição das MCCEA através do *software* de controle presente em sua UV, considerada uma das mais significativas evoluções tecnológicas apresentadas por esse sistema radar, bem como as possibilidades de MPE presentes no mesmo.

Nota-se, ainda, que o radar SABER M60 possui algumas limitações que precisam ser suplantadas, como a não existência de ventilação forçada para evitar que o radar atinja facilmente sua temperatura máxima de utilização; e a impossibilidade do mesmo utilizar a comutação de polarização da onda eletromagnética de horizontal para circular, devido, o mesmo, só possuir a polarização horizontal.

## 6 ANÁLISE COMPARATIVA

Este capítulo tem por objetivo analisar a evolução na capacidade de detecção e avaliação de alvos dos radares de busca da AAAe do Exército Brasileiro através de uma comparação entre o EDT FILA e o radar SABER M60.

### 6.1 Análise Comparativa do Processamento de Sinais e dos Transmissores

Um estudo sobre os capítulos anteriores possibilita inferir que o radar SABER M60 possui alcance mínimo de detecção de 1750 m; pouco mais que os 1320 m do EDT FILA, e alcance útil de 60000 m, 39970 m a mais de alcance, do que os 20240 m de alcance máximo do EDT, o que demonstra um aumento significativo no alcance de detecção do radar SABER M60, em relação ao radar de busca do EDT FILA.

O transmissor do radar SABER M60 é do tipo Estado Sólido. Esta tecnologia vem substituindo, de maneira gradual os transmissores de alta potência, como o TWT do EDT FILA, pois seu tamanho reduzido e baixo custo possibilitam a criação de radares mais baratos e de menores dimensões e peso.

O Radar SABER M60 trabalha na Banda L (1 GHz a 2 GHz), cuja frequência é bem menor que a Banda I (8 GHz a 10 GHz) em que trabalha o radar de busca do EDT FILA, o que possibilita ao SABER M60 possuir comprimento de onda maior que o do EDT FILA e, conseqüentemente, atingir distâncias maiores de detecção.

Com relação ao número de canais de frequência, o radar SABER M60 possui 40 (quarenta) canais que podem ser comutados para se furta a situações em que esteja sofrendo ações de guerra eletrônica; enquanto o EDT FILA possui apenas 5 (cinco) canais.

No entanto, a polarização da onda de radiofrequência emitida pelo SABER M60 é apenas horizontal, o que dificulta a capacidade de se furta aos efeitos gerados pela chuva e ao *Chaff* já que não possui a capacidade de comutar a polarização da onda eletromagnética de horizontal para circular. O EDT FILA pode executar essa comutação, pois possui tanto a polarização horizontal quanto a circular.

A unidade de processamento de sinais do radar SABER M60 possui a capacidade de detectar e acompanhar, simultaneamente, 40 (quarenta) alvos,

obtendo informações tridimensionais dos mesmos e caracterizando-os como Anv de asa rotativa ou fixa. Estas características torna esta unidade de processamento muito mais eficaz que o EDRB do EDT FILA, já que o mesmo acompanha somente 8 (oito) alvos simultaneamente, embora levante informações tridimensionais desses vetores com precisão e indique o mais ameaçador com base em sua velocidade radial e proximidade com o sensor.

Logo, pode-se concluir que, quanto ao alcance de detecção, as características do transmissor, a quantidade e capacidade de comutação de frequências de operação e quanto à capacidade de processamento de sinais, o radar SABER M60 mostrou-se mais evoluído que o radar de busca do EDT FILA. Porém, O EDT FILA tem a possibilidade de comutar a polarização da onda eletromagnética emitida de horizontal para circular, e vice versa, o que não é possível no SABER M60.

## 6.2 Análise comparativa da Antena Primária e Radar Secundário

No subcapítulo 5.3 foram abordadas as características do radar secundário (S60) do SABER M60, onde se verificou que o mesmo interroga as aeronaves através dos modos 1, 2, 3A e C e permite a seleção dos modos de funcionamento através da interrogação dos quatro modos dois a dois a cada giro da antena ou utiliza até 3 (três) dos 4 (quatro) modos de interrogação, simultaneamente, em todos os giros da antena. Possui, ainda, ajuste de inclinação de  $5^{\circ}$  a  $27^{\circ}$ , independente do mecanismo de ajuste da antena primária, o que possibilita ajustar em elevação a emissão da interrogação conforme necessário. Este sistema IFF é mais evoluído tecnologicamente do que o do EDT FILA, que interroga nos modos 1, 2 e 3A, não possuindo o modo C, responsável por informar altitude do alvo e nem o ajuste de inclinação de sua antena, pois a mesma é solidária à antena primária.

A antena do radar primário do SABER M60 é composta por quatro guias de ondas com fendas e pode ser ajustada em inclinação de  $-2^{\circ}$  a  $10^{\circ}$ ; o que possibilita ajustar em elevação a emissão do feixe de RF conforme necessário. O EDT FILA possui como antena de seu radar de busca uma Cossecante ao Quadrado o que possibilita ao feixe de radiofrequência emitido pelo mesmo ter maior ganho em sua porção inferior e conseqüentemente melhor detecção de alvos na faixa de emprego de baixa altura; porém, não possui a capacidade de ajustar sua inclinação.

O Saber M60 tem a capacidade de programar a velocidade de rotação da antena em 7,5 RPM ou 15 RPM, o que possibilita ao mesmo iluminar um alvo por mais ou menos tempo, influenciando na precisão das informações advindas do mesmo e incrementando mais uma medida de proteção contra ataques eletrônicos. Esse aspecto evidencia mais uma evolução tecnológica em relação ao radar de busca do EDT FILA que possui apenas uma velocidade de rotação de sua antena.

Conclui-se, então, que quanto às características do sistema IFF e da antena do radar primário, o SABER M60 demonstrou evolução se comparado ao radar de busca do EDT FILA.

### 6.3 Análise comparativa da Transportabilidade, da Mobilidade e do Gerador.

O SABER M60 possui baixo peso, 848,85 Kg; e dimensões reduzidas, 3,20m X 3,20m X 2,85m; que devido sua constituição modular, o habilita ser dividido em 6 (seis) caixas facilitando seu desdobramento e ocupação de posição em terrenos de difícil acesso; além da capacidade de ser transportado por vários modais, desde rodoviários, aéreos, via helicópteros por carga externa ou interna, e até fluviais de baixa capacidade de peso, como voadeiras.

O EDT FILA possui peso elevado, 5500 Kg, grandes dimensões 6,355m X 2,353m X 2,300m, e só pode ocupar posições que permitam acesso da viatura que o reboca, o que dificulta seu transporte através dos modais mencionados acima. Essas características influenciam diretamente na ocupação de posição, podendo influenciar na sua capacidade de detecção e busca de alvos.

O gerador do radar SABER M60 possui peso reduzido, 65 Kg, é econômico, pois consome 2L de diesel por hora, o que possibilita boa autonomia de funcionamento ao sensor. O grupo gerador do EDT FILA que possui dimensão e peso mais elevados, 400 Kg, o que dificulta seu transporte, e consome grande quantidade de combustível, 9L à 14L de gasolina por hora de funcionamento. Comparando-se ambos os geradores verifica-se que o do SABER M60 é mais eficiente que o do EDT FILA.

Quanto às características de transporte, mobilidade e de seu gerador, conclui-se que o radar SABER M60 é mais evoluído que o EDT FILA, pois sua capacidade de ser montado, desmontado e transportado por uma extensa gama de modais, aliado a suas pequenas dimensões e ao seu gerador pequeno e econômico

capacitam ao sensor operar em regiões em que o EDT FILA não consegue ser posicionado.

#### 6.4 Análise Comparativa Complementar

Neste subcapítulo, com a finalidade de complementação da análise realizada nos subcapítulos anteriores, serão abordados o Sistema UV do radar SABER M60 e sua limitação quanto à faixa de temperatura de operação.

O Sistema UV do radar SABER M60 é constituído por um *notebook* robustecido que utiliza um *software* capaz de adicionar, remover e editar os elementos de medidas de coordenação e controle do espaço aéreo, constituindo-se em uma interface gráfica de comando e controle de toda a DA Ae em que o SABER M60 está inserido. Este mesmo *software* possibilita a criação de setores de bloqueio que interrompem a emissão da RF no setor delimitado pelo operador, quando estiver sofrendo um ataque eletrônico.

O EDT FILA não possui as capacidades citadas acima; o que demonstra uma evolução do radar SABER M60 em relação ao EDT FILA, no que tange a capacidade de MPE, coordenação do espaço aéreo e da DA Ae como um todo.

Outro aspecto importante a ser considerado é a limitação do radar SABER M60, que não se encontra presente no EDT FILA, quanto a sua faixa de temperatura de funcionamento de  $-25^{\circ}$  a  $+45^{\circ}$ . Isto pode obrigar o operador do mesmo a interromper sua utilização caso a temperatura suba acima de  $+45^{\circ}$ , pois o equipamento não possui ventilação forçada; provocando, assim, lacunas no monitoramento do espaço aéreo defendido.

Logo, o Sistema UV do radar SABER M60 e seu *software* implementaram mais uma evolução tecnologia deste sensor em relação ao EDT FILA com a possibilidade de inserir MCCEA e coordenar e controlar a DA Ae em que o mesmo está operando; porém, a falta de mecanismo para controlar a temperatura de operação do radar demonstra uma limitação do SABER M60.

## 6.5 Considerações Parciais

Neste capítulo foi realizada uma análise das principais características do radar SABER M60 e do radar de busca do EDT FILA através de uma comparação entre ambos, a fim de verificar a evolução na capacidade de análise e detecção de alvos do EDT FILA para o SABER M60.

Buscou-se atingir este objetivo através da análise comparativa do processamento de sinais, dos transmissores, da antena primária e do radar secundário desses equipamentos; que são aspectos diretamente relacionados ao desempenho da capacidade de busca e detecção de alvos dos dois radares.

As características de mobilidade, transportabilidade e o gerador desses radares foram analisadas, embora sejam aspectos que não estão diretamente ligados à capacidade de busca e detecção dos mesmos, mas que possibilitam maior eficiência e operacionalidade aos sensores.

A análise foi complementada com a verificação da existência do Sistema UV do radar SABER M60 e seu *software*, que implementam a possibilidade de controle do espaço aéreo e da DA Ae da área ou ponto a ser defendido pela AAAe. Também, analisou-se a limitação quanto à faixa de temperatura de operação do radar SABER M60, e a falta de ventilação forçada para controlá-la.

Após a apresentação das características, possibilidades e limitações dos dois sensores nos capítulos anteriores, elaborou-se a seguinte tabela:

	<b>EDT FILA</b>	<b>SABER M60</b>
<b>ALCANCE</b>	Mínimo: 1320 m Máximo: 20240 m	Mínimo: 1750 m Máximo: 60000 m Máximo do radar secundário: 82000 m
<b>PROCESSAMENTO DE SINAIS E TRANSMISSÃO</b>		
<b>TRANSMISSOR</b>	Pulso Doppler coerente TWT	Transmissor de estado sólido
<b>FAIXA DE FREQUÊNCIA</b>	Banda I	Banda L
<b>Nº DE CANAIS DE FREQUÊNCIA</b>	5 canais	40 canais
<b>POLARIZAÇÃO</b>	Circular/ Horizontal	Horizontal
<b>CAPACIDADE DE DETEÇÃO</b>	8 alvos simultaneamente	40 alvos simultaneamente
<b>INFORMAÇÕES DOS ALVOS</b>	3D	3D
<b>CLASSIFICAÇÃO DE AERONAVES</b>	Não Classifica	Asa Fixa/Asa Rotativa
<b>ANTENAS PRIMÁRIAS E RADAR SECUNDÁRIO</b>		
<b>INTERROGAÇÃO IFF</b>	1, 2 e 3A	1, 2, 3A e C
<b>AJUSTE DE INCLINAÇÃO DA ANTENA DO IFF</b>	Não Possui	De 5° a 27°

	<b>EDT FILA</b>	<b>SABER M60</b>
<b>ANTENA PRIMÁRIA</b>	Cossecante ao quadrado	4 Guias de Ondas com Fendas
<b>VELOCIDADE DE ROTAÇÃO DA ANTENA PRIMÁRIA</b>	60 RPM	7,5 RPM a 15 RPM
<b>AJUSTE DE INCLINAÇÃO DA ANTENA PRIMÁRIA</b>	Não Possui	de -2° a 10°
<b>GERADOR</b>		
<b>GERADOR</b>	Gasolina	Diesel
<b>PESO DO GERADOR</b>	400 kg	65 kg
<b>CONSUMO DO GERADOR</b>	9L à 14L por hora	2 L por hora
<b>TRANSPORTE E MOBILIDADE</b>		
<b>PESO</b>	5500 Kg	848, 85 Kg
<b>DIMENSÕES</b>	6,355m X 2,353m X 2,30m	3,20m X 3,20 X 2,85
<b>TRANSPORTE</b>	Auto Rebocado	Modular (6 Caixas)
<b>MEDIDAS DE PROTEÇÃO ELETRÔNICA</b>		
<b>COMUTAÇÃO DA VELOCIDADE DE ROTAÇÃO DA ANTENA</b>	Não	Sim
<b>COMUTAÇÃO DE FREQUÊNCIA</b>	Automática / Manual	Manual
<b>MPE CONTRA CHAFF</b>	Sim	Sim
<b>SETOR DE BLOQUEIO DE RF</b>	Não	Sim
<b>MUDANÇA DE POLARIZAÇÃO HORIZONTAL/CIRCULAR</b>	Sim	Não

Tabela 6.1 – Tabela de características do EDT FILA e radar SABER M60  
Fonte: O Autor.

Após analisar as características atinentes tanto a emissão, recepção e processamento de sinais quanto à mobilidade e transportabilidade dos dois sensores, conclui-se que o radar SABER M60 possui maior capacidade de busca e detecção de alvos do que o radar de busca do EDT FILA; entretanto, há algumas limitações que devem ser suplantadas.

## 7 CONCLUSÃO

Este trabalho se ateve à seguinte problemática: a evolução tecnológica do radar de busca do EDT FILA para o SABER M60 aprimorou a capacidade de análise e detecção de alvos da Artilharia Antiaérea do Exército Brasileiro?

Com o intuito de chegar à resolução deste problema, buscou-se apresentar as características das ameaças aéreas atuais que realizam suas ações no envelope de emprego da baixa altura, e suas possibilidades; bem como os tipos de radares presentes na Artilharia Antiaérea brasileira e seus princípios de operação, com a finalidade de facilitar o entendimento sobre alguns aspectos da evolução tecnológica evidenciados nos radares de busca do EDT FILA e SABER M60.

Então, apresentou-se o EDT FILA, com a finalidade de analisar as capacidades e limitações do seu radar de busca, bem como suas características; e também, o radar SABER M60, com a mesma finalidade; para que, através de uma comparação entre estes sensores, fosse possível resolver a problemática proposta para este trabalho.

Por meio da análise das características das ameaças aéreas atuais, concluiu-se que cada vez mais, há uma evolução tecnológica e tática do vetor aéreo, que utiliza a faixa de emprego da baixa altura, para contrapor-se aos radares de busca que procuram detectar ameaças nessa faixa; e que obriga a estes sensores que se modernizem e evoluam também.

No que diz respeito aos tipos de radares presentes na Artilharia Antiaérea brasileira e seus princípios de operação, esclareceu-se em que nicho dos tipos de sensores de detecção os objetos de pesquisa desse trabalho estão inseridos, a saber: radares pulsados e do tipo busca; e apresentou-se seu princípio de operação e funcionamento.

Por intermédio da análise das capacidades e limitações, bem como as características do EDT FILA, verificou-se que o mesmo possui grande capacidade de busca e detecção de alvos com grande precisão e que, sua inserção, na década de 1980, na AAAe do Exército Brasileiro trouxe ao sistema de DA Ae grande salto tecnológico; embora o material seja antigo, possua limitação a um pequeno número de aeronaves detectadas simultaneamente, e dificuldade de transporte e acesso limitado a determinadas áreas devido suas grandes dimensões.

Ao apresentar o radar SABER M60, analisar suas características, possibilidades e limitações, e comparar, as que se julgaram mais importantes, com as do EDT FILA, constatou-se que apesar de suas limitações como a não existência de ventilação forçada para evitar que o radar atinja facilmente sua temperatura máxima de utilização e a existência de apenas um tipo de polarização de onda, a saber, a polarização horizontal, o radar SABER M60 aprimorou a capacidade de análise e detecção de alvos; não somente pela sua característica de emissão e processamento de sinais, que se mostrou superior ao do EDT FILA, mas também pela sua característica de transporte e mobilidade que possibilita sua entrada em posição em locais de difícil acesso e com tempo reduzido.

Junta-se a essa análise o fato de radar SABER M60 estar inserido no Projeto Estratégico do Exército Defesa Antiaérea que visa à atualização do sistema de DA Ae a fim de atender as exigências da Estratégia Nacional de Defesa (END) e às do Sistema de Defesa Aeroespacial Brasileiro (SISDABRA). Este projeto tem como finalidade modernizar os meios de AAAe com materiais modernos e em quantidade mínima suficiente para atender, principalmente, a DA Ae das estruturas estratégicas do Brasil, estando o radar SABER M60 incluído como peça fundamental no reestabelecimento da capacidade operacional da AAAe de baixa altura (NETO e NOVAES, 2011, p.30,31 e 32).

O radar SABER M60 também foi desenvolvido para atuar no Projeto Estratégico do Exército que visa o monitoramento das fronteiras do país e outras áreas de interesse do território nacional, o SISFRON. O Centro Tecnológico do Exército (CTEx) em conjunto com a BRADAR desenvolveu o radar SABER M60 atendendo aos requisitos da Estratégia Nacional de Defesa (END) quanto à reorganização da indústria nacional de material de defesa através do desenvolvimento de tecnologia nacional independente (PINTO, 2013, p. 56).

A END, através do Projeto Estratégico do Exército Defesa Antiaérea, ainda prevê em suas prioridades “estabelecer a capacidade de atuar na defesa aeroespacial com artilharia antiaérea de média altura” (NETO e NOVAES, 2011, p. 32), contexto em que está inserido o desenvolvimento do radar SABER M200, que vem a ratificar a capacidade de evolução e a qualidade dos radares de produção e tecnologia nacional da AAAe do Exército Brasileiro.

O radar SABER-M200 além de atuar no modo busca como SABER M60, opera também nos modos vigilância e sistema de orientação de tiro. É um radar

transportável que atua na faixa de emprego de média altura, desenvolvido integralmente com tecnologia de estado sólido, podendo chegar ao alcance de 200 km (BRADAR, 2017).

Logo, conclui-se que houve grande evolução tecnológica nos radares de busca da AAAe do Exército Brasileiro, quando se compara o radar SABER M60 ao radar de Busca do EDT FILA, principalmente no que diz respeito à capacidade de análise e detecção de alvos e, também, a sua capacidade de transporte e mobilidade.

Junta-se a isso a característica deste material ser de desenvolvimento e fabricação nacional, através da parceria entre o Centro Tecnológico do Exército (CTEx) e a BRADAR, atendendo ao preconizado pela Estratégia Nacional de Defesa quanto ao desenvolvimento de tecnologia nacional nos materiais de defesa.

Sua presença em dois Projetos Estratégicos do Exército, o Defesa Antiaérea e o SISFRON, ratifica sua importância para a defesa nacional. Corrobora para isso o desenvolvimento do radar SABER M200 que advém do sucesso de seu projeto; representando um grande salto tecnológico nas capacidades e objetivos dos radares nacionais, a saber, a faixa de emprego da média altura.

Portanto, esta evolução na capacidade de busca, detecção e análise de alvos advinda da inserção do Radar SABER M60 na AAAe do Exército Brasileiro não se mostra, apenas, como uma evolução de ordem tecnológica, mas também de suma importância estratégica para a manutenção do exercício da soberania no espaço aéreo brasileiro, capacidade de dissuasão nacional e evolução da indústria nacional de material de defesa.

## REFERÊNCIAS

BARROSO, João Márcio Pavão. **Diagnóstico da Situação dos Equipamentos de Direção de Tiro do Exército Brasileiro**. Informativo Antiaéreo, publicação científica, 2007.

BRADAR. **Apostila de Treinamento de Operação e Manutenção de Primeiro Escalão Radar SABER M60**, de 03 de junho de 2015.

\_\_\_\_\_. **Radar SABER M200**. Disponível em: <http://www.bradar.com.br/en/component/content/article/2-geral/14-radar-saber-m200.html>, acesso em 09 de setembro de 2017 às 1300hs.

BRASIL. Força Aérea Brasileira, Comando Aéreo de Treinamento, Grupo de Instrução Tática e Especializada. Força Aérea Brasileira. (2001). **Apostila do Curso Operacional de Guerra Eletrônica. Princípios de Radar**. Brasília, 2001.

\_\_\_\_\_. Exército. Estado-Maior. **C 44-61: Manual de Campanha Serviço da Peça do EDT FILA**. 2. ed. Brasília, DF, 2003.

\_\_\_\_\_. Exército. Estado-Maior. **C 44-1: Manual de Campanha Emprego da Artilharia Antiaérea**. 4. ed. Brasília, DF, 2011.

\_\_\_\_\_. Exército. Departamento de Educação e Cultura do Exército. **EB60-ME-23.014: Manual de Ensino Princípios Básicos de Radar**, 1ª Edição, 2014.

\_\_\_\_\_. Exército. Departamento de Educação e Cultura do Exército. **EB60-ME-23.020: Manual de Ensino Introdução à Guerra Eletrônica de Não Comunicações na Defesa Antiaérea e na Defesa de Costa e Litoral**, 3ª Edição, 2014.

\_\_\_\_\_. Exército. Departamento de Educação e Cultura do Exército. **EB60-MT-23.401: Manual Técnico Operação do Radar SABER M60**, 1ª Edição, 2016.

CONCEIÇÃO, Marcelo Eduardo de Souza. **A influência do radar SABER-M60 na estrutura organizacional das baterias de Artilharia Antiaérea.** Ministério da Defesa – Exército Brasileiro – Escola de Artilharia de Costa e Antiaérea, Rio de Janeiro, 2009.

De CAMPOS, Renato Rocha Drubsky. **Os Sistemas Antiaéreos 35 mm Oerlikon Contraves e 40 mm FILA BOFORS: Possibilidades e Limitações Frente às Principais Aeronaves de Ataque Utilizadas no Cenário da América do Sul.** Informativo Antiaéreo, publicação científica, 2010.

EsACosAAe. **ME B-2 Manual Escolar Descrição e Funcionamento EDT FILA.** Rio de Janeiro, 2ª Edição, 2002.

MACHADO, Mario Cesar Silva. **O Emprego do Veículo Aéreo não Tripulado.** Informativo Antiaéreo, publicação científica, 2006.

NETO, Antonio Victorino Pereira Balthazar e NOVAES, Robson Lapoente. **O Macroprojeto Defesa Antiaérea.** Informativo Antiaéreo, publicação científica, 2011.

PINTO, Diogo Emilião. **O Emprego do radar SABER M60 no SISFRON - Considerações.** Informativo Antiaéreo, publicação científica, 2013.

TREVILATO, Jefferson Brigato. **Evolução tecnológica dos radares utilizados na Artilharia Antiaérea brasileira.** Ministério da Defesa – Exército Brasileiro – Escola de Artilharia de Costa e Antiaérea, Rio de Janeiro, 2013.