

# 1º/10º GRUPO DE AVIAÇÃO



DAVID CÂMARA SIMÕES – 1º TEN AV

CONSIDERAÇÕES SOBRE O IMPACTO DA  
PREDIÇÃO DE ALCANCE RADAR NO  
PLANEJAMENTO DE ATAQUE AÉREO A ALVOS  
DEFENDIDOS

*Monografia*

*2015*

David Câmara Simões – 1º Ten Av

**CONSIDERAÇÕES SOBRE O IMPACTO DA PREDIÇÃO  
DE ALCANCE RADAR NO PLANEJAMENTO DE  
ATAQUE AÉREO A ALVOS DEFENDIDOS**

*Monografia*

SANTA MARIA  
TERCEIRA FORÇA AÉREA  
1º/10º GRUPO DE AVIAÇÃO

2015

Simões, David Câmara

“Considerações sobre o Impacto da Predição de Alcance Radar no Planejamento de Ataque Aéreo a Alvos Defendidos” / David Câmara Simões.

Santa Maria, 2015.

Número de folhas no formato 34f.

Monografia. Esquadrão Poker, 2015.

1. Radar 2. Predição de Alcance 3. RCS

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

SIMÕES, David Câmara. “**Considerações sobre o Impacto da Predição de Alcance Radar no Planejamento de Ataque Aéreo contra Alvos Defendidos**”. 2015. 34f.

Monografia, Santa Maria.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

NOME DO AUTOR: 1º Ten Av DAVID CÂMARA SIMÕES

TÍTULO DO TRABALHO: CONSIDERAÇÕES SOBRE O IMPACTO DA PREDIÇÃO DE ALCANCE RADAR NO PLANEJAMENTO DE ATAQUE AÉREO A ALVOS DEFENDIDOS

TIPO DO TRABALHO/ANO: Monografia / 2015

É concedida à Associação Brasileira de Pilotos de Caça (ABRA- PC) e aos demais membros das Forças Armadas do Brasil permissão para reproduzir cópias deste trabalho para propósitos acadêmicos, científicos e operacionais. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia pode ser reproduzida sem a autorização do autor.



1º Ten Av DAVID CÂMARA SIMÕES

Av. Itaimbé, nº 685, Apt 101, Centro. CEP: 97050-331, Santa Maria-MS.

davidcamarasms@gmail.com

## **Resumo**

Em um conflito armado moderno, expor-se dentro do território inimigo para realizar um ataque aéreo implica grande risco de detecção radar. Mesmo que haja informações confiáveis e atualizadas sobre o sistema de vigilância do espaço aéreo inimigo, vetores de caça mais antigos, deficientes de um pacote de Guerra Eletrônica moderno não fornecem consciência situacional adequada para que o piloto possa, em tempo hábil, defender-se contra uma ameaça aérea ou terrestre, caso detectado durante sua incursão.

Poder predizer o alcance dos radares inimigos aumenta a probabilidade de uma missão de ataque ser bem sucedida. Como resultado do aperfeiçoamento dessa capacidade, espera-se também a redução de perdas materiais e humanas, que constituem elementos essenciais e de difícil reposição.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Stinger em fase de lançamento.....	11
Figura 2 - Horizonte Radar .....	15
Figura 3 – Defesa em Todas as Direções.....	18
Figura 4 - análise de intervisibilidade.....	20
Figura 5- aeronave F-18 em ensaio de RCS dentro de câmara anecóica.....	21
Figura 6 - medição de RCS da aeronave Tornado em escala reduzida .....	22
Figura 7 – Ponto Defendido por Defesas Aérea e Antiaérea .....	24
Figura 8: Aplicação do Horizonte Radar .....	26
Figura 9: Aplicação da Ferramenta de Predição de Alcance Radar .....	27
Figura 10- Diagrama de Incerteza do Alcance Radar.....	28
Figura 11- Aplicação Híbrida.....	30

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Condições de Contorno .....	24
Tabela 2: Parâmetros do Radar Fictício.....	25
Tabela 3- Características da AAAe .....	25
Tabela 4 – síntese dos resultados .....	32

## ***LISTA DE ABREVIATURAS***

*AAe – Artilharia AntiAérea*

*AREPS - Advanced Refractive Effects Prediction System*

*C<sup>2</sup> – Comando e Controle*

*CIA – Central Intelligence Agency*

*DA – Defesa Aérea*

*dB - Decibéis*

*DCA – Diretrizes do Comando da Aeronáutica*

*EUA – Estados Unidos da América*

*FAB – Força Aérea Brasileira*

*FRP – Frequência de Repetição de Pulso*

*GE – Guerra Eletrônica*

*IV - Infravermelho*

*MAGE – Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica*

*MANPADS – Man-Portable Air-Defense System*

*MCA – Manual do Comando da Aeronáutica*

*NM – Nautical Mile*

*Pd – Probabilidade de detecção*

*Pfa – Probabilidade de falso alarme*

*PMA II – Sistema de Planejamento de Missões Aéreas II*

*PW – Pulse Width*

*RCS – Radar Cross Section*

*RF – Radiofrequência*

*SA - Situational Awareness*

*SAMs – Surface to Air Missiles*

## SUMÁRIO

1	Introdução.....	9
1.1	Histórico de Combates.....	9
1.1.1	Guerra do Yom Kippur – 1973.....	9
1.1.2	Guerra Afegã-Soviética - 1979.....	10
1.2	Motivação.....	11
1.3	Definição do problema.....	12
1.4	Objetivo do trabalho .....	12
1.5	Divisão do trabalho.....	12
2	Aspectos Teóricos.....	13
2.1	Introdução.....	13
2.2	Radar .....	13
2.3	Seção Reta Radar (RCS).....	13
2.4	Equação Radar.....	14
2.5	Horizonte Radar.....	15
2.6	Sistema de Planejamento de Missões Aéreas – PMA II.....	16
2.7	Defesa Aérea (DA) .....	16
2.8	Defesa Antiaérea.....	16
2.8.1	Características Gerais.....	16
2.8.2	Conceito de Defesa em Todas as Direções .....	18
2.8.3	Man Portable Air Defense System (MANPADS) .....	18
2.9	Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica.....	19



3	Predição de Alcance Radar .....	19
3.1	Introdução.....	19
3.2	Plugin Predição de Alcance Radar - PMA 2.8 .....	19
3.2.1	Considerações sobre a Ferramenta .....	20
3.2.2	Introdução de Proposta para Estimativa de RCS.....	21
3.2.2.1	Medição de RCS em Alvos de Escala Reduzida.....	22
4	Simulação .....	23
4.1	Introdução.....	23
4.2	Parâmetros de Contorno da Simulação .....	23
4.2.1	Aplicação do Alcance Nominal.....	25
4.2.2	Aplicação do Horizonte Radar .....	26
4.2.3	Aplicação da Ferramenta de Predição de Alcance Radar .....	27
4.2.4	Proposta de Aplicação Híbrida.....	27
5	Conclusão .....	30
5.1	Resultados Alcançados .....	31
5.2	Considerações Finais .....	33
5.3	Propostas para Trabalhos Futuros.....	33
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	34

# 1 Introdução

## 1.1 Histórico de Combates

Com a introdução do MANPADS no cenário de combate a partir da década de 70, pôde-se notar seu impacto sobre uma série de conflitos armados onde foi necessário penetrar em território inimigo e avançar em direção a posições defendidas por esses sistemas. Por vezes resultou em uma verdadeira modificação no rumo da guerra.

Neste tópico serão apresentados breves exemplos dessas beligerâncias, com ênfase em situações de interesse para o Trabalho.

### 1.1.1 Guerra do Yom Kippur – 1973

A guerra de Yom Kippur foi um conflito travado entre uma coalizão de estados árabes, liderados por egípcios e sírios, contra Israel.<sup>1</sup> Historicamente esta guerra pode ser considerada como o marco inicial do uso dos MANPADS em conflitos bélicos.

Devido à presença desse sistema, repassado pela União Soviética aos estados árabes, a tática de voar a baixa altura com os caças-bombardeiros A-4 *Skyhawk*, de modo a prevenir a detecção radar, foi anulada. Tal fato evidenciou uma vantagem inicial frente à Força Aérea Israelense.<sup>2</sup>

Com os SA-7 *Strela-2* foram abatidas doze aeronaves e danificadas gravemente outras dezoito. Isso fez com que os israelenses modificassem parte de suas táticas aéreas.<sup>1</sup> Como exemplo dessas readaptações, pode-se citar o novo perfil de navegação usado pelos caças israelenses, que passaram a voar em altitudes médias. Porém, tal alteração ainda favoreceu ao envelope de alcance dos tanques antiaéreos do tipo *Tunguska* e dos SAMs convencionais de posse da Força de Coalizão.<sup>2</sup>

Somada a outros fatores, como o nível de treinamento dos pilotos de caça egípcios, a presença de MANPADS nesse conflito contribuiu para que a guerra aérea

mantivesse um equilíbrio tático, o qual seria difícil prever frente à conhecida capacidade da Força Aérea Israelense.<sup>2</sup>

### **1.1.2 Guerra Afegã-Soviética - 1979**

A guerra Afegã-Soviética foi marcada por um conflito civil no Afeganistão com envolvimento militar direto da União Soviética, se estendendo de 1979 a 1989. Travada durante a Guerra Fria, os soviéticos lutaram junto às tropas do governo afegão contra guerrilheiros mujahidins de diversas nacionalidades.<sup>3</sup>

Durante parte do conflito, a Força Aérea Soviética exerceu o domínio dos céus sem muita dificuldade, favorecida pelo fato dos rebeldes não possuírem aeronaves. Sendo assim, executavam diversas surtidas sem sofrer efetiva oposição, principalmente no início da guerra.<sup>3</sup>

Em certo momento do conflito, a Agencia de Inteligência Americana - CIA e os sauditas começaram a planejar o suporte aos mujahidins para que eles pudessem frear a ameaça aérea. Os americanos então forneceram aos rebeldes afegãos MANPADS denominados FIM-92 Stinger, bem como prestaram o suporte técnico à operação do equipamento.<sup>3</sup>

A introdução de MANPADS com emprego do SAM Stinger modificou o rumo do conflito no ar. O domínio aéreo soviético passou então a ser ameaçado. As aeronaves Su-25 e Mi-24 eram extremamente vulneráveis a esse tipo de arma, pois voavam baixo e lento dentro do envelope de emprego do Stinger.<sup>3</sup>

A partir de então, os mujahidins começaram a abater pelo menos uma aeronave soviética por dia. Tal perda elevava consideravelmente o custo da guerra e, possivelmente, foi um dos principais fatores a fazer com que o governo soviético considerasse a retirada do Afeganistão.<sup>3</sup>

Com um índice de acerto de 70% e mais de 350 aeronaves derrubadas em apenas dois anos, o Stinger se tornou fator de relevância na derrota soviética, a época intitulado por analistas americanos de "*Stinger Effect*" ("Efeito Stinger").<sup>3</sup>

Figura 1- Stinger em fase de lançamento



Fonte: WIKIPEDIA (2015)<sup>3</sup>

## 1.2 Motivação

De acordo com a DCA 1-1 atinente à Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira, o alicerce do preparo e emprego da FAB constitui-se de três pilares: Missão, Visão e Doutrina. Com relação à formulação doutrinária, em sentido amplo, essa é baseada sobretudo em experiências e deve transmitir as melhores práticas até então conhecidas e aprovadas.

Em razão das evoluções técnico-científicas dos meios disponíveis ao emprego militar, evidencia-se a necessidade de uma contínua busca por práticas mais adequadas aos cenários de conflitos armados modernos, a fim de que haja experiência adequada ao processo de desenvolvimento da Doutrina em níveis estratégico, operacional e tático.

Com vistas a aprimorar a metodologia de planejamento de missões aéreas destinadas ao ataque em território sujeito à detecção radar, faz-se mister o estudo acerca da predição de alcance radar.

### **1.3 Definição do problema**

Realizar incursão em território sujeito a detecção radar para condução de uma missão de ataque aéreo consiste em grande risco ao piloto. Principalmente tratando-se de vetores de caça mais antigos que não fornecem consciência situacional adequada, é fundamental a busca pela furtividade.

Portanto, tendo em vista a necessidade de se manter “invisível”, é fundamental o desenvolvimento adequado de uma metodologia de planejamento de missão com base nas regiões de sombra radar.

### **1.4 Objetivo do trabalho**

O objetivo deste trabalho é apresentar considerações sobre o impacto da Predição de Alcance de radares de Busca e Vigilância inimigos, na viabilização e planejamento de uma missão de Ataque Aéreo a alvos defendidos por AAAe e meios de DA.

### **1.5 Divisão do trabalho**

Para atingir o objetivo, o presente trabalho foi dividido em seis capítulos. Em princípio, o segundo capítulo apresenta conceitos sobre radares. Ainda neste capítulo, são abordadas questões de Defesa Aérea e Defesa Antiaérea.

No terceiro capítulo são abordados aspectos atinentes à questão da predição de alcance radar bem como uma proposta de medição de Seção Reta Radar.

No quarto capítulo é realizada a simulação de uma missão de ataque aéreo a um alvo defendido por Artilharia Antiaérea e meios de Defesa Aérea, sob o ponto de vista da aplicação do Alcance Radar, do Horizonte Radar, da Ferramenta de Predição de Alcance Radar e de uma proposta de síntese de conceitos.

No capítulo conclusivo são apontados os impactos observados, as considerações finais e as recomendações para trabalhos futuros.

## 2 Aspectos Teóricos

### 2.1 Introdução

Este item apresenta alguns conceitos básicos para uma melhor compreensão do Estudo.

### 2.2 Radar

O termo RADAR deriva da expressão “*Radio Detection And Ranging*”. Consiste em um sistema ativo de detecção através do uso do espectro eletromagnético, onde ocorre a transmissão de um sinal que, ao ser refletido no Seção Reta Radar do alvo, parte dele retorna e sensibiliza a antena receptora.

Quando a antena transmissora do sistema radar é também a antena receptora, denomina-se radar monoestático. Esse tipo será empregado na simulação do Capítulo 5, além dos conceitos atinentes aos radares terrestres de busca e aquisição de alvos aéreos, cujas funções básicas são detecção, determinação de posição e direcionamento dos meios de defesa.

Por fim, o radar simulado será tridimensional (3D), ou seja, capaz de fornecer informações de azimute, altitude e distância do alvo.

### 2.3 Seção Reta Radar (RCS)

Quando um alvo é atingido pela emissão de um radar, ocorre o espalhamento desta energia eletromagnética no espaço. A área resultante, percebida pelo radar, varia em função de diversos fatores, tais como: composição, formato, tamanho, ângulo de aspecto do alvo e, também, das características da onda incidente. A essa região ou área fictícia, denomina-se de Seção Reta Radar ou *Radar Cross Section* (RCS), fator importante para a predição de alcance radar.<sup>4</sup>

## 2.4 Equação Radar

A Equação Radar surgiu durante a Segunda Guerra Mundial, com o intuito de possibilitar, de maneira prática, a análise da performance de um sistema radar e para orientar os projetistas.<sup>5</sup> Em um primeiro momento, a literatura alusiva ao assunto foi objeto de restrições, pois constituía questão de segurança militar, sendo divulgada somente após o término da Guerra.<sup>5</sup>

Atualmente a Equação Radar é extensamente encontrada na literatura aplicada ao contexto da GE e existem várias formas de abordá-la, variando conforme o que se pretende analisar.

Para um radar monoestático pulsado, a Equação pode ser expressa pela relação sinal-ruído da seguinte maneira:<sup>6</sup>

$$\frac{S}{N} = \frac{P_T G_a^2(\theta_t, \phi_t) \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4 L_R N_0} \sigma \quad (1)$$

Onde  $G_a(\theta_t, \phi_t)$  é a função do ganho da antena na direção do alvo,  $\lambda$  é o comprimento de onda da portadora,  $N_0$  é a potência média do ruído térmico na saída do receptor e  $\sigma$  é a RCS na posição  $(R, \theta_t, \phi_t)$ , em um sistema de orientações angulares.  $R$  é a distância entre o Radar e o alvo,  $L_R$  são as perdas relativas ao sistema Radar e ao meio.  $P_T$  é a potência de pico, ou seja, a potência média da portadora do sinal enviado.<sup>6</sup> Para mais detalhes da Equação 1, consultar bibliografia.

Outra maneira de apresentação da Equação Radar e de maior interesse para este trabalho reside na forma de alcance máximo, expressa da seguinte maneira:

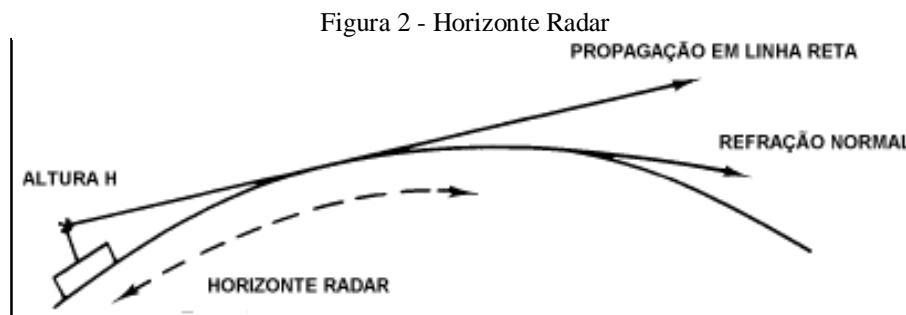
$$R = \sqrt[4]{\frac{P_T G_a^2(\theta_t, \phi_t) \lambda^2}{(4\pi)^3 L_R N_0 D} \sigma} \quad (2)$$

Em que o fator D (originário de detecção) pode ser entendido como sendo a relação sinal ruído (S/N) necessária na saída do receptor, para que seja possível detectar o alvo.

Existe uma abordagem estatística e de relação de compromisso entre a probabilidade de o sinal ser detectado pelo radar ( $P_d$ ) e a probabilidade dessa detecção ser um falso alarme ( $P_{fa}$ ), porém, não é objetivo deste trabalho os aprofundamentos conceituais e matemáticos, bastando ser dito que tais fatores probabilísticos são importantes na avaliação de performance de um sistema radar.

## 2.5 Horizonte Radar

Um importante fator que influencia no alcance radar é a refração atmosférica. O efeito da refração normal, em condições atmosféricas padrões consiste em encurvar a trajetória das ondas radar de acordo com o perfil de curvatura da Terra, aumentando assim, o horizonte radar em relação ao horizonte geográfico.<sup>7</sup>



Fonte: MIGUENS (1994)<sup>7</sup>

Uma maneira prática de estimar o Horizonte Radar, em milhas náuticas (NM), é através da seguinte aproximação:

$$R_H = 1,23(\sqrt{H_{radar}} + \sqrt{H_{alvo}}) \quad (3)$$

Onde  $H_{radar}$  é a altura da antena do radar e  $H_{alvo}$  é a altura de voo do alvo, ambas em pés (ft).



É importante ressaltar que efeitos como dutos atmosféricos, super-refração e sub-refração podem aumentar ou reduzir este alcance. Porém, o estudo da propagação atmosférica não será abordado neste trabalho dada a sua extensão.

## **2.6 Sistema de Planejamento de Missões Aéreas – PMA II**

Atualmente o PMA II, desenvolvido pelo IEAv, é utilizado operacionalmente como ferramenta de planejamento de missão por diversos esquadrões da FAB. Para o contexto deste trabalho, será explorada mais adiante a ferramenta de Predição de Alcance Radar concernente à versão 2.8 do PMA II.

## **2.7 Defesa Aérea (DA)**

Defesa aérea consiste na ação de empregar recursos de Força Aérea com vistas a detectar, identificar e neutralizar ou destruir vetores aéreos do oponente que porventura estejam ameaçando forças amigas ou mesmo áreas de interesse.<sup>8</sup>

Na simulação a ser realizada no Capítulo 4, a Defesa Aérea do alvo de interesse (aeródromo) estará delimitada por uma esquadrilha de F-16 baseada no local a ser atacado, o qual configura como ponto sensível a ser defendido. A simulação considerará ativado o alerta de DA, que poderá ser acionado no solo, caso necessário.

## **2.8 Defesa Antiaérea**

Defesa Antiaérea ou, de acordo com a DCA 1-1, Autodefesa Antiaérea, consiste na ação de empregar meios de Força Aérea com o objetivo de neutralizar ou impedir ataques aéreos inimigos aos pontos ou áreas consideradas sensíveis e de interesse para a Força.<sup>8</sup>

### **2.8.1 Características Gerais**

A Doutrina de Defesa Antiaérea empregada atualmente pela FAB busca caracterizar diversos fatores operacionais e táticos de acordo com cada cenário esperado e com base na performance de cada sistema de AAAe dedicado.

A fim de delimitar a aplicação simulada do presente Trabalho serão citados abaixo os principais aspectos teóricos atinentes ao contexto, de maneira a viabilizar uma melhor compreensão do Capítulo 5. Para uma análise mais abrangente desta Doutrina, recomenda-se a leitura da MCA 355-1, de 2015.

- **Defesa Antiaérea de Ponto Sensível:** Consiste no desdobramento de meios de acordo com as particularidades de um determinado objetivo a ser defendido, levando em conta a base doutrinária e priorizando-se sua proteção, em detrimento das instalações adjacentes.<sup>9</sup>
- **Defesa Antiaérea Estática:** A maioria dos recursos de Força Aérea é composta por instalações e C<sup>2</sup>, bases aéreas, sítios radares, aeródromos e parques de manutenção. Por serem estruturas fixas, estas são resguardadas por Defesa Antiaérea Estática, cuja mobilidade apenas abarca os movimentos táticos.<sup>9</sup>
- **Armamentos de Curtíssimo Alcance:** Trata-se de sistemas que possuem efetividade contra alvos situados a distâncias inferiores a 3NM.<sup>9</sup>
- **Emprego a baixa e média altura:** Esta classificação foi criada para padronizar o entendimento dentro das Forças Armadas Brasileiras. Em relação aos empregos de baixa e média altura, os sistemas apresentam capacidade de emprego até 15.000 m.<sup>9</sup>
- **Sistema de Mobilidade Portátil:** São equipamentos e armas antiaéreas que independem de apoio de veículos ou reboques para movimentações.<sup>9</sup>
- **Guiamento *Homing* do Tipo Passivo:** Para um míssil, o guiamento Homing (autônomo) consiste na recepção direta do alvo, dos sinais necessários para sua orientação. Este guiamento pode ser passivo, semiativo ou ativo. No tipo Passivo, a cabeça de guiamento do míssil é sensibilizada pela radiação do alvo a fim de proporcionar o gerenciamento de sua trajetória.<sup>9</sup>

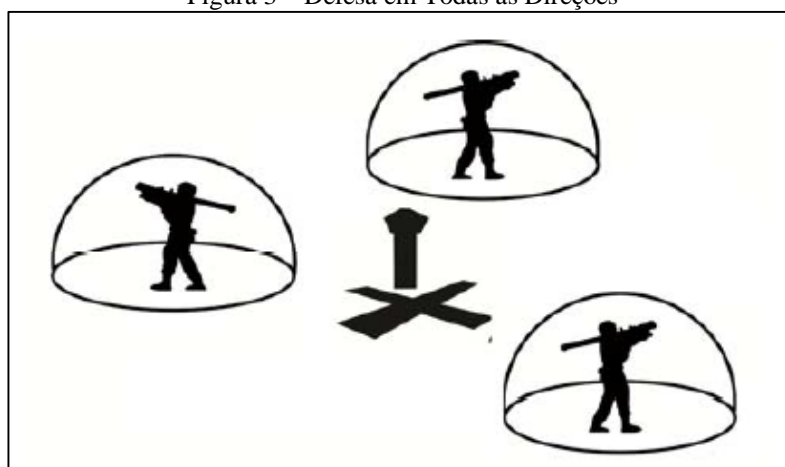
### 2.8.2 Conceito de Defesa em Todas as Direções

A fim de tornar eficaz o emprego da Defesa Antiaérea em nível tático, são considerados determinados Fundamentos a fim de nortear o planejamento de acordo com o ambiente operacional e as características esperadas para o inimigo bem como a situação das forças amigas.<sup>9</sup>

A fim de melhor delimitar os parâmetros da simulação do Capítulo 5, o Fundamento de Emprego, de acordo com o princípio de Apoio Mútuo, será do tipo Defesa em Todas as Direções.

Esse Fundamento implica em viabilizar a reação da Defesa Antiaérea contra ataques provenientes de todas as direções e com distribuição equânime dos armamentos, a fim de negar ao inimigo, tanto quanto possível, o elemento surpresa sobre os defensores, conforme ilustra a Figura 3.<sup>9</sup>

Figura 3 – Defesa em Todas as Direções



Fonte: MD (2015)<sup>9</sup>

### 2.8.3 Man Portable Air Defense System (MANPADS)

Um Sistema de Defesa Antiaérea Portável ou MANPADS constitui-se basicamente de míssil terra-ar, normalmente de guiamento passivo, cujo dispositivo de lançamento pode ser apoiado sobre o ombro do usuário. O trabalho considerará na simulação, o uso do MANPADS IGLA 18 (9K38).

## **2.9 Medidas de Apoio à Guerra Eletrônica**

São medidas de obtenção de dados através da coleta e análise de emissões eletromagnéticas de interesse, a fim de alimentar a base de dados sobre os equipamentos do inimigo.

## **3 Predição de Alcance Radar**

### **3.1 Introdução**

Pode-se delimitar, em um planejamento de missão, o alcance nominal estimado para um radar conhecido ou mesmo seu horizonte radar e então evitar, tanto quanto possível, a exposição a essa ameaça. Contudo, uma adequada ferramenta de predição de alcance radar pode refinar a SA sobre as emissões inimigas, de forma a dar suporte a uma visualização mais precisa sobre a melhor maneira de penetrar em terreno iluminado por radar inimigo, à realização de um ataque aéreo.

Ferramentas como o AREPS permitem a visualização dessa predição, considerando inclusive fatores atmosféricos. Neste trabalho será utilizado o PMA II, uma vez que o Programa é usado operacionalmente na FAB e também possui um Plugin de predição de Alcance Radar.

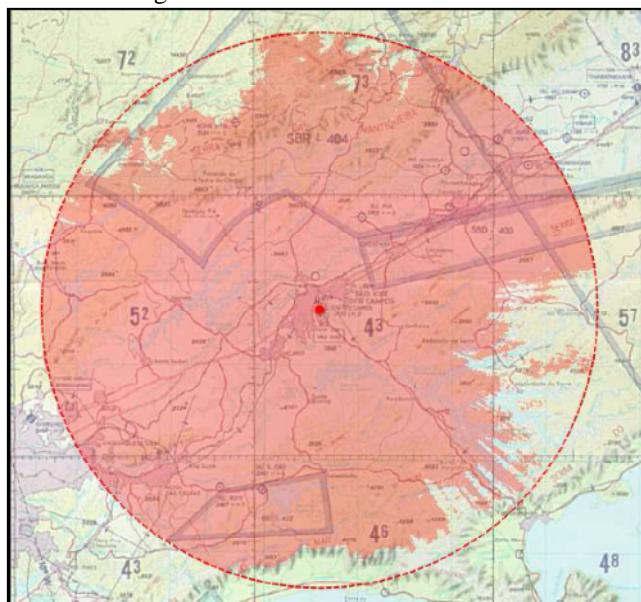
É importante ressaltar que detentores de radares para uso militar não disponibilizam dados específicos sobre esses sistemas, sendo necessário o emprego efetivo de MAGE para obtenção de informação. Equipamentos que possuem mobilidade geram, inclusive, necessidade de uma atualização em tempo real acerca de sua movimentação no terreno.

### **3.2 Plugin Predição de Alcance Radar - PMA 2.8**

Um dos objetivos dessa ferramenta é possibilitar o cálculo da predição de alcance radar de um sistema terrestre, com base em parâmetros técnicos deste emissor bem como do seu alvo.<sup>10</sup>

Esse Plugin possibilita a sobreposição no mapa, de uma análise de intervisibilidade entre o radar e o alvo (aeronave), considerando a elevação do terreno e o Horizonte Radar, conforme ilustra a Figura 4, porém desconsidera efeitos atmosféricos da propagação.<sup>10</sup>

Figura 4 - análise de intervisibilidade



Fonte: Brasil (2015)<sup>10</sup>

### 3.2.1 Considerações sobre a Ferramenta

Para melhor avaliação da predição de alcance radar, uma vez conhecidas as características do equipamento e sua posição no terreno, é necessário considerar os fatores atmosféricos que influenciam na atenuação ou no aumento do seu alcance e que podem ser estimados, como as variações de temperatura, pressão, umidade relativa do ar e os dutos atmosféricos.

Além disso, o alvo radar, ou seja, a aeronave utilizada para cumprimento da missão deve ser mapeada em termos da RCS relativa às características da emissão do radar, em todos os ângulos e na configuração de cargas externas prevista à missão, uma vez que essas estruturas podem provocar significativas variações de RCS.

Possivelmente, o maior desafio no desenvolvimento desse Plugin seja a obtenção de dados de RCS, tendo em vista que, até onde o Autor tenha conhecimento, a FAB não dispõe plenamente desta capacidade.

### 3.2.2 Introdução de Proposta para Estimativa de RCS

Uma preocupação comum aos projetistas de aeronaves militares é o seu grau de furtividade, ou seja, a capacidade que o vetor aéreo terá de penetrar em território inimigo sem ser detectado.<sup>11</sup>

Em países como os EUA, os projetistas dispõem de grandes estruturas com tratamento adequado e controle de reflexões espúrias (câmaras anecóicas), para realizar a medição de RCS dentro da faixa de frequência de interesse, conforme ilustra a Figura 5.<sup>11</sup> Porém, tais estruturas são de grande vulto econômico.

Figura 5- aeronave F-18 em ensaio de RCS dentro de câmara anecóica



Fonte: Cardote (2015)<sup>11</sup>

É sabido que existem *softwares* capazes de estimar a RCS de determinados objetos, porém, dada a complexidade da medição, para que haja validação dessas ferramentas se faz necessária a medição real dos valores calculados computacionalmente.

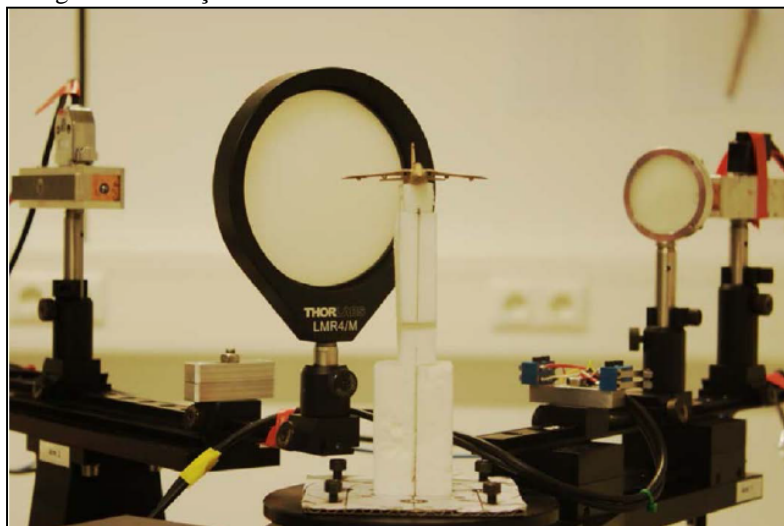
Considerando a conjuntura econômica do País e a importância militar da avaliação de RCS de aeronaves em RF, será introduzida brevemente uma proposta, cujo estudo já foi iniciado dentro do Instituto de Estudos Avançados - IEAv, porém atualmente necessita de recursos financeiros ao seu desenvolvimento prático, segundo informe de pesquisadores envolvidos.

### 3.2.2.1 Medição de RCS em Alvos de Escala Reduzida

Pode-se afirmar, como base em pesquisas já realizadas, que seria possível utilizar réplicas em escala reduzida das aeronaves da FAB, conservadas características químicas e físicas das aeronaves originais, para a medição de RCS com a utilização de um espectrômetro em Terahertz.<sup>11</sup>

Tal réplica poderia ser ensaiada em um pequeno laboratório, sem necessidade de uma câmara anecóica e com a utilização de frequências proporcionais às faixas de interesse, a fim de viabilizar a medição da RCS, conforme ilustra a Figura 6.<sup>11</sup>

Figura 6 - medição de RCS da aeronave Tornado em escala reduzida



Fonte: Cardote (2015)<sup>11</sup>

Como o tópico é apenas de caráter introdutório e não consiste no propósito deste Trabalho, não serão demonstrados os argumentos físicos e matemáticos que embasam a proposta apresentada.

## **4 Simulação**

### **4.1 Introdução**

Em uma missão aérea de ataque em conflito armado é levada em consideração uma gama de fatores que certamente extrapolam as questões do ambiente eletromagnético no qual as forças envolvidas estarão introduzidas. Todavia, essas questões podem servir de suporte para a tomada de decisão quanto à viabilidade da missão e, posteriormente, serem relevantes para as suas fases de planejamento e execução.

Dentro do escopo deste Trabalho foi realizada uma simulação, a fim de verificar possíveis impactos da predição de alcance de um radar de vigilância inimigo, que esteja dando suporte às defesas Aérea e Antiaérea, para a proteção de um ponto sensível.

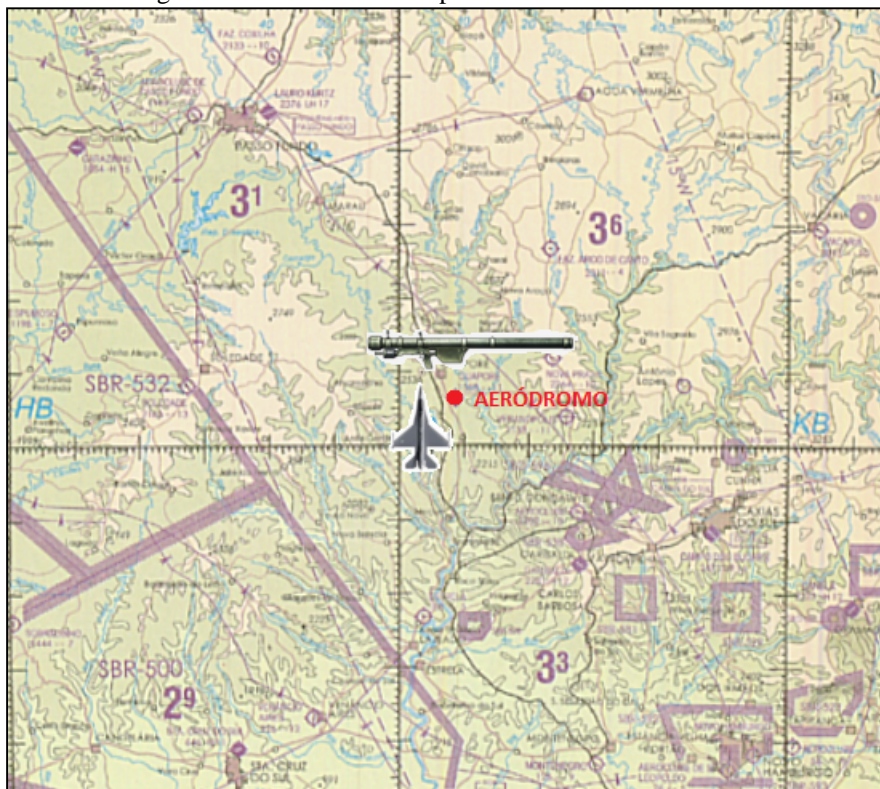
### **4.2 Parâmetros de Contorno da Simulação**

Assume-se uma área em um Teatro de Operações onde não há superioridade aérea. No contexto é estabelecida a necessidade de um ataque aéreo a um aeródromo defendido por AAAe, segundo o conceito de Defesa em Todas as Direções. Além disso, o aeródromo também conta com alerta de Defesa Aérea em condições de ser acionado a partir do solo, conforme ilustra a Figura 1, onde o aeródromo e o radar de vigilância estão localizados no círculo vermelho.

Fica estabelecido também, que o ataque deverá ser feito em uma modalidade na qual o alvo será sobrevoado pela aeronave incursora.



Figura 7 – Ponto Defendido por Defesas Aérea e Antiaérea



Fonte: adaptado de Brasil (2015)<sup>10</sup>

A Tabela 1 apresenta as condições de contorno definidas para as defesas ativas (Aérea e Antiaérea) do aeródromo, bem como para a aeronave incursora.

Tabela 1: Condições de Contorno

CARACTERÍSTICA	DEFESA		AMEAÇA INCURSORA
	AÉREA	ANTIAÉREA	
TIPO	F-16 C/D	MANPADS	CAÇA FICTÍCIO
TEMPO DE REAÇÃO <sup>1</sup>	9 MINUTOS	1 MINUTO	-
ARMAMENTO	MÍSSIL BVR AIM120-C	IGLA 18	MÍSSIL IR de 3ª GERAÇÃO
RADAR	AN/APG-68(V)9	3D FICTÍCIO	-
MODO RADAR	MULTI-MODO	VIGILÂNCIA	-
ALCANCE RADAR <sup>2</sup>	70 NM	220 NM	-
ALTURA DA TORRE (RADAR SOLO)	-	35 FT	-
RCS MÁXIMA <sup>3</sup>	-	-	12 m <sup>2</sup>
VELOCIDADE DE NAVEGAÇÃO <sup>4</sup>	8,33 NM / minuto	-	7 NM / minuto
ALTURA DE VOO	-	-	1000 FT

1 - TEMPO DE REAÇÃO APARTIR DA DETECÇÃO PELO RADAR DE VIGILÂNCIA FICTÍCIO.  
2-ALCANCE NOMINAL APROXIMADO OBTIDO PELA EQUAÇÃO RADAR, APLICADA ÀS CONDIÇÕES DE SIMULAÇÃO.  
3 - RCS MÁXIMA ESTIMADA NA CONDIÇÃO DE CONTORNO DA SIMULAÇÃO.  
4 - VELOCIDADE SOBRE O SOLO (GS); VALORES ILUSTRATIVOS.

Fonte: Autor

A Tabela 2 apresenta os parâmetros relativos ao radar fictício à configuração de maior alcance possível, uma vez que esta é a conduta mais adequada em função da possibilidade de utilização de outros modos de operação.

Tabela 2: Parâmetros do Radar Fictício

PARÂMETROS DO RADAR DE VIGILÂNCIA INTEGRADO À AAe	
Pd	0,8
Pfa	$10^{-6}$
Potência de Pico	$4,5 \times 10^4$ W
Frequência da portadora	3 GHz
PW	$5 \times 10^{-5}$ seg
FRP	$10^4$ Hz
Velocidade angular de rotação	12 RPM
Ganho da antena	30 dB
Largura do feixe horizontal	1,5°
Figura de ruído do receptor	3,5 dB
Perdas do sistema	10 dB

Fonte: Autor

A Tabela 3 resume os parâmetros delimitadores de AAe, conforme item 2.8.

Tabela 3- Características da AAe

DEFESA ANTIAÉREA (IGLA 18)	
CARACTERÍSTICA	CLASSIFICAÇÃO
Tipo de Defesa	Ponto / Estática
Alcance	Curtíssimo Alcance
Altura de emprego	Baixa e Média Altura
Mobilidade tática	Portátil
Tipo de armamento	Míssil
Tipo de Guiamento	Homing Passivo

Fonte: Autor

#### 4.2.1 Aplicação do Alcance Nominal

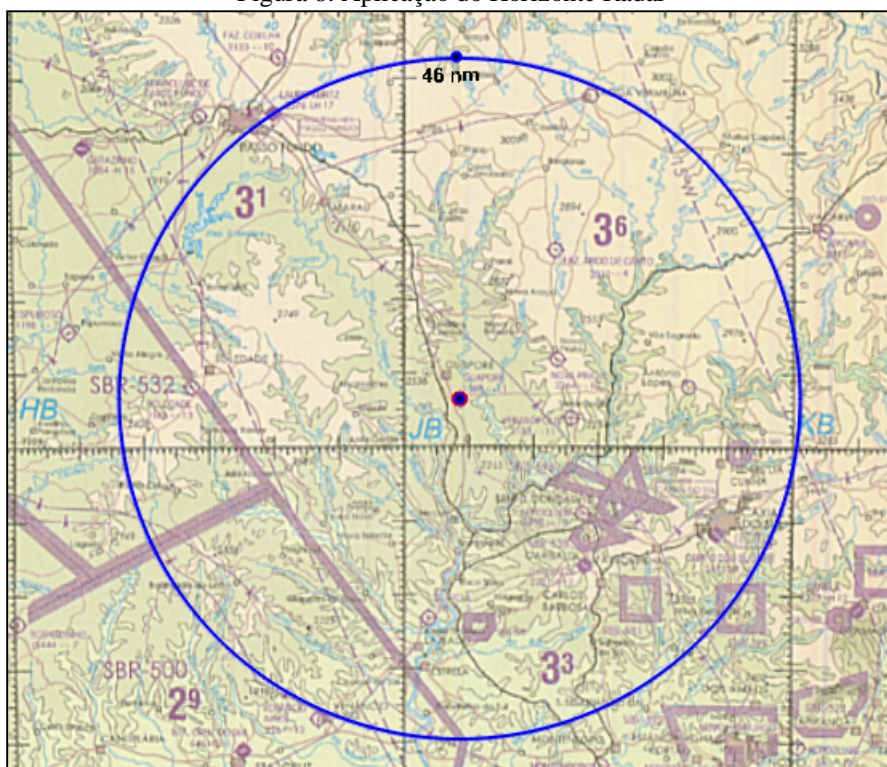
Nesta aplicação, considera-se o alcance do radar fictício às condições estabelecidas nas tabelas 1 e 2, como sendo puramente o valor de alcance nominal, ou seja, um raio de aproximadamente 220NM.

Baseado em uma velocidade de navegação de 7 NM por minuto, da aeronave incursora, há cerca de 31 min e 26 segundos (trajetória em linha reta) para a Defesa Aérea agir e, caso não obtenha êxito na interceptação, a bateria antiaérea de Iglá 18 estará posicionada para tentar efetuar a contenção do vetor aéreo.

#### 4.2.2 Aplicação do Horizonte Radar

Neste caso aplica-se o conceito de Horizonte Radar. Pelo uso da Equação 3, com base nos parâmetros estabelecidos à simulação, obtém-se um alcance aproximado em um raio de 46 NM, conforme ilustra a Figura 8.

Figura 8: Aplicação do Horizonte Radar



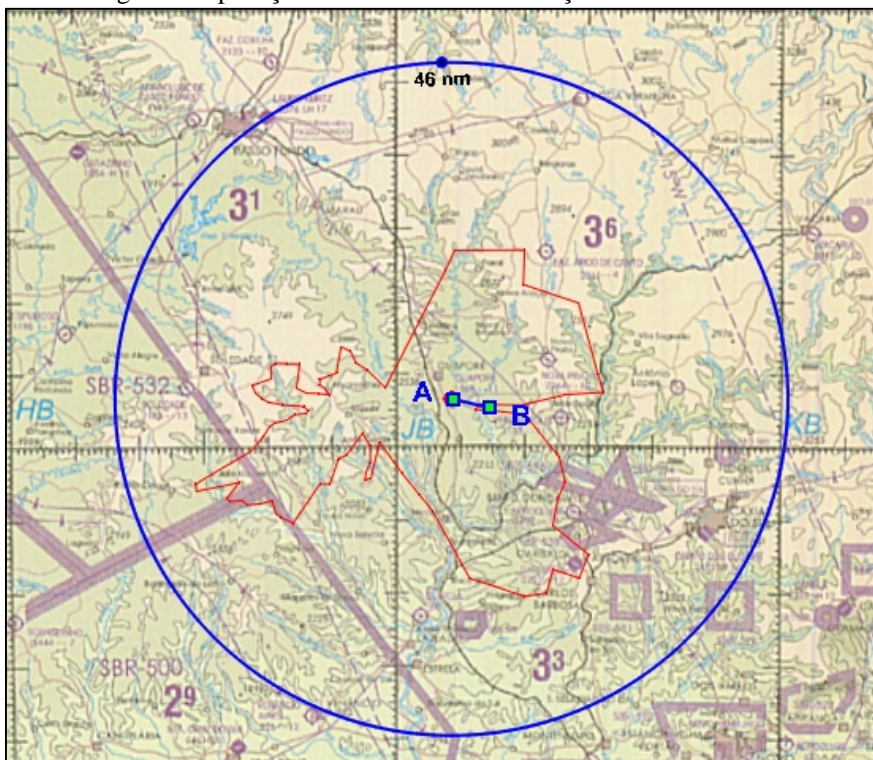
Fonte: Brasil (2015)<sup>10</sup>

O tempo de exposição da aeronave incursora até o alvo é de cerca de 6 minutos e 34 segundos. Sendo o tempo de reação da Defesa Aérea de 9 minutos, a defesa do aeródromo estará a cargo da Defesa Antiaérea.

### 4.2.3 Aplicação da Ferramenta de Predição de Alcance Radar

Aplicando-se a Ferramenta de Predição de Alcance Radar, tem-se como área de provável detecção para o radar fictício o polígono formado pela linha vermelha da Figura 9.

Figura 9: Aplicação da Ferramenta de Predição de Alcance Radar



Fonte: Brasil (2015)<sup>10</sup>

Efetuada-se uma navegação de maneira a ingressar na região de alcance do radar fictício, através do eixo AB ilustrado na Figura 9, há um percurso de cerca de 5,1 NM para a aeronave incursora, em condição de ser detectada. Mantida a velocidade de navegação da Tabela 1, a aeronave incursora ficaria exposta por 44 segundos até o sobrevoo do alvo.

### 4.2.4 Proposta de Aplicação Híbrida

Devido a fatores como a natureza randômica de alguns efeitos da propagação e a complexidade na avaliação da RCS é evidente que existe grau de incerteza nas três

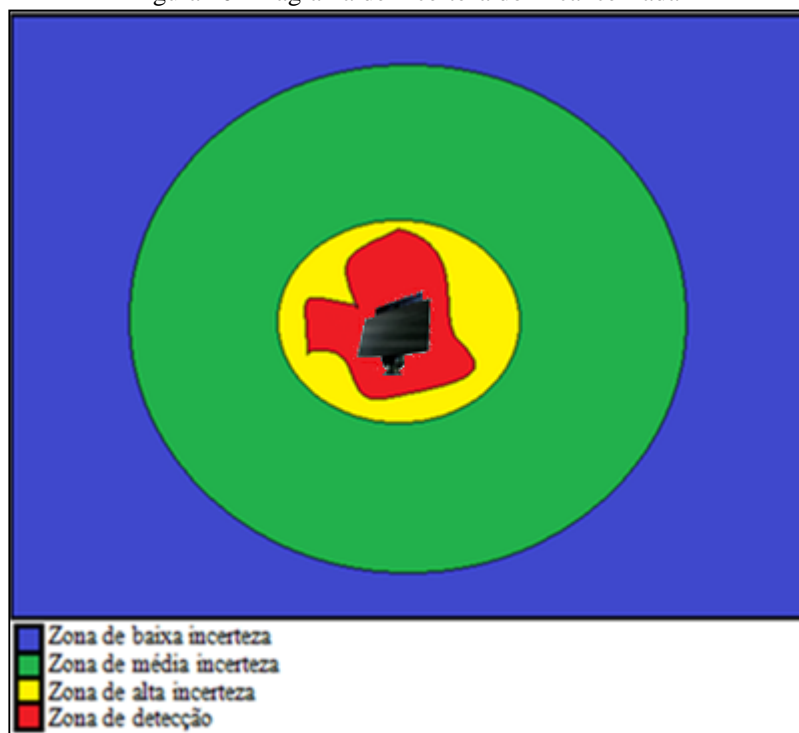
aplicações anteriores, mesmo que a Ferramenta de Predição Radar possua algumas soluções relacionadas às condições atmosféricas.

Portanto, deve-se buscar uma aplicação que seja coerente sob o ponto de vista da predição radar e ao mesmo tempo conservadora para garantir maior probabilidade de sucesso para a missão de ataque.

Neste sentido, o Autor sugere uma aplicação híbrida baseada na síntese dos itens 4.2.2 e 4.2.3.

Para esta aplicação, a região de detecção será didaticamente representada por um Diagrama de Incerteza em torno do radar contendo o Alcance Nominal, o Horizonte Radar e a Predição de Alcance Radar, conforme exemplifica pictorialmente a Figura 10.

Figura 10- Diagrama de Incerteza do Alcance Radar



Fonte: Autor

O diagrama de incerteza atribui a cor azul, de baixa incerteza, à região além do alcance nominal do radar em que dificilmente um alvo viria a ser iluminado, independentemente de sua altura de voo.

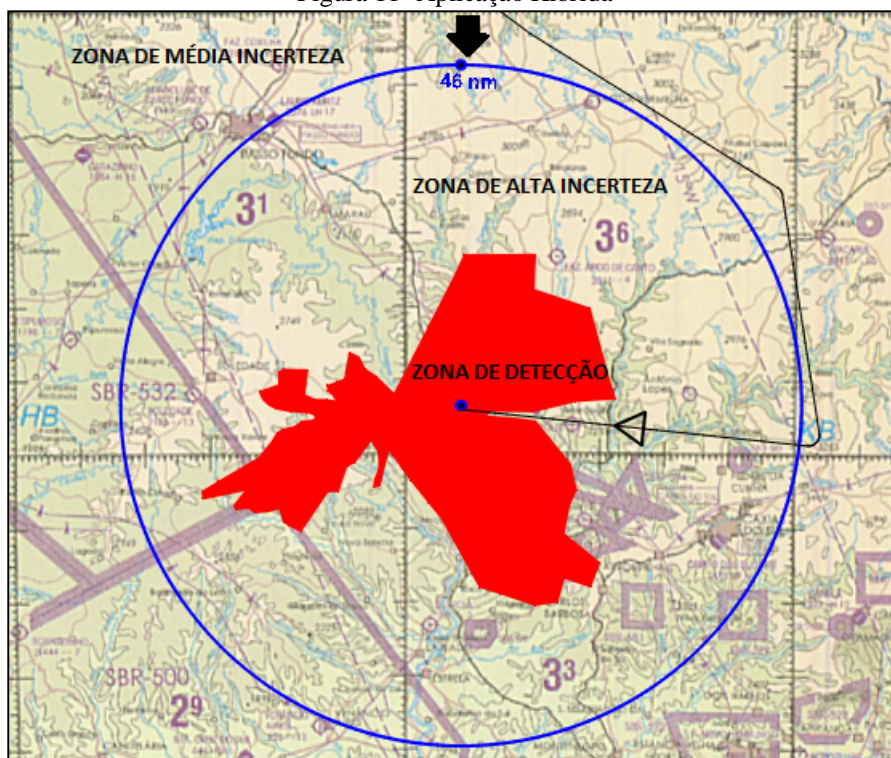
Já a região de cor verde, de média incerteza, abrange toda área acima do horizonte radar e abaixo do alcance nominal, em que, de acordo com os parâmetros estabelecidos para o alvo, não seria possível ocorrer detecção.

A região amarela, de alta incerteza, abrange a área do horizonte radar excluída a região de predição em vermelho, não considerando efeitos atmosféricos na propagação do sinal como o efeito da super-refração, nem a elevação do terreno.

Já a região vermelha representa o que seria o alcance do radar, considerando o horizonte radar e o modelo de elevação do terreno disponível para a Ferramenta de Predição de Alcance Radar.

De acordo com os parâmetros de contorno estabelecidos no item 4.2 da simulação, uma proposta ao planejamento da missão seria, após transitar da Zona de baixa para a Zona de Média Incerteza, contornar a região de alta incerteza até estabelecer o eixo de ingresso nesta área, conforme ilustra a Figura 11, a fim de minimizar ao máximo o tempo de exposição, caso ocorra detecção fora da região vermelha.

Figura 11- Aplicação Híbrida



Fonte: Brasil (2015)<sup>10</sup>

A aeronave incursora se aproxima através do setor indicado pela seta de cor preta e então contorna a zona de alta incerteza, conforme indica a linha preta.

É necessário ratificar que outros fatores podem ser incluídos no processo de definição do melhor eixo para penetrar na região de detecção radar.

De acordo com informações de operadores de sistemas MANPADS modernos, que empregam mísseis de guiamento IV, por exemplo, o sol é condição limitadora para o uso destes armamentos. No caso acima, considerando que o eixo indicado para penetrar na Zona de Detecção seja pelo setor Leste, a missão deve ser conduzida preferencialmente pela manhã em função da posição do sol, a fim de negar ao máximo o envelope de emprego da AAAe,

## 5 Conclusão

Em um teatro de operações consciência situacional é fator chave para o processo decisório em qualquer nível.

No emprego de recursos de GE pela Força Aérea, a SA será tão apurada quanto maior a capacidade de coleta, análise e interpretação das emissões do inimigo bem como do pacote de Guerra Eletrônica integrado aos vetores aéreos. O dinamismo ideal consistiria na atualização em tempo real das informações necessárias ao planejamento das missões.

A partir do conhecimento das emissões relacionadas aos radares terrestres do oponente, deve-se buscar estimar, tanto quanto possível, o alcance desses sistemas a fim de contribuir para a tomada de decisão sobre a viabilidade de uma ação de ataque aéreo e, em um segundo momento, ao planejamento dessa missão.

Na introdução expôs-se um breve histórico sobre conflitos onde ocorreu a utilização de MANPADS por parte da Defesa Antiaérea. Na sequência demonstrou-se a motivação, o problema identificado e o objetivo do trabalho.

Os capítulos 2 e 3 trouxeram os aspectos teóricos básicos sobre radares, Defesa Aérea e Antiaérea e acerca da metodologia de predição de alcance radar que auxiliou na condução da simulação realizada.

No capítulo 4 foi realizada uma simulação de missão aérea de ataque em um teatro de operações delimitado. Com base nos parâmetros de contorno estabelecidos, demonstrou-se a aplicação dos conceitos de Alcance Nominal, Horizonte Radar e da Ferramenta de Predição de Alcance Radar. Após, apresentou-se uma solução híbrida para aplicação desses recursos em um planejamento de missão.

## **5.1 Resultados Alcançados**

A Tabela 4 sintetiza os resultados das aplicações da simulação.



Tabela 4 – síntese dos resultados

SIMULAÇÃO		
APLICAÇÃO	PERÍODO DE DETECÇÃO	ZONA DE INCERTEZA
Alcance Nominal	31 min 26 seg	MÉDIA
Horizonte Radar	6 min 34 seg	ALTA
Predição de Alcance Radar	44 seg	DETECÇÃO

Fonte: Autor

Dentro do escopo da simulação realizada e sob o ponto de vista da aplicação do Alcance Nominal, a missão dificilmente obteria êxito, pois durante o período estimado de detecção de 31 min e 26 segundos, haveria tempo hábil para a decolagem do alerta DA e interceptação da aeronave incursora, ainda fora do envelope da AAAe. Portanto, tal aplicação deve ser evitada, pois restringe desnecessariamente a abordagem do alvo.

A aplicação do Horizonte Radar apresentou uma visualização mais acurada e ainda conservativa acerca do alcance do radar fictício, o que reduziu consideravelmente o tempo de exposição em relação ao item 5.2.1. O uso dessa aplicação pôde viabilizar a execução da missão, dependendo do número de aeronaves atacantes e da capacidade de reposicionamento da AAAe. Porém, para uma única aeronave incursora, o ataque aéreo ainda seria de difícil execução.

Já a aplicação da Ferramenta de Predição Radar, em que a aeronave de ataque ficaria exposta por 44 segundos até o sobrevoo do alvo e o tempo de reação da AAAe de 1 minuto a partir da detecção, de acordo com a simulação, não haveria tempo suficiente para ação das defesas do aeródromo, indicando boa probabilidade de êxito na execução da missão proposta.

Por fim, com a proposta de aplicação Híbrida elaborada pelo Autor, na qual foram criadas Zonas de Incerteza de detecção radar, houve a associação do caráter conservativo da utilização do Horizonte Radar ao uso da Ferramenta de Predição de Alcance Radar, a fim de maximizar a furtividade da aeronave incursora, podendo-se

incrementar aspectos como a posição do sol, a fim de negar o envelope de emprego da AAe.

## **5.2 Considerações Finais**

De acordo com o exposto, pode-se dizer que, o objetivo de apresentar algumas considerações sobre o impacto da predição de alcance radar no planejamento de missão de ataque aéreo a alvo defendido foi atingido e, além da comparação entre as aplicações isoladas nos itens 4.2.1, 4.2.2 e 4.2.3, foi possível apresentar uma proposta de solução híbrida à questão.

## **5.3 Propostas para Trabalhos Futuros**

- 1- Análise da vulnerabilidade infravermelha das aeronaves de caça da FAB em relação aos MANPADS com guiamento IV em uso pelas Forças Armadas.
- 2- Avaliação da efetividade do emprego de *flares* contra MANPADS modernos.
- 3- Desenvolvimento de ensaio para avaliação da RCS de aeronaves em escala reduzida com o uso de espectrômetro em Terahertz.
- 4- Aprimoramento da Ferramenta de Predição de Alcance Radar do PMA II, em relação às flutuações de RCS ao longo de uma navegação e em relação aos efeitos de propagação atmosférica em RF.

## REFERÊNCIAS

- [1] CAUSA. **A DAAe do EB Chega ao Presente**.2013. Blog. Disponível em: <<https://jbitten.wordpress.com/tag/manpads/>>. Acesso em: 14/10/2015.
- [2] WIKIPEDIA. **Guerra de Yom Kipur**. Disponível em: <[https://es.wikipedia.org/wiki/Guerra de YomKipur](https://es.wikipedia.org/wiki/Guerra_de_YomKipur)>. Acesso em: 05/12/2015.
- [3] WIKIPEDIA. **Guerra Afegã-Soviética**. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Guerra do Afeganistao \(1979-1989\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Guerra_do_Afeganistao_(1979-1989))>. Acesso em: 05/12/2015.
- [4] BAZILIUS, F. H.C. **Predição da Seção Reta Radar de Aeronaves para Aplicações Militares**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso. (Lato Sensu) – Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos.
- [5] BARTON, D.K. **Radar Equations for Modern Radar**. Norwood: Artech House, 2013.
- [6] CAMPOS, T.G. **Considerações sobre planejamento de missão de ataque eletrônico com Pod interferidor**. 2014. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Análise de Ambiente Eletromagnético) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.
- [7] MIGUENS, A.P. **Navegação: a Ciência e a Arte**. Volume I – Navegação costeira, Estimada e em Águas Restritas. Organização Hidrográfica Internacional (OHI).1994.
- [8] MD. Comando da Aeronáutica. Doutrina Aeroespacial. **Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira**. DCA 1-1, 2012.
- [9] MD. Comando da Aeronáutica. Defesa Antiaérea. **Manual de Defesa Antiaérea**. MCA 355-1, 2015.
- [10] BRASIL. Comando da Aeronáutica. Instituto de Estudos Avançados. **Manual do Sistema de Planejamento de Missão Aérea**. Versão 2.8. São José dos Campos, 2015.
- [11] CARDOTE, Y.F.R. **Estudo de Viabilidade de Medida Experimental de Seção Reta Radar Utilizando Espectrômetro Terahertz em Alvos de Escala Reduzida**. 2014. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Análise de Ambiente Eletromagnético) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.
- [12] NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica**. 1ª Edição. São Paulo: Edgard Blücher, 1997.