

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



Thiago Durães Barboza

Projeto Conceitual de Um Sistema de Ataque Anticarro

*Curso de Especialização em Engenharia de
Armamento Aéreo
2020*

***Pró-Reitoria de Extensão e
Cooperação***

Thiago Durães Barboza

Projeto Conceitual de Um Sistema de Ataque Anticarro

Orientador

Cap. Eng. Luty Rodrigues Ribeiro Titulação, Esp. (IAE)

Co-orientador

Paulo Cesar Miscow Ferreira, MSc. Tecnol. Snr. III (IAE)

Curso de Especialização em Engenharia de Armamento Aéreo

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Divisão de Informação e Documentação

Barboza, Thiago Durães
Projeto Conceitual de Um Sistema de Ataque Anticarro / Thiago Durães Barboza.
São José dos Campos, 2020.
72f.

Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Especialização em Engenharia de Armamento Aéreo–
Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2020. Orientador: Cap. Eng. Luty Rodrigues Ribeiro, Esp.(IAE) e
Paulo Cesar Miscow Ferreira, MSc. Tecnol. Snr. III(IAE).

1. Míssil anticarro. 2. Tandem. 3. Sistema de proteção ativa. I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica.
II. Projeto Conceitual de Um Sistema de Ataque Anticarro.

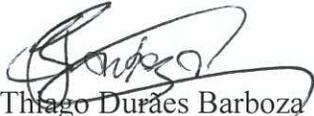
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BARBOZA, Thiago Durães. **Projeto Conceitual de Um Sistema de Ataque Anticarro**.
2020. 67f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Lato Sensu) – Instituto Tecnológico de
Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Thiago Durães Barboza
TÍTULO DO TRABALHO: Projeto Conceitual de Um Sistema de Ataque Anticarro
TIPO DO TRABALHO/ANO: TCC / 2020

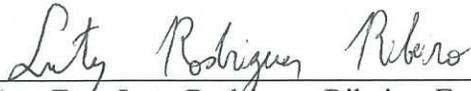
É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de conclusão de curso e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho de conclusão de curso pode ser reproduzida sem a autorização do autor.



Thiago Durães Barboza
Rua Oito de Dezembro, 517, Bl. 02, Ap. 309 – Vila Isabel
20550-201 – Rio de Janeiro – RJ
t.barboza21@gmail.com

PROJETO CONCEITUAL DE UM SISTEMA DE ATAQUE ANTICARRO

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Especialização em Engenharia de Armamento Aéreo



Cap. Eng. Luty Rodrigues Ribeiro, Esp. (IAE)
Orientador



Paulo Cesar Miscow Ferreira, MSc. Tecnol. Snr. III (IAE)
Co-orientador



Cap. Eng. Filipe Rodrigues de Souza Moreira, MSc. (ITA)
Coordenador do Curso de Especialização em Engenharia de Armamento Aéreo



Prof. Pedro Teixeira Lacava, Dr. (ITA)
Pró-Reitor de Pós-Graduação

ITA

São José dos Campos, 11 de dezembro de 2020

A Deus e minha família.

Agradecimentos

Primeiramente a Deus, que permitiu que tudo isso acontecesse, sem seu zelo e cuidado jamais teria chegado até aqui.

À Marinha do Brasil, pela oportunidade, ímpar, na aquisição de novos conhecimentos.

Ao Capitão Luty, pela orientação, apoio e empenho na elaboração deste trabalho.

Ao Prof. Miscow, pela coorientação, dedicação e sempre à disposição no desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores do CEEAA, pelos ensinamentos passados e aos funcionários do IAE.

Aos amigos do CEEAA que me ajudaram durante esse período em que estivemos juntos.

E, por fim, à minha eterna esposa, pela paciência, compreensão, apoio e estímulo na confecção deste trabalho.

*“Tempos difíceis geram homens fortes.
Homens fortes criam tempos fáceis.”*

Provérbio Oriental

Resumo

Os mísseis anticarro convencionais e atuais foram todos reportados como tendo capacidades limitadas contra veículos blindados equipados com modernos sistemas de defesa *Defensive Aids Suites* (DAS). Este é o caso, especialmente, para os carros de combate israelenses Merkava Mk IV equipados com o sistema *Trophy ASPRO-A* DAS e também para os carros de combate russos equipados com o *Arena System*. Devido a essas limitações, este presente trabalho tem como propósito elaborar um projeto conceitual de um sistema de ataque anticarro, visando a penetração nesses modernos sistemas de defesa DAS, além da neutralização do carro de combate. Um sistema de saturação com lançamento de foguetes é proposto para vencer a proteção ativa do sistema *Trophy*, ou similares, de acordo com os dados obtidos na literatura de contramedidas que o mesmo possui. A partir dos dados históricos de mísseis guiados anticarro atuais, é proposto um míssil anticarro capaz de penetrar na blindagem reativa explosiva dos carros de combate.

Abstract

Conventional and current antitank missiles have all been reported to have limited capabilities against armored vehicles equipped with modern defensive systems defensive aids suites (DAS). This is especially the case for Israeli Merkava Mk IV main battle tank equipped with the Trophy ASPRO-A DAS system and also for Russian main battle tanks equipped with the Arena System. Due to these limitations, this paper aims to elaborate a conceptual design of an antitank attack system, aiming at penetration in these modern DAS defensive systems, in addition to the neutralization of the main battle tank. A saturation system with rocket launch is proposed to overcome the active protection of the Trophy system, or similar, according to the data obtained in the literature of countermeasures that it has. Through historical data from current antitank guided missiles, an antitank missile capable of penetrating the explosive reactive armor of the main battle tank is proposed.

Lista de Figuras

Figura 1 – Modos de proteção de blindados. Fonte: Adaptado de Walentynowicz (2011).	20
Figura 2 – Métodos de proteção de veículos. Fonte: Adaptado de Walentynowicz (2011).	21
Figura 3 – Comportamento d ERA. Fonte: Adaptado de Strano (2010).	22
Figura 4 – Blindagem elétrica. Esquerda: princípio de operação. Direita: disposição no veículo. Fonte: Walentynowicz (2011).	22
Figura 5 – Cortina de fumaça. Fonte: <i>BestHQwallpapers</i>	23
Figura 6 – Veículo lançador de foguetes. Fonte: Janes (2017).	30
Figura 7 – Designador a laser. Fonte: Janes (2020).	31
Figura 8 – AH-11B <i>Wild Lynx</i> . Fonte: Defesa Aérea e Naval (2018).	31
Figura 9 – Ideia do casulo lançador de foguetes. Fonte: Poder Aéreo (2016).	33
Figura 10 – Merkava Mk 4 (JANES, 2019).	34
Figura 11 – Merkava Mk 4 <i>Windbreaker</i> (JANES, 2019).	38
Figura 12 – Componentes do <i>Trophy</i> . Fonte: <i>Rafael Advanced Defense Systems Ltd.</i>	39
Figura 13 – Bolha de cobertura do <i>Trophy</i> . Fonte: <i>Rafael Advanced Defense Systems Ltd.</i> ...	40
Figura 14 – Funcionamento do sistema de defesa <i>Trophy</i> . Fonte: <i>Rafael Advanced Defense Systems Ltd.</i>	41
Figura 15 – Foguete Hydra. Fonte: Aeroweb (2020).	44
Figura 16 – Motor foguete, Mk-66. Fonte: <i>Department of the Army</i> (1981).	44
Figura 17 – Cabeça de guerra HEAT. Fonte: <i>Department of the Army</i> (1981).	45
Figura 18 – <i>Kit</i> de orientação a laser. Fonte: <i>Artstation</i>	46
Figura 19 – Míssil (ATGM) <i>Hellfire II</i> . Fonte: <i>Army Technology</i> (2020).	47
Figura 20 – Esquema da CG primária e principal. Fonte: <i>ThinkDefence</i>	49
Figura 21 – Comportamento do <i>liner</i> sobre a frente de onda de choque. Fonte: ITA/AA-810 (2020).	50
Figura 22 – <i>Airframe</i> básico do modelo proposto.	51
Figura 23 – Curva sustentação/arrasto pelo ângulo de ataque.	52
Figura 24 – Curva momento de arfagem pelo ângulo de ataque.	52
Figura 25 – Curva característica de operação do receptor.	56
Figura 26 – <i>Electronic Safe and Arming Device</i> . Fonte: Fowler (1999).	58
Figura 27 – Motor foguete estimado do <i>Hellfire</i> . Fonte: Adaptado de <i>Missile Index</i> (2014). .	62
Figura 28 – Sistema de ataque proposto. Fonte: <i>Arabian Business</i> (2018).	63
Figura 29 – Esquema do conceito da operação.	65

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Principais cabeças de guerra anticarro. Fonte: Junior (2010).....	28
Tabela 2 – Características gerais. Fonte: Padilha (2018).	32
Tabela 3 – Dados gerais do Merkava Mk 4. Fonte: Janes (2019).	35
Tabela 4 – Dimensões finais.....	51

Lista de Símbolos, Siglas, Abreviaturas

g_0	Aceleração da gravidade
R	Alcance
Al	Alumínio
A_{ef}	Área efetiva da antena
A	Área geométrica da antena
A_m	Área do míssil
D_m	Arrasto médio
CD	Coefficiente de arrasto
n_v	Coefficiente de enchimento
CM	Coefficiente de momento de arfagem
CL	Coefficiente de sustentação
L/D	Comprimento/diâmetro
λ	Comprimento de onda
L_m	Comprimento do motor foguete
k_B	Constante de Boltzmann
ρ_{ar}	Densidade do ar
ρ_p	Densidade do propelente
D	Diâmetro da carga oca (polegadas)
D_e	Diâmetro externo do míssil
D_i	Diâmetro interno do míssil
ρ_A	Eficiência da antena
F	Empuxo
T	Espessura da blindagem (polegadas)
F	Figura de ruído
f	Frequência de operação do radar
PRF	Frequência de repetição de pulso
G	Ganho da antena
I_{sp}	Impulso específico
PRI	Intervalo de repetição de pulso
B	Largura de banda
θ	Largura do feixe
τ	Largura de pulso
m_0	Massa de lançamento
m_p	Massa de propelente
m_b	Massa final
Mo	Molibdênio
AP	Perclorato de amônio
L	Perdas atmosféricas
P_m	Potência média
P_p	Potência de pico
P_t	Potência transmitida
P_d	Probabilidade de detecção
P_{fa}	Probabilidade de falso alarme
ΔR	Resolução em distância
N	Ruído no receptor
σ	Seção reta radar do alvo
SNR	Sinal-ruído

L/D	Sustentação/arrasto
T_0	Temperatura ambiente
t_b	Tempo de queima
\dot{m}	Vazão mássica de propelente
V	Velocidade do míssil
v_r	Velocidade relativa não ambígua
c	Velocidade da luz
V_C	Volume da câmara de combustão
V_p	Volume do propelente
ACLOS	<i>Automatic Command to Line of Sight</i> (Comando automático da linha de visada)
AIS	<i>Automatic Identification System</i> (Sistema de identificação automático)
APAM	<i>Antipersonnel antimaterial</i> (Antipessoal antimaterial)
APFSDS	<i>Armour Piercing Fin Stabilized Discarding Sabot</i> (Munição de penetrador de energia)
APKWS	<i>Advanced Precision Kill Weapon System</i> (Sistema de armas de avançada precisão)
APS	<i>Active Protection System</i> (Sistema de proteção ativa)
ATGM	<i>Antitank Guided Missile</i> (Míssil guiado anticarro)
ATGW	<i>Antitank Guided Weapons</i> (Armas guiadas anticarro)
BAe	<i>British Aerospace Systems</i>
BD	Base dupla
BID	Base Industrial de Defesa
BMS	<i>Battle Manager System</i> (Sistema de gerenciamento de batalha)
CSR	Canhão sem recuo
DAS	<i>Defensive Aids Suites</i> (Suítes de suporte a defesa)
DB	<i>Double Base</i> (Base dupla)
ERA	<i>Explosive Reactive Armour</i> (Armadura reativa explosiva)
ESAD	<i>Electronic Safe and Arming Device</i> (Dispositivo eletrônico de segurança e armar)
EUA	Estados Unidos da América
FCS	<i>Future Combat System</i> (Sistema de combate futuro)
FCS	<i>Fire Combat System</i> (Sistema de combate de fogo)
HEAT	<i>High Explosive Antitank</i> (Alto explosivo anticarro)
HESH	<i>High Explosive Squash Head</i> (Alto explosivo de cabeça deformável)
HMX	<i>High Melting Explosive</i> (Explosivo de alta fusão)
IDF	Forças de Defesa de Israel
IMI	Indústria Militar de Israel
LOAL	<i>Lock On After Launch</i>
LOBL	<i>Lock On Before Launch</i>
MACLOS	<i>Manual Command to Line of Sight</i> (Comando manual da linha de visada)
MAGE	Medidas de apoio à guerra eletrônica
MBT	<i>Main Battle Tank</i> (Carro de combate)
MEFP	<i>Multiple Explosively Formed Projectile</i> (Projéteis formados por múltiplos explosivos)
MMP	<i>Missile Moyenne Portée</i>
NBC	<i>Nuclear Biological Chemical</i>
NVG	<i>Night Vision Goggles</i> (Óculos de visão noturna)
PBX	<i>Plastic Bonded Explosive</i> (Explosivo plástico ligado)
ROC	<i>Receiver Operating Characteristic</i> (Característica de operação do receptor)
RHA	<i>Rolled Homogeneous Armour</i> (Armadura homogênea)

RPG	<i>Rocket Propelled Grenade</i> (Granada propelida a motor foguete)
RWR	<i>Radar Warning Receiver</i> (Receptor de alarme de radar)
SACLOS	<i>Semi-automatic Command Line of Sight</i> (Comando semi-automático da linha de visada)
TCAS	<i>Traffic Collision Prevention System</i> (Sistema de prevenção de colisão de tráfego)
TRS	Tempo de reação do sistema
UAV	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i> (Veículo aéreo não tripulado)
UHSS	<i>Ultra High Strength Steel</i> (Aço de ultra-alta resistência)
VBTP	Viaturas blindadas de transporte de pessoal
VDS	Sistema digital gravador de dados

Sumário

Sumário.....	15
1. Introdução.....	16
1.1. Objetivo.....	17
1.2. Requisitos de Projeto.....	17
1.3. Metodologia do Trabalho.....	18
2. Revisão Bibliográfica.....	19
2.1. Carro de Combate.....	19
2.2. Proteção Passiva e Ativa.....	20
2.2.1. Tipos de Proteção Ativa.....	22
2.2.2. Alcance dos Projéteis do APS.....	26
2.3. Míssil Anticarro.....	26
3. Plataforma de Lançamento.....	30
3.1. Plataforma de Solo.....	30
3.2. Plataforma Aérea.....	31
4. Alvo de Referência.....	34
4.1. Armamento.....	35
4.2. Mobilidade.....	36
4.3. Proteção.....	36
4.4. Sistemas de Missão.....	36
4.5. Merkava Mk4 – <i>Windbreaker</i>	37
4.5.1. Proteção.....	38
4.6. Sistema de Proteção Ativa – <i>Trophy</i>	39
5. Necessidade Operacional.....	42
6. Solução Conceitual Idealizada.....	43
6.1. Foguete.....	43
6.2. Míssil Anticarro.....	46
6.3. Cabeça de Guerra.....	48
6.3.1. <i>Liner</i>	49
6.3.2. Explosivo.....	50
6.4. Estrutura Básica.....	50
6.5. Sistema de Rastreamento por Radar.....	52
6.6. Seção de Controle.....	57
6.7. Espoleta e Unidade de Segurança e Armar.....	57
6.8. Propulsão.....	59
7. Sistema de Ataque Anticarro.....	63
7.1. Ataque.....	63
7.2. Análise de Viabilidade Econômica.....	63
7.3. <i>Time Line</i>	64
8. Conclusão.....	66
9. Referências.....	68

1. Introdução

Quando se fala em blindagens de veículos, esse termo nos remete à guerra. Na literatura encontramos o termo guerra moderna que se caracteriza como o emprego de métodos e tecnologias militares anteriores contrastadas com conceitos que enfatizam a modernização a fim de preservar o valor em batalha. Segundo Junior (2019), essa guerra moderna pode ser dividida em quatro gerações, cada uma contendo uma evolução histórica. A 1ª geração é a linear, compreendida entre 1648 a 1860, que se organizava na formação em linha e coluna. A 2ª geração foi marcada pelo uso de metralhadoras, armas de retrocargas e mosquetes evidenciando já um grande poder de fogo bélico na conquista do terreno. A 3ª geração tendo como base a Segunda Guerra Mundial, onde foi criado pelo exército alemão o termo *blitzkrieg*, o combate de movimento que valorizava a manobra, a velocidade e a surpresa, com a presença de tropas blindadas para o conflito. Assim, teve o início da inclusão das forças blindadas e mecanizadas como instrumento de combate e não apenas como um elemento de manobra. E por último, a 4ª geração a qual é marcada pelos acontecimentos em 11 de setembro de 2001, nos Estados Unidos da América (EUA), sendo o conflito entre um oponente não-estatal como visto no ataque terrorista às torres gêmeas do *World Trade Center*.

As tropas blindadas são de extrema importância para as forças armadas de qualquer exército, principalmente na força terrestre. Exércitos mais modernos possuem tropas blindadas de veículos terrestres cujas tecnologias são de última geração, a exemplo pode-se citar, apenas do chamado Ocidente, os carros de combate *Abrams* (EUA), *Challenger* (Grã Bretanha), *Merkava* (Israel), *Leopard 2* (Alemanha) e *Leclerc* (França). Segundo Junior (2019), a utilização de tropas blindadas apresenta uma capacidade de desequilibrar o poder de combate em favor de quem as emprega. Um exemplo desse poderio foi a guerra do Golfo travada entre as forças da Coalizão Internacional e o Iraque e, lideradas pelo EUA, em que a Coalizão obteve um sucesso na campanha terrestre, com cerca de 100 horas de combate, devido à vasta superioridade dos seus carros de combate.

Em um conflito, a utilização de carros de combate para apoio a infantaria tem vital importância porque visa menores baixas de pessoal e um maior êxito no combate direto. Segundo Mathias, Jonsson e Santos (2017), alguns fatores que determinam a eficácia de um veículo blindado são: poder de fogo, ação de choque, mobilidade tática, proteção e capacidade de informação e comunicação. O primeiro emprego de forças blindadas ocorreu em 1916, na 1ª Guerra Mundial, sendo criado e utilizado pelos britânicos o termo tanque (*tank*). Sua aparição revolucionou a guerra que tinha se tornada estática e monótona, ficando conhecida como

“guerra de trincheiras”. No entanto, não possuía sistemas de defesa e blindagens modernas, como consequência, apresentavam uma maior vulnerabilidade ao ataque inimigo.

O período entre guerras foi marcado pelo intenso desenvolvimento de novas tecnologias empregadas na construção de novos carros de combate, equipados com armamentos mais eficazes e com melhor proteção blindada pelo aumento da espessura, composição e qualidade do aço em sua fabricação, além de armamentos anticarro com um maior poder de destruição.

Com o avanço no desenvolvimento da blindagem dos carros de combate, surgiu-se a necessidade de implementar um armamento com melhor capacidade de atingir e neutralizar o avanço dos veículos no campo de batalha. Desse modo, uma busca pelo aprimoramento de armas anticarro foi estabelecido com o propósito de vencer as armaduras dos veículos blindados.

Mesmo com esse contínuo avanço de novas tecnologias, somente por volta da década de 80, foi que os exércitos em todo o mundo começaram a usar um armamento anticarro, com modernos sistemas de guiamento, capaz de realizar uma efetiva ação de neutralização dos veículos blindados.

1.1.Objetivo

Este trabalho tem por objetivo apresentar um projeto conceitual de um sistema de ataque anticarro que seja capaz de causar a neutralização de carros de combate equipados com modernos sistemas de defesa do tipo *Defensive Aids Suits* (DAS).

1.2.Requisitos de Projeto

Além de cumprir o objetivo acima, o projeto conceitual deverá, também, atender aos seguintes requisitos sugeridos no tema do trabalho:

- Alcance mínimo até 0,5 km;
- Alcance máximo para versão lançada de solo acima de 6 km;
- Penetração no alvo > 1.000 mm de *Rolled Homogeneous Armor* (RHA) ou tipo de aço reforçado;
- Capacidade *Lock-on Before Launch* (LOBL) e *Lock-on After Launch* (LOAL);
- Operação em quaisquer condições climáticas (*all-weather*) e durante dia ou noite;

- Capacidade de ataque contra alvos estáticos e móveis;
- Mínimo tempo de preparação antes do emprego; e
- Capacidade para lançamento tanto de solo quanto por aeronaves.

1.3. Metodologia do Trabalho

Para cumprir o objetivo e os requisitos de projeto supracitados, esse trabalho está dividido em capítulos cujos conteúdos são apresentados a seguir: os Capítulos 1 e 2 relatam um breve histórico da evolução dos sistemas de defesa dos carros de combate utilizados no teatro de operações, bem como a utilização de artefatos, mísseis anticarro, que possam neutralizá-los durante uma missão. O Capítulo 3 fala sobre as plataformas de lançamento, solo-solo e ar-solo e, equipamentos que devem ser integrados em seus sistemas para, efetivamente, serem empregadas no combate do alvo. O Capítulo 4 descreve o alvo de referência, identificando suas características gerais, sistemas de defesa ativa e armamentos utilizados em combate. O Capítulo 5 expõe os *key drivers* necessários ao projeto para combater a ameaça identificada. O Capítulo 6 detalha e analisa a concepção do projeto, a solução conceitual idealizada e os sistemas que compõem o míssil anticarro para cumprir o objetivo do trabalho. O Capítulo 7 apresenta um sistema de ataque anticarro, sua viabilidade econômica e o *time line* da operação. E, por fim, no Capítulo 8 são apresentadas as principais conclusões, referente aos requisitos solicitados e sugestões para trabalhos futuros.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Carro de Combate

Os sistemas de defesa têm estado sempre em desenvolvimento para atender de maneira eficiente as demandas dos exércitos tanto para se defender de maneira eficaz, quanto para um poder mais destrutivo de ataque contra o agressor. A guerra moderna, assimétrica e urbana, exige que os carros de combate sejam ágeis o suficiente para operar nesse tipo de cenário sobrevivendo às ameaças inerentes aos conflitos de 4ª geração (JESUS, 2019).

Lino (2017), fala que a proteção dos veículos blindados que estão em batalha não é uma tarefa simples e fácil, sendo classificada como vital e, ao mesmo tempo, um grande desafio. Segundo o autor, as blindagens acabam ficando limitadas, devido ao seu acréscimo de espessura resultar em aumento de peso e tamanho do veículo em questão, o que diminui seu desempenho em mobilidade.

Conforme Walentynowicz (2011), o programa americano *Future Combat System* (FCS) propôs alguns requisitos militares para veículos de combate tripulados, onde análises feitas associando a diminuição da massa sendo diretamente proporcional ao aumento da velocidade e deslocamento em manobras do veículo. Em uma primeira análise adotou-se uma redução de massa da ordem de até 20 toneladas conseguindo uma velocidade máxima de aproximadamente 100 km/h. Notou-se que, para manter a blindagem efetiva contra variados tipos de ataques, essa redução no peso foi excessiva. Assim, a massa foi aumentada para próximo de 30 toneladas, devido ao peso do aço envolvido na fabricação das proteções do casco. Posteriormente, esse valor passou a ser adotado como referência, para novos desenvolvimentos, por exércitos de diferentes países. Aumentar a espessura da chapa do veículo causará uma redução em sua mobilidade, bem como na manobrabilidade, porém, esse aumento, se faz necessário para manter a proteção da tripulação e do próprio veículo.

Contudo veículos mais leves requerem melhorias de blindagem a fim de possuírem uma melhor resistência à projéteis, fragmentos e ondas de choque após explosões. Métodos de proteção em combate tanto ativo quanto passivos devem ser aprimorados para manter a operacionalidade dos carros de combate.

2.2. Proteção Passiva e Ativa

Entre os meios de neutralização e destruição de veículos de combate, podemos elencar projéteis cinéticos, lançadores de granada, mísseis guiados anticarro, foguetes, bombas, além de minas anticarro com efeito de carga oca *High Explosive Antitank* (HEAT). Tendo isso em vista, os métodos de blindagem de veículos de combate são vistos com extrema importância, pois, caso contrário, não se poderia manter a sua superioridade em um conflito direto. De um modo geral, as blindagens, podem ser subdivididas em três grandes categorias, Figura 1, sendo classificadas conforme o modo que reagem à uma ameaça.

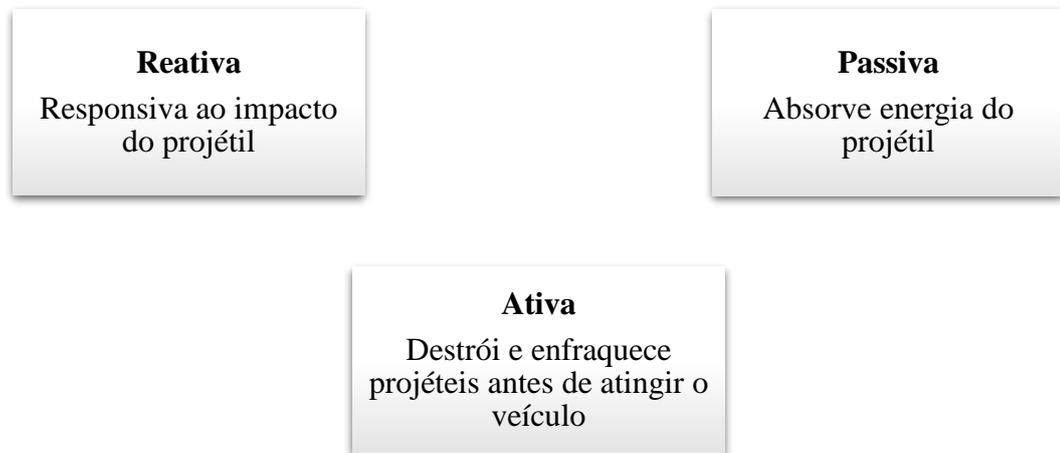


Figura 1 – Modos de proteção de blindados. Fonte: Adaptado de Walentynowicz (2011).

Sistemas de defesa no casco do veículo, a exemplo de escudos reativos, possuem coberturas externas na forma de chapa ou treliça e visam proteger o veículo contra ataques de *Rocket Propelled Grenade* (RPG), pois esse tipo de blindagem interrompe a conexão entre o fusível piezoelétrico e o explosivo da granada RPG (WALENTYNOWICZ, 2011). Outra cobertura que segundo a literatura se mostra mais eficaz e com menor peso são as estruturas de malhas flexíveis, de fios de aço de ultra-alta resistência *Ultra High Strength Steel* (UHSS) ou fibras de carbono. Essas causam um desvio da trajetória de voo do projétil enfraquecendo o efeito do fluxo cumulativo na blindagem do veículo.

Alguns exemplos de materiais usados para proteção, passiva, reativa e ativa de veículos de combate são apresentados na Figura 2.

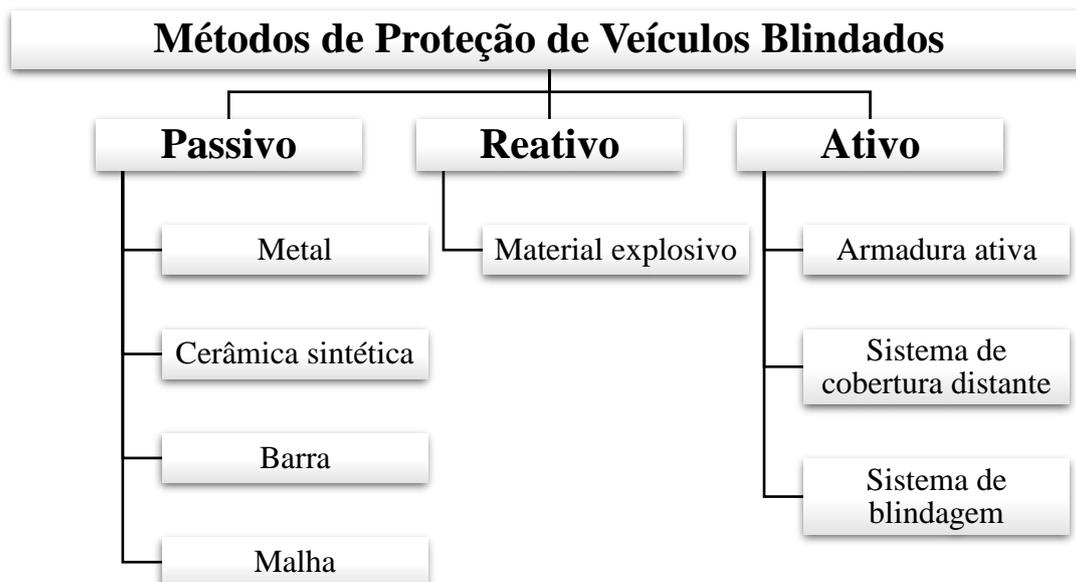


Figura 2 – Métodos de proteção de veículos. Fonte: Adaptado de Walentynowicz (2011).

Além da blindagem moderna constituída por estruturas de várias camadas de chapas de alta resistência, os sistemas de defesa, também se beneficiam das armaduras reativas explosivas *Explosive Reactive Armour* (ERA). Elas podem ser divididas em dois tipos:

- Placas orientadas perpendicularmente à direção de entrada do projétil com uma forte carga explosiva; ou
- Armadura com explosivo em menor quantidade com placas inclinadas na direção de entrada do projétil.

Um elemento de armadura reativa explosiva é constituído de uma folha ou placa de alto explosivo prensada entre duas placas, geralmente de metal, chamados de elementos reativos ou dinâmicos. No ataque por uma arma penetrante, o explosivo detona, forçando a separação das placas de metal para danificar o penetrador. Contra uma carga moldada, as placas projetadas rompem o penetrador de jato metálico, proporcionando efetivamente um maior comprimento de caminho do material a ser penetrado. Contra um penetrador de energia cinética, as placas projetadas servem para desviar e quebrar a haste (WALENTYNOWICZ, 2011).

O processo de interrupção do jato é atribuído a dois mecanismos. Primeiro, as placas móveis mudam a velocidade efetiva e o ângulo de impacto do jato de carga moldada, reduzindo o ângulo de incidência e aumentando a velocidade efetiva do jato em relação ao elemento da placa. Em segundo lugar, uma vez que as placas são anguladas em comparação com a direção usual de impacto das ogivas de carga moldadas, à medida que as placas se movem para fora, o ponto de impacto na placa se move ao longo do tempo, exigindo que o jato corte novas placas

de material. Este segundo efeito aumenta significativamente a espessura efetiva da placa durante o impacto e estende o tempo em que o jato passa pela placa aumentando sua dissipação de energia (WALENTYNOWICZ, 2011). A Figura 3, apresenta um esboço do funcionamento de uma ERA.

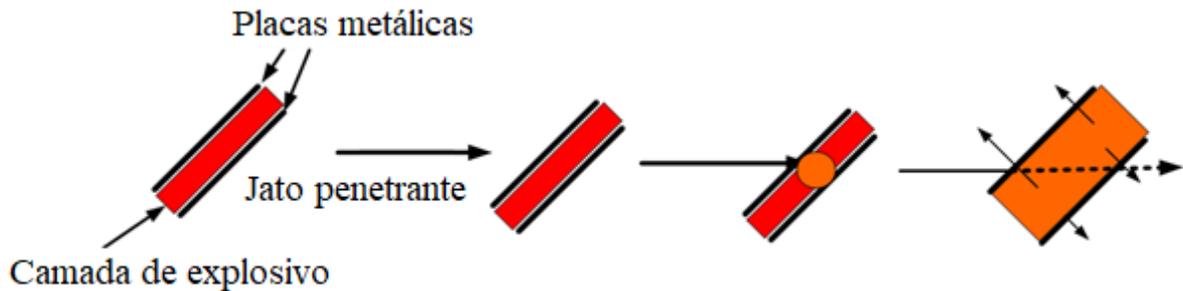


Figura 3 – Comportamento d ERA. Fonte: Adaptado de Strano (2010).

Há também um outro método de blindagem reativa conhecida como blindagem elétrica contra cabeças de guerra *High Explosive Antitank* (HEAT), que consistem no uso de duas placas paralelas conectadas a um capacitor de alta capacidade e potência, Figura 4. Quando a carga moldada formada na explosão atingir e romper as placas, estas encurtam o circuito elétrico, enfraquecendo a energia do penetrador e a dissipando. Conforme Walentynowicz (2011), o problema desse tipo de blindagem são as dimensões relativamente grandes do capacitor.

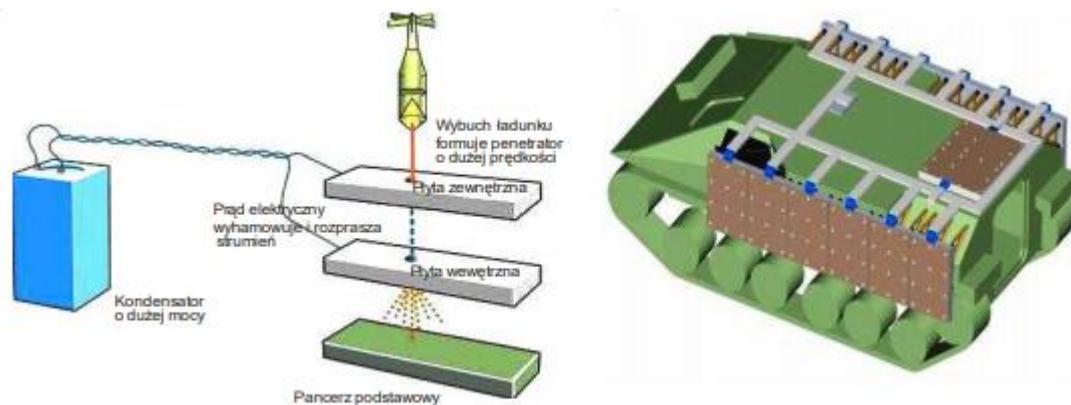


Figura 4 – Blindagem elétrica. Esquerda: princípio de operação. Direita: disposição no veículo. Fonte: Walentynowicz (2011).

2.2.1. Tipos de Proteção Ativa

A finalidade de um sistema de proteção ativa *Active Protection System* (APS) no carro de combate é de reagir com antecedência, ou seja, antes da colisão do projétil com o veículo.

Ele deve detectar, confundir ou destruir a munição inimiga, reduzindo ou tornando nulo o grau de letalidade da ameaça antes que atinja ao veículo (JESUS, 2019).

Essa cobertura se divide em *soft-kill*, *hard-kill* ou, ainda, a combinação de ambas. A primeira tem a finalidade de interromper o voo do míssil ou seus controles. Corroborando com Walentynowicz (2011), Jesus (2019), afirma que bloquear ou degradar a orientação do armamento é sua função primordial o que ocasiona um desvio de sua trajetória ou a uma destruição do armamento em questão. O autor ainda cita que essas contramedidas podem ser obtidas com o uso de fumígenos, bloqueadores ou qualquer outra medida que altere a assinatura eletromagnética do veículo.

Um exemplo de atuação *soft-kill* com fumígenos é mascarar o veículo por um período de tempo, evitando sua detecção pelo radar inimigo, por meio de uma cortina de fumaça, que possui propriedades multiespectrais ou, ainda, uma perturbação eletro-óptica do sistema de disparo ou orientação de mísseis, Figura 5. No entanto, esse método possui falhas no que diz respeito à orientação do vento, além do próprio veículo perder sua visibilidade do campo de batalha. Esses sistemas são classificados como sistemas secundários de defesa, porém não são efetivos contra RPG (WALENTYNOWICZ, 2011).



Figura 5 – Cortina de fumaça. Fonte: BestHQwallpapers.

A segunda forma, *hard-kill*, possui uma atuação defensiva direta de contra-ataque ao projétil e é projetado para destruir, fragmentar ou desviar a ameaça dentro do raio de operação. Ou seja, esse sistema visa localizar, identificar e eliminar possíveis ameaças, utilizando-se de disparo de uma contramedida na direção do artefato inimigo. Esses sistemas normalmente se dividem em sistemas de tiro direto e interceptadores (LINO, 2017). Jesus (2019), afirma que

esse sistema de defesa tende a criar uma área de defesa mais ampla ao redor do blindado. Há ainda nesta categoria os dispositivos que utilizam descargas de energia na direção da ameaça (energia direcionada), o que minimiza os riscos colaterais (LINO, 2017).

A operação de ambos os sistemas segue as seguintes fases:

- Reconhecimento e rastreamento do alvo;
- Decisão de iniciar uma contramedida; e
- Destruição ou a redução da ameaça.

Entre os países que desenvolveram modernos sistemas de proteção ativa para uso em blindados está Israel com o avançado sistema de defesa *Trophy*. Um sistema que opera no modo *hard-kill* que se acredita ter sido usado em combate durante a incursão israelense na Faixa de Gaza em 2014, na operação conhecida como *Protective Edge*. Esse sistema será comentado em mais detalhes na seção 4, onde serão abordados elementos do alvo de referência.

Além desse sistema pode-se elencar alguns outros APS, projetados tanto por Israel como por outros países com avançado estágio em tecnologias de defesa. A exemplo deles tem-se:

- *Iron Fist*: País de origem Israel. É um sistema de defesa ativo do tipo *soft-kill*, usando um bloqueador eletro-óptico e *hard-kill*, baseado na interceptação da ameaça a uma distância segura da plataforma defendida com um interceptador que possui um par de lançadores, cobrindo um campo de 270°. Cada lançador carrega dois tubos interceptadores e geralmente também um sensor eletro-óptico (LINO, 2017). Foi projetado para aumentar a capacidade de autodefesa contra RPGs, ATGMs e munições cinéticas *Armour-Piercing Fin-Stabilized Discarding Sabot* (APFSDS). O sistema faz a detecção e rastreamento de ameaças usando radar e sensores infravermelhos (JESUS, 2019);
- *Drozd*: País de origem Rússia. Instalado na torre de combate do veículo, com tubos de lançamento para 8 interceptadores não guiados de 105 mm, dispostos em pares e montados nas laterais da torre para fornecer uma cobertura frontal de 60°, com ogiva de fragmentação para derrotar armas anticarro. Conta com um radar doppler de 24,5 GHz para identificação de projéteis (JESUS, 2019);
- *Arena-3*: País de origem Rússia. Desenvolvido após o *Drozd*, possui um ângulo de cobertura de 360°, divididos em quatro quadrantes. Apresenta capacidade de interceptar dois alvos em cada direção, em intervalos de 0,3 segundos. Foi

projetado para interceptar projéteis e mísseis a uma distância de 50 metros do blindado (LINO, 2017);

- *Shtora*: País de origem Rússia. É um sistema de contramedidas do tipo *soft-kill*, com cobertura de 360°, equipado com sensores eletro-ópticos de alerta e duas luzes infravermelhas para interromper o designador a laser de orientação de mísseis anticarro, quando detectados. Possui um conjunto de 12 lançadores de granada com peso de 400 kg, um sistema de alerta laser de precisão e um sistema de controle que processa informações dos sensores e ativa a cortina de fumaça com alcance de aproximadamente 50 a 80 metros. Quando o sistema de alerta laser detecta o pulso laser da ameaça, o sistema de contramedidas de lançadores de granada é acionado e os bloqueadores eletro-ópticos introduzem um sinal na direção de orientação do sistema. Os bloqueadores fornecem uma cobertura de 20° em azimute para cada lado do armamento principal e de 4° de elevação, sendo eficaz em 2 segundos após a identificação do alvo (LINO, 2017) e (JESUS, 2019);
- *Afganit*: País de origem Rússia. É da família T-14, sendo equipado com radares e sensores ultravioleta o qual permitem a identificação dos RPGs e ATGMs a partir de resquícios de fótons UV ionizados deixados no ar pelo armamento. Possui 10 tubos de lançadores (*hard-kill*) na região frontal; 2 lançadores giratórios nas laterais com 12 tubos (*soft-kill*); 2 lançadores fixos, orientados para cima, com 12 tubos cada na região traseira (*soft-kill*); 2 módulos de alerta laser e 2 radares, proporcionando uma capacidade de detecção de 360°. Quando uma ameaça é detectada, o sistema ativa um foguete, que neutraliza a ameaça. O sistema conta ainda com um bloco de 12 lançadores de granadas fumígenas capazes de criar uma espessa cortina de fumaça (LINO, 2017) e (JESUS, 2019);
- AMAP-ADS: País de origem Alemanha. Opera com sensores e contramedidas distribuídos ao redor do veículo, fornecendo uma proteção hemisférica. Pode ser adaptado para mais de um tipo de veículo. A detecção e o controle de disparo são conduzidos por sensores eletro-ópticos e o mecanismo de disparo é descrito como energia direcionada, a qual minimiza efeitos colaterais (LINO, 2017);
- KAPS: País de origem Coreia do Sul. É um sistema de interceptação com 2 lançadores, cada um deles equipado com 2 tubos de lançamento de 70 mm. Os lançadores são acoplados a um conjunto de radares separado dos dedicados ao

controle de fogo e alerta, localizados na frente da torre. O sistema utiliza radares para alerta e rastreamento e um sensor eletro-óptico fornecendo orientação de controle de fogo (LINO, 2017).

2.2.2. Alcance dos Projéteis do APS

A proteção ativa pode ser dividida em categorias dependendo da distância da localização do ponto de neutralização da ameaça. Segundo Walentynowicz (2011), são os seguintes:

- Curto alcance - até 2 metros;
- Médio alcance - de 2 a 30 metros; e
- Longo alcance - acima de 30 metros.

Essas medidas levam em consideração o tempo necessário para a reação do sistema (TRS) e podem ser separadas em três classes internacionais de sistemas, conforme o mesmo autor:

- Sistema de microssegundos, $TRS < 1.000 \mu s$, denominado μs -APS;
- Sistema de milissegundos, $1 < TRS < 1.000 ms$, denominado ms -APS; e
- Sistema de segundos, $TRS \geq 1 s$, denominado s -APS.

A distância mínima é crucial para um APS ser eficaz contra uma ameaça. Esta distância depende do tempo de resposta do sistema (TRS), da velocidade de aproximação do projétil e da distância de interceptação entre o projétil ameaçador e o contraprojeto do veículo. O cálculo dessa distância mínima é o produto da velocidade do projétil pelo tempo de resposta do sistema de defesa mais a distância de interceptação do projétil que ameaça o veículo. Supondo um TRS de 350 ms, uma velocidade do projétil de 1.100 m/s e uma distância de interceptação de 20 m, pode-se estimar que a distância mínima para que o APS opere de forma eficaz é 405 m. Caso o projétil seja disparado a uma distância menor do que essa, o APS não será capaz de se defender.

2.3. Míssil Anticarro

Após a Segunda Guerra Mundial teve-se uma corrida para a pesquisa e desenvolvimento de mísseis anticarro, que passaram a ser equipados com modernos sistemas de guiamento e cabeças de guerra com um maior poder de penetração em blindagens.

O míssil anticarro tem como principal finalidade levar a neutralização e/ou destruição de carros de combate inimigos, bem como a destruição de casamatas, construções, fortificações ou outros alvos importantes dentro de uma operação (COSTA, 2000).

Segundo Figueira (2018, p. 57), o míssil anticarro pode ser definido como: “Um projétil, autopropulsado de voo dirigido ou guiado, seja por fio, laser, rádio, radar e etc, com um número maior ou menor de sistemas eletrônicos e mecânicos para direcioná-los, captar o alvo e voar em sua direção.” Possuem características específicas que permitem o emprego em praticamente qualquer escalão (fração de tropa) ou tipo de operação, engajando alvos e carros de combate a grandes distâncias, provocando danos tanto em blindagens leve quanto em pesadas (FIGUEIRA, 2018). Conforme o mesmo autor possuem as seguintes características:

portabilidade - o míssil encontra-se no meio termo da portabilidade entre os lança-rojões e os CSR (canhão sem recuo). No entanto, ele normalmente necessita de uma guarnição para ser transportado, armado e disparado;

leveza - como o CSR, ele é concebido como arma de apoio para infantaria, devendo ser, portanto suficientemente leve para acompanhar a linha de frente do combate (seu peso varia muito de modelo para modelo, podendo ser de 10 a 30 kg incluindo o lançador e a munição);

simplicidade de operação - o míssil é quase tão fácil de operar quanto um lança-rojão, facilitando em muito o adestramento de sua guarnição;

alto custo - é, sem dúvida, uma das armas anticarro mais caras, devido à alta tecnologia que envolve sua fabricação. Essa é a principal desvantagem do míssil, sendo necessário um grande esforço de guerra para sua fabricação em massa;

alto poder destrutivo - utilizando o princípio da carga oca ou da dupla carga oca, consegue penetrar a blindagem de qualquer viatura blindada, com exceção dos mais novos carros de combate que possuem blindagem composta;

grande alcance - o seu custo é pago pelo seu alcance e precisão. Um míssil pode atingir até 4 km, sendo equiparado ao alcance útil de carros de combate;

excelente precisão - sua dirigibilidade em voo, quer manual, semi-automática ou automática torna seu tiro quase sempre certo (FIGUEIRA, 2018, p. 57 e 58).

Tanto carros de combate quanto às viaturas blindadas de transporte de pessoal (VBTP), necessitam de proteção especial contra armas anticarro e, devido a isso, teve-se o desenvolvimento de outros tipos de cabeça de guerra e modos de ataque com o objetivo de manter a razão de existência do míssil anticarro. Assim, iniciou-se o uso de munições de alto explosivo HEAT e *High Explosive Squash Head* (HESH), ao invés de munições que empregavam apenas energia cinética (FIGUEIRA, 2018). Segundo o autor:

High Explosive Antitank (HEAT) - é uma munição de alto explosivo anticarro usada por diversos calibres de canhões de viaturas blindadas. Se caracteriza por utilizar o efeito de carga oca, possuindo efeito de penetração nas blindagens atuais.

High Explosive Squash Head (HESH) - é uma munição de alto explosiva de cabeça esmagável. Possui baixo poder de penetração nas blindagens atuais. Seu princípio de funcionamento é deformar-se contra a blindagem e explodir gerando uma onda de

choque que produza estilhaços dentro do alvo. Tem maior emprego contra tropas abrigadas e contra viaturas e blindados leves (FIGUEIRA, 2018, p. 49).

Na Tabela 1, apresenta-se alguns tipos de cabeças de guerra utilizadas em mísseis anticarro, sua finalidade, velocidade e princípio de funcionamento.

Tabela 1 – Principais cabeças de guerra anticarro. Fonte: Junior (2010).

Munição	Finalidade	Velocidade inicial [m/s]	Princípio de Funcionamento
HE	Antipessoal	900	Energia química
HEAT	Anticarro	900	Energia química / Carga oca
TANDEM	Anticarro / Blindagens reativas	-	Dupla carga oca
HESH	Fortificações e Anticarro (estilhaçamento)	-	Energia química / deformável
TERMOBÁRICAS (explosivo e combustível)	Anticarro – produção de altas temperaturas e ondas de choque	-	Munição nuclear de baixa potência
APDS (<i>Armor Piercing Discard Sabot</i>)	Anticarro	1200	Energia cinética
APFSDS (<i>Armor Piercing Fin Stabilized Discarding Sabot</i>)	Anticarro	1620	Energia cinética

Os mísseis anticarro podem ser divididos em 4 gerações de acordo com os modos de guiamento até o alvo. A primeira, se caracteriza pelo fato de os mísseis serem guiados por uma unidade de controle portátil que envia sinais elétricos por meio de fios metálicos, conectados ao míssil, sendo comandado por um controle tipo *joystick* até o impacto. Esta geração é comumente conhecida como comando manual por linha de visada (MACLOS). A segunda, é conhecida por possuir um comando semi-automático por linha de visada (SACLOS), e comando automático por linha de visada (ACLOS). O comando semi-automático possui um sistema de processamento na unidade lançadora e um dispositivo pirotécnico no míssil que permite o rastreamento do míssil pelo sistema de mira óptica. Já o comando automático possui sensores de visão térmica ou infravermelho e podem rastrear o alvo de forma autônoma. Nessa geração ainda utilizam guiamento a laser com baixa intensidade (*laser beam rider*) que permite ao operador manter um feixe laser apontado ao alvo para conduzir o míssil até ele. A terceira geração é conhecida como *fire and forget*, pois possuem cabeças de buscas autônomas com sensores para a formação de imagens que operam de forma passiva ou radares ativos de ondas

milimétricas. Após o disparo o atirador não possui mais controle sobre ele, podendo engajar um outro alvo. E, por fim, a 4ª geração, que é a união das duas últimas, onde o guiamento automático é complementado pela ação humana, ou seja, retoma o controle humano sobre o míssil disparado, porém o operador tem a opção de não interferir na rota do míssil. Pode ser chamada como *fire-and-update* (FIGUEIRA, 2018).

3. Plataforma de Lançamento

3.1. Plataforma de Solo

As plataformas para lançamento solo-solo devem possuir as seguintes qualidades:

- Mobilidade;
- Manobrabilidade;
- Blindagem leve;
- Sistemas de designação a laser do alvo para guiamento do foguete;
- Sistemas de detecção e rastreamento do alvo;
- Capacidade de lançar múltiplos foguetes; e
- Capacidade de lançar mísseis anticarro.

O melhor dos mundos seria conciliar todas essas características em, somente, um veículo blindado para combater o MBT no campo de batalha.

Assim, idealizou-se a seguinte composição: utilizar um veículo lançador de foguetes, Figura 6, equipado com um designador a laser de alto alcance, Figura 7, além da adaptação de um sistema de trilho, para permitir o lançamento do míssil anticarro. Como pronta resposta, a união dos 3 sistemas pode ser implementada. Pensando a longo prazo, tanto o designador a laser quanto o sistema de trilhos poderiam ser integrados diretamente ao veículo.



Figura 6 – Veículo lançador de foguetes. Fonte: Janes (2017).



Figura 7 – Designador a laser. Fonte: Janes (2020).

Em ambas as soluções seria necessário um projeto de aquisição dos sistemas ou um projeto de desenvolvimento pela nossa Base Industrial de Defesa (BID).

3.2. Plataforma Aérea

A plataforma para lançamento ar-solo será a aeronave de asa rotativa, AH-11A Super *Lynx* Helicóptero de Esclarecimento e Ataque da Marinha do Brasil.

Atualmente essa aeronave está passando por um processo de modernização e, após concluído, será identificado como AH-11B *Wild Lynx* (PADILHA, 2018), Figura 8.



Figura 8 – AH-11B *Wild Lynx*. Fonte: Defesa Aérea e Naval (2018).

Na Tabela 2 é mostrado as características gerais da aeronave:

Tabela 2 – Características gerais. Fonte: Padilha (2018).

Função	Multipropósito
Motores	2 x CTS-800-4N
Velocidade máxima	360 [km/h]
Alcance máximo	564 [km]
Dimensões	15,24 [m] compr.; 3,73 [m] altura; 12,8 diâmetro do rotor [m]
Peso vazio	3291 [kg]
Peso máximo de decolagem	5330 [kg]
Radar	Marconi Seaspray Mk 3000
Sensor EO / IR	FLIR Star SAFIRE III
Armamento	Mk 9; MBDA <i>Sea Skua</i> ; MG 7,62; M3M .50

Além das características gerais a versão modernizada será equipada com novos: sistemas de navegação, painel com telas digitais (*glass cockpit*) e compatibilidade com óculos de visão noturna *Night Vision Goggles* (NVG), processador tático, sistema de navegação baseado por satélite, sistema de prevenção de colisão de tráfego *Traffic Collision Prevention System* (TCAS), sistema de identificação automática *Automatic Identification System* (AIS), receptor de alarme de radar *Radar Warning Receiver* (RWR), medidas de apoio à guerra eletrônica (MAGE) integradas com dispensadores de contramedidas (*Chaff* e *Flare*) e um novo guincho elétrico de resgate (PADILHA, 2018).

Para possibilitar ao AH-11B o lançamento de múltiplos foguetes, deve ser adaptado em sua configuração um casulo lançador de foguetes. Uma ideia seria conforme a Figura 9.



Figura 9 – Ideia do casulo lançador de foguetes. Fonte: Poder Aéreo (2016).

O AH-11B possui a capacidade de lançar míssil antinavio *Sea Skua* de 2,5 metros de comprimento, 250 mm de diâmetro e 145 kg. Desse modo, caberia apenas uma alteração nos suportes de fixação da aeronave, sendo necessário elaborar um projeto de desenvolvimento e integração dos sistemas pela nossa BID. Assim, o sistema estaria completo e pronto para uso em combate.

4. Alvo de Referência

O Merkava é um carro de combate *Main Battle Tank* (MBT) israelense que foi produzido em várias versões e está em serviço com as Forças de Defesa de Israel – IDF. Seu desenvolvimento teve início na década de 70 com o Merkava Mk 1. Foi entregue pela primeira vez à IDF em 1979 sendo seguido por outras variantes até o Merkava Mk 4, Figura 10, a qual é a versão utilizada atualmente. O desenvolvimento de todas as versões do Merkava priorizou um alto grau de proteção e sobrevivência para seus tripulantes.

Em sua 4ª geração, o Merkava Mk 4 apresenta uma armadura especial modular, um sistema de controle de fogo *Fire Control System* (FCS) e um motor aprimorados em comparação com as versões anteriores. Seu desenvolvimento teve início em 1999, sendo produzido em série a partir de 2001 entrando em serviço com a IDF em 2003. Quando o desenvolvimento começou, o objetivo era projetar um MBT para um teatro de operação, mas após a Segunda Intifada – conjunto de eventos que marcou a revolta civil dos palestinos frente à política administrativa e a ocupação israelense na Palestina – que iniciou em setembro de 2000, o Merkava Mk 4 foi remodelado para atender aos requisitos de conflito de baixa intensidade e focado em fornecer a máxima capacidade de sobrevivência contra o disparo de um míssil antitanque *Antitank Guided Missile* (ATGM) (JANES, 2019).



Figura 10 – Merkava Mk 4 (JANES, 2019).

A Tabela 3 apresenta as características gerais do Merkava Mk 4.

Tabela 3 – Dados gerais do Merkava Mk 4. Fonte: Janes (2019).

Características	Valores
Peso	65 toneladas
Comprimento	9,04 metros
Largura	3,92 metros
Altura	2,66 metros
Tripulação	4
Velocidade	64 km/h
Armamento principal	Canhão 120 mm
Autonomia operacional	500 km
Custo	5.000.000 US\$

A seguir serão abordados detalhes mais específicos do Merkava Mk 4.

4.1. Armamento

É equipado com um canhão de cano liso MG253 de 120 mm desenvolvido pela Indústria Militar de Israel – IMI como armamento principal. Utiliza como munição principal um penetrador de dardo longo ou, simplesmente, munição de dardo, que é uma munição de penetrador de energia cinética *Armour-Piercing Fin-Stabilized Discarding Sabot* (APFSDS). Pode disparar a munição IMI 120 mm *antiperssonel antimaterial* – APAM e também foi adicionado a munição multipropósito IMI M339 Kalanit 120 mm. A travessia da torre, elevação da arma e o sistema de estabilização é todo elétrico. O carregamento é auxiliado por um sistema semiautomático que permite a seleção de vários tipos de munição e, durante o carregamento, o cano pode ser travado em um ângulo predefinido. Possui um total de 48 cartuchos de 120 mm. Assim como nas versões anteriores do Merkava, os cartuchos de munição de 120 mm são protegidos em containers individuais de fabricação das Indústrias Orlite para evitar uma possível explosão, caso o veículo seja atingido (JANES, 2019).

Como armamento secundário possui uma metralhadora MG de 7,62 mm montada coaxialmente com o armamento principal e outra MG de 7,62 mm montada no lado direito da torre de cobertura. Transportam um total de 10.000 cartuchos de munição. Possui uma outra MG, porém de 12,7 mm, montada no centro da torre e um morteiro de 60 mm da Soltam *Systems*, montado internamente na parte superior da torre de combate, podendo ser carregado, apontado e disparado internamente (JANES, 2019).

4.2.Mobilidade

Possui um motor a diesel MTU de 1.500 HP, acoplado a uma transmissão *Renk* de cinco velocidades. O conjunto de potência é controlado por um computador fornecendo informações ao visor do motorista. O escapamento está localizado no lado direito dianteiro do casco. Possui uma blindagem de três quartos de seu comprimento com saias laterais em comprimento total que cobrem metade da esteira de rodagem (JANES, 2019).

4.3.Proteção

Conta com uma armadura modular removível que cobre a torre. Esta é uma nova geração do conceito de armadura híbrida modular incluindo ambos os elementos ativos e passivos, desenvolvidos pela IMI e a Rafael *Advanced Defense Systems* em colaboração com a MANTAK. Podem ser conformados a partir de elementos modulares para corresponder a diferentes tipos de ameaças. Esta armadura modular removível, é usada ao redor de todo o MBT incluindo sua parte superior, além de um bloco de armadura em forma de “V” para a parte inferior. O sistema modular foi projetado para possibilitar que carros de combate danificados sejam rapidamente reparados e devolvidos ao campo de batalha. Possui uma escotilha na região traseira permitindo o acesso interno da tripulação (JANES, 2019).

O conjunto de potência, instalado na região frontal, fornece uma proteção adicional ao MBT e na sua região inferior podem ser inseridos uma placa adicional instalada pela própria tripulação. O veículo também é equipado com um sistema automático de detecção e supressão de incêndio e 12 granadas operadas eletronicamente. Os lançadores são montados em duas fileiras de 6 em cada lado da torre voltadas para frente. Os compartimentos do piloto e da tripulação são equipados com um sistema de proteção nuclear, biológico e químico – NBC individual e combinados de sobrepressão desenvolvido pela *Shalon Chemical* (JANES, 2019).

4.4.Sistemas de Missão

É equipado com um EIop FCS, que inclui estabilização da linha de visada em dois eixos, um visor de televisão de segunda geração e rastreadores de alvo térmico e a laser, um sistema de visão noturna térmica e um indicador de ângulo de inclinação dinâmico. O veículo também possui um sistema operacional integrado que inclui comunicações de dados avançadas e gerenciamento de batalhas. Possui um sistema gerenciador de batalha *Battle Manager System*

(BMS) da Maanakh e todos os componentes eletrônicos, sensores, computadores e a arma principal são integradas a este BMS totalmente digitalizado. Sua função representa que o veículo pode identificar uma ameaça e manobrar, automaticamente, para apresentar as áreas com maior proteção à ameaça. Todos os membros da tripulação possuem monitores de tela plana que mostram as informações do sistema pelo qual são responsáveis. O comandante e o artilheiro também podem ver as imagens visuais em suas próprias telas individuais (JANES, 2019).

Pode ser integrado ao sistema de controle de fogo, o sistema *Fire Weaver* da Rafael, o qual faz uma junção entre as entradas de dados de todos os sensores do carro de combate (ATGM, miras de infantaria, *Unmanned Aerial Vehicles* e etc.) ligados em uma rede, que podem incluir MBT, artilharia e vários outros ativos. O sistema usa automação para fornecer ao comandante uma visão geral do campo de batalha. Ele seleciona automaticamente a unidade mais apropriada para engajar quaisquer alvos selecionados e o sistema projeta um mapa 3D altamente realista para a navegação (JANES, 2019).

Possui ao todo 5 câmeras instaladas ao redor do veículo. Quatro são montadas em caixas reforçadas que fornecem imagens para as telas internas abrangendo um ângulo de 360°. A última, é instalada na região traseira possibilitando ao motorista visibilidade durante a marcha à ré. É equipado também com um sistema digital gravador de dados VDS-60, desenvolvido pela Vectop, o qual registra as imagens e os dados de observação coletados durante as missões (JANES, 2019).

4.5. Merkava Mk4 – *Windbreaker*

Segundo a Rafael com o avanço de novas tecnologias, as forças armadas estão se deparando com armas anticarro cada vez mais sofisticadas, assim como, uma nova geração de mísseis ATGM, que podem derrotar qualquer blindagem frontal do veículo no campo de batalha. Para combater essas novas ameaças, os veículos necessitam de medidas de proteção ativas que garantam a capacidade de sobrevivência da tripulação e do veículo, bem como a capacidade de detectar atiradores com baixa assinatura e engajá-los em segundos, permitindo assim, a capacidade de manobra do veículo.

Visando essas novas ameaças, em 2010 entrou em serviço com a IDF o *Windbreaker*, Figura 11, uma versão atualizada do Merkava Mk 4. Ao seu sistema de proteção atual foram adicionados alguns elementos na torre e no casco, constituindo assim o sistema de proteção ativa *Active Protection System Trophy* (APS). O Merkava Mk 4 *Windbreaker* possui as mesmas

configurações do Merkava Mk 4, porém com um sistema de proteção melhorado, conforme detalhes na próxima seção.



Figura 11 – Merkava Mk 4 *Windbreaker* (JANES, 2019).

4.5.1. Proteção

O modelo *Windbreaker* apresenta a mesma proteção passiva (*soft-kill*) e proteção da tripulação que a versão anterior já possuía. No entanto, esta versão se beneficia da adição de um sistema de proteção ativa, como sendo um sistema neutralização de ameaças ao redor do veículo. A versão mais recente conhecida é a quinta geração e, na configuração atual, pesa aproximadamente 800 kg. O sistema opera de forma automática, uma necessidade devido a velocidade e ao tempo de reação muito curto necessário para neutralizar ameaças do tipo *Antitank Guided Weapons* (ATGW). Utiliza radares para detectar e classificar ameaças potenciais. Os dados dos radares são enviados para uma unidade central de processamento para classificar e rastrear a ameaça, fornecendo parâmetros estimados da localização desta ameaça. Eles são usados para calcular uma solução de interceptação, bem como um ponto de origem estimado, que é alimentado à tripulação, podendo ser fornecido ao BMS e ao FCS do veículo para situações de atenção e/ou soluções de contra-ataques. Se o objeto for avaliado como uma ameaça à plataforma, um ou mais modos de defesa são ativados. Após a ativação, uma cobertura balística sobre o sistema é aberta, que se movimenta para o azimute e elevação necessários e,

em um momento apropriado, dispara uma contramedida em direção ao objeto. O sistema possui carregamento automático, sem intervenção humana, imediatamente após o disparo (JANES, 2019).

4.6. Sistema de Proteção Ativa – *Trophy*

Como o próprio nome já diz, é um meio de defesa ativa podendo ser usado nos modos *hard-kill* ou híbridos *hard* e *soft-kill* projetado pela Rafael. Todos os sistemas buscam derrotar as ameaças anticarro de energia química por meio de um mecanismo de destruição. Utilizam um sistema de identificação e rastreamento de alvos para garantir que apenas ameaças que representam um perigo à plataforma sejam interceptadas, conservando-se munição e minimizando o risco de danos colaterais ao pessoal e ao material nas proximidades da batalha (JANES, 2020). A Figura 12, mostra os sistemas que compõem o APS *Trophy*.



Figura 12 – Componentes do *Trophy*. Fonte: *Rafael Advanced Defense Systems Ltd.*

Segundo a Rafael, o sistema *Trophy* cria uma bolha de neutralização em torno do veículo, Figura 13. O sistema rapidamente detecta, classifica e engaja todas as ameaças de energia química conhecidas, incluindo rifles sem recuo, ATGMs, foguetes anticarro, cabeças de guerra HEAT e RPGs. Atualmente o sistema *Trophy* não permite uma defesa efetiva contra ameaças de energia cinética, devido a uma pequena área de apresentação e elevada velocidade do projétil, cerca de 1.500 m/s. Mesmo assim, pode-se considerar que ele aumenta a probabilidade de defesa de uma tropa de infantaria, neutralizando com sucesso as equipes anticarro inimigas. Ele pode localizar a fonte do lançador, permitindo que a tripulação contra-ataque de forma direta e eficaz por meio da rede BMS.

Segundo *DefesaNet* (2018), desde o início do programa, mais de 4.000 testes, ao vivo, foram realizados no sistema *Trophy*, obtendo uma performance, probabilidade de neutralizar as ameaças, superior a 95%, além de uma capacidade automática de resposta em demonstrar a de localização da fonte de disparo.



Figura 13 – Bolha de cobertura do *Trophy*. Fonte: Rafael Advanced Defense Systems Ltd.

Para detecção de uma possível ameaça utiliza um sistema de radar doppler de fase pulsada modelo Elta EL / M-2133 F / G interligado a quatro antenas localizadas na frente, na traseira e nas laterais do veículo ou na torre para fornecer uma cobertura completa de 360°, incluindo detecção de ameaças pela parte superior. O radar procura continuamente por ameaças potenciais e, após a detecção, rastreará e alimentará parâmetros críticos para o *software* de controle *Trophy*, incluindo ângulo de azimute, ângulo de elevação, velocidade e alcance da ameaça. Essas informações são utilizadas para calcular os pontos de dados adicionais que incluem o ponto de impacto estimado, o tempo para impacto e o ponto de lançamento (JANES, 2020).

Para ataque de contramedidas possui dois lançadores montados nas laterais do veículo, cada um protegendo seu respectivo arco de 180°. Uma vez que o vetor e a velocidade de um projétil atacante seja rastreado e atinja a distância de intercepção, uma contramedida de efeito cinético para neutralização de ameaças conhecidos como projéteis formados por múltiplos explosivos *Multiple Explosively Formed Projectile* (MEFP), é disparada contra ele, penetrando

no projétil no ar, danificando e detonando sua ogiva antes que ele atinja o veículo. A Figura 14, apresenta um esboço do funcionamento do sistema *Trophy*.



Figura 14 – Funcionamento do sistema de defesa *Trophy*. Fonte: Rafael Advanced Defense Systems Ltd.

Conforme Walentynowicz (2011) o sistema de proteção ativa *Trophy* apresenta os seguintes dados de operação:

- Raio de atuação da bolha de proteção = 10 a 30 m;
- Tempo de reação entre disparos = 300 a 350 milissegundos; e
- Total de contramedidas a serem disparadas no projétil atacante = 35 MEFP.

Esses dados serão úteis na apresentação da solução idealizada.

5. Necessidade Operacional

Para atender ao objetivo, bem como aos requisitos de projeto, foi identificado os seguintes *key drivers* para o projeto:

- O armamento deve ter a capacidade de atingir e penetrar em veículos blindados com modernos sistemas de defesa;
- O armamento deve possuir um alcance maior do que 6.000 m;
- O armamento deve possuir capacidade de voar nos modos LOBL e LOAL;
- O armamento deve operar em quaisquer condições climáticas;
- O armamento deve possuir um tempo mínimo de operação para uso entre ataques; e
- O armamento deve possuir a capacidade de lançamento tanto em solo como aéreo.

Partindo dessas necessidades operacionais foi idealizado uma solução conceitual para o cenário proposto.

6. Solução Conceitual Idealizada

Devido à dificuldade de se penetrar no sistema *Trophy* e atingir o blindado, é concebido um sistema de armas composto por mísseis e foguetes. Tal concepção tem como fundamento saturar os sistemas de defesa dos carros de combates contra armas antitanque, sistema esse conhecido como sistema de proteção ativa *Active Protection System (APS)*.

A concepção de emprego do sistema é baseada no disparo de um conjunto de foguetes, carregados em lançadores múltiplos e de um míssil anticarro.

O foguete utilizado terá guiamento laser, com cabeça de guerra anticarro de duplo propósito.

A decisão de disparo do míssil anticarro correrá em função da situação de combate, isto é, o atirador observará se o alvo acionou seu sistema de proteção contra os foguetes. A ideia é provocar a exaustão do sistema de defesa.

Caso o sistema de proteção tenha sido ativado, o lançamento do míssil será exitoso, uma vez que não haverá mais contramedida. Para conseguir o dano requisitado, o míssil será composto de uma cabeça de guerra anticarro de alto explosivo (HEAT) com uma carga em *tandem*, ou seja, duas cargas ocas sobrepostas, engajando o alvo pelo seu topo.

6.1.Foguete

O foguete a ser utilizado será semelhante ao foguete *Hydra* norte americano, Figura 15. É composto pelo motor-foguete Mk-66, Figura 16, podendo ser integrado com vários tipos de cabeças de guerra. Esse motor será utilizado, devido a sua facilidade em combinar várias ogivas e espoletas, para variados tipos de engajamento no teatro de operações, bem como o alcance desejado que ele possibilita. São constituídos por três componentes: um tubo de liga de alumínio, uma tubeira e três empenas do tipo *wrap-around* envoltas em torno da tubeira do foguete, que são liberadas após o lançamento.



Figura 15 – Foguete Hydra. Fonte: Aeroweb (2020).

O foguete possui uma massa total de aproximadamente 6,16 kg, sendo 3,175 kg de propelente sólido extrudado a BD (base dupla). Esse propelente é queimado de 1,05 a 1,10 segundos e o alcance máximo atingido pelo artefato conforme *Department of the Army* (1981) é de 10.426 metros.

Os componentes principais do Hydra são: um motor foguete, nove diferentes cabeças de guerra e uma espoleta. O foguete idealizado terá essa mesma configuração, porém, será acrescentado um sistema de guiamento laser, possibilitando à plataforma lançadora, no solo ou em uma aeronave, detectar, rastrear e iluminar o alvo, porém, o objetivo do foguete, no campo de batalha, será de saturação do sistema defensivo *Trophy*.

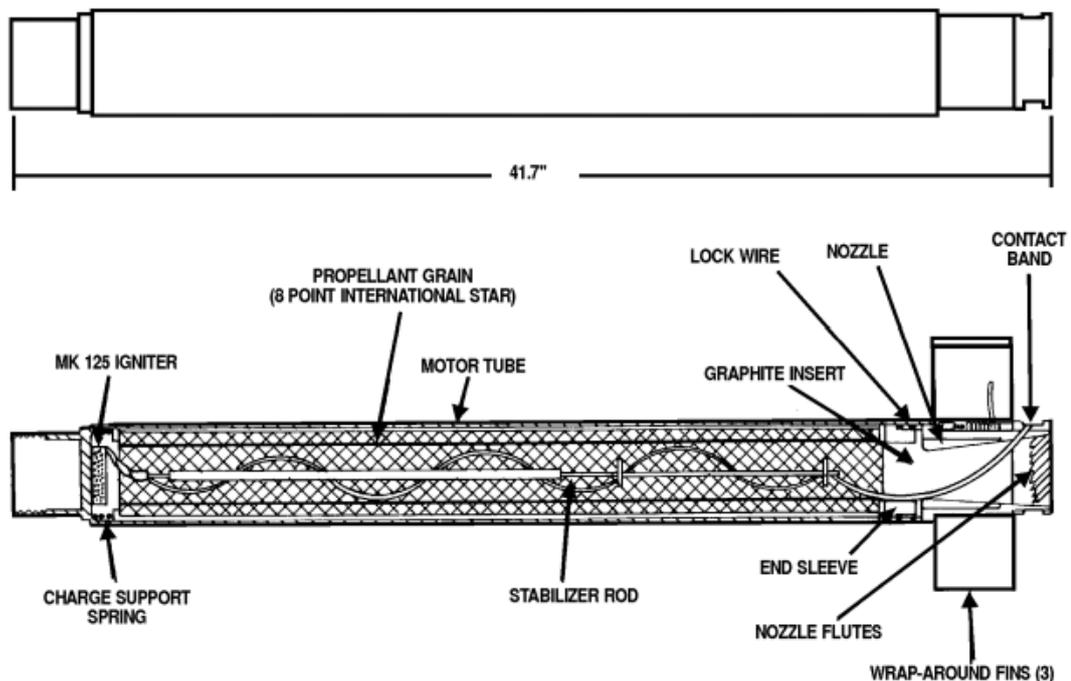


Figura 16 – Motor foguete, Mk-66. Fonte: *Department of the Army* (1981).

A cabeça de guerra de duplo propósito utilizada será do tipo M247 *High-Explosive*, Figura 17, uma das variantes do foguete Hydra, atualmente está descontinuada, porém, o conceito para aplicação ainda permanece válido. É constituída por uma carga oca de cobre em formato cônico envolto por um alto explosivo Composição B. Sua massa total equivale a 4,53 kg. Após a detonação, o corpo da cabeça de guerra se estilhaça em pequenos fragmentos de alta velocidade. Já o cone de cobre é colapsado pela detonação formando um jato de alta velocidade que penetra na armadura. Serão guiados a laser, o qual é refletido pelo alvo e este alvo é iluminado pela plataforma lançadora. O acionamento da cabeça de guerra ocorrerá por uma espoleta de impacto.

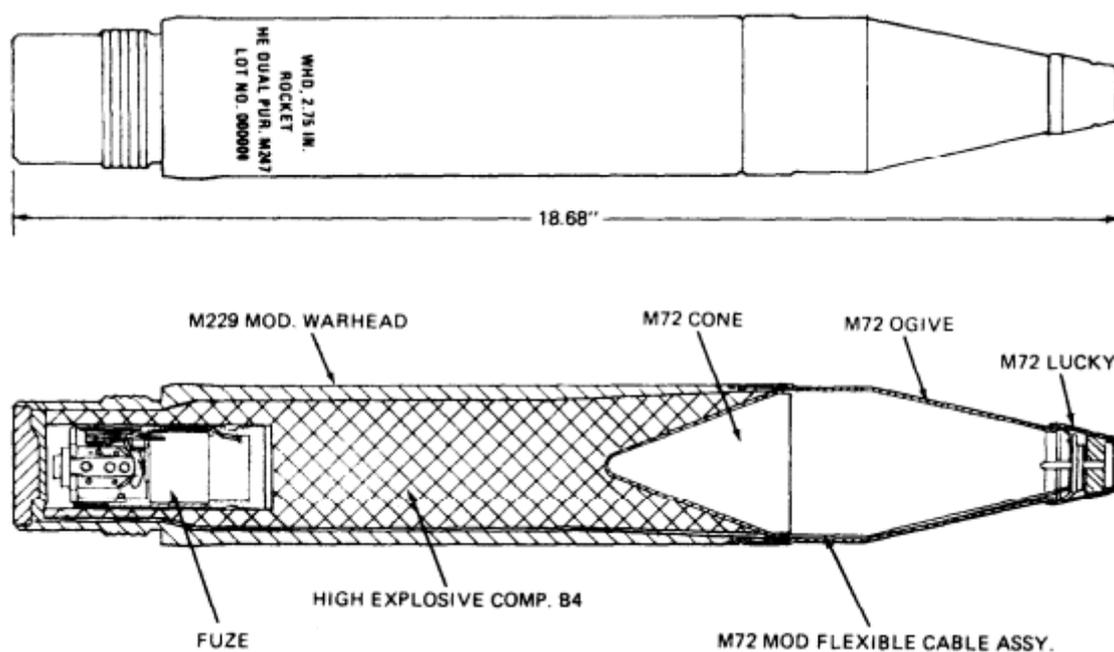


Figura 17 – Cabeça de guerra HEAT. Fonte: *Department of the Army* (1981).

O guiamento a laser será concebido pela adição de um *kit* de orientação ao foguete. Será conforme o projeto de iniciativa da Força Aérea Americana, *Advanced Precision Kill Weapon System* (APKWS). Tal projeto consiste em desenvolver *kits* de guiamento para foguetes Hydra para serem usados ao invés dos mísseis *Hellfire*, possibilitando uma redução significativa nos custos da missão (FERRARI; DINIZ; SILVA, 2011).

O *kit* é produzido pela empresa *British Aerospace Systems* (BAe) e passou a ser utilizado a partir de 2009. Ele é instalado entre a cabeça de guerra e o motor foguete e não requer modificações nos componentes, lançadores ou plataformas de foguetes, Figura 18. Essa modificação adiciona uma massa de 3,8 kg e 380 mm de comprimento ao foguete (CASTRO, 2020).

O ideal seria a implementação de um radar ativo no foguete, porém, essa alternativa ficaria prejudicada, devido ao diâmetro reduzido do corpo, ou seja, teria uma antena muito pequena, além de encarecer ainda mais a solução.



Figura 18 – Kit de orientação a laser. Fonte: Artstation.

6.2. Míssil Anticarro

Em conjunto com os foguetes haverá um míssil anticarro, que juntos irão compor o sistema de ataque anticarro proposto. Esse míssil será constituído de uma cabeça de guerra anticarro (HEAT), tipo tandem, comum nesse tipo de missão, para penetração no carro de combate. Será composto por duas cargas ocas, uma primária (menor) e outra principal (maior), montadas em sequência de formato cônico, com o revestimento (*liner*), em ambas, constituído de molibdênio. A primária tem objetivo de provocar a ação inicial do sistema de defesa da blindagem reativa, liberando, assim, o caminho para a carga principal que irá detonar uma carga maior, gerando um jato metálico com altíssimas velocidade e temperatura, penetrando a blindagem e maximizando o dano no carro de combate.

O míssil será composto em uma versão única, sendo adaptável para lançamento tanto em solo quanto aéreo.

Conforme visto na seção 1.2, o míssil deverá atender os seguintes requisitos:

- Operar em condições climáticas adversas;
- Ser insensível à sistemas de contramedidas *soft-kill*;

- Ter capacidade de engajar alvos durante o dia e/ou a noite; e
- Operar com travamento antes (LOBL) ou depois de ser lançado (LOAL).

Para atender a todos esses requisitos, o sistema de guiamento adotado será o radar ativo, o qual também possibilitará o modo *fire-and-forget*. Este modo de engajamento será visto com bons olhos, pois como visto na seção 4.6, o sistema de defesa *Trophy* pode, além de neutralizar diretamente a ameaça, estimar a localidade do lançador, assim, após o lançamento, o atirador poderá alterar sua localização para não se tornar um alvo fácil.

A carga útil e os sistemas serão alojados em uma estrutura básica de metal com quatro *canards* e quatro empenas, todos fixos. Para realizar a pilotagem, o míssil apresentará quatro empenas móveis para atuação de controle, todas cruciformes, baseando-se no míssil anticarro *Hellfire II*, Figura 19.

A fuselagem incluirá os seguintes subsistemas: rastreo/radar, seção de guiamento e controle, espoleta e unidade de segurança e armar, cabeça de guerra e propulsão, os quais serão detalhados mais à frente.

O *Hellfire II* foi escolhido como *benchmarking* pois possui uma família de modelos com diferentes tipos de guiamento e controle, sistema de rastreo e óptica (*seeker*), cabeça de guerra e propulsão, dependendo da missão a ser empregada. Suas evoluções buscam aprimorar a letalidade e operar melhor em ambiente de contramedida ou em um ambiente obscuro; apresentam maior autonomia e capacidade de ataque de precisão; fornecem a capacidade de *fire-and-forget*, além da habilidade de operar em condições climáticas adversas e engajar alvos tanto fixos como móveis (*Missile Defense Project, 2020*).



Figura 19 – Míssil (ATGM) *Hellfire II*. Fonte: *Army Technology* (2020).

6.3. Cabeça de Guerra

O principal objetivo requisitado quanto à cabeça de guerra é a capacidade de penetrar uma espessura de 1.000 mm de *Rolled Homogeneous Armour* (RHA). Desse modo, conforme já mencionado previamente, a cabeça de guerra será do tipo HEAT com carga em tandem, ou seja, anticarro com duas cargas ocas (liner), primária e principal, em sequência. Utilizando a equação 1 (ITA/AA-810, 2020), pode-se estimar o diâmetro necessário da carga oca para uma dada espessura de blindagem.

$$D = \frac{T + 2}{5} \quad (1)$$

em que:

D : diâmetro da carga oca, em polegadas; e

T : espessura da blindagem, em polegadas.

Para a penetração em uma espessura de 1.000 mm, aproximadamente 39,4 polegadas, tem-se um diâmetro de aproximadamente 8,27 polegadas ou 210 mm. Este é um valor limitante o qual determinará o diâmetro do míssil. Assim, o diâmetro do míssil projetado deve ser maior do que o diâmetro da carga oca calculado. Atualmente, no mercado, é comum a fabricação de tubos de aço com aproximadamente 220 mm, assim, esse valor será adotado para o diâmetro do míssil.

Para o dimensionamento da carga primária, adotou-se como referência dados do míssil Milan 2T. De acordo com (*Defense Weekly: Antitank Warheads Penetrate in Tandem*, 1997), esse míssil apresenta uma cabeça de guerra também na configuração em *tandem*, tendo uma carga primária de 30 mm de diâmetro e uma carga principal de 127 mm de diâmetro. Tomando-se a relação entre os diâmetros das cargas, obtêm-se que a carga primária é aproximadamente 25% da principal. Assim, a mesma relação será adotada na presente solução, ou seja, o diâmetro da carga primária será de 50 mm. A Figura 20, apresenta uma ideia de como serão dispostas as duas cargas ocas na configuração do míssil.

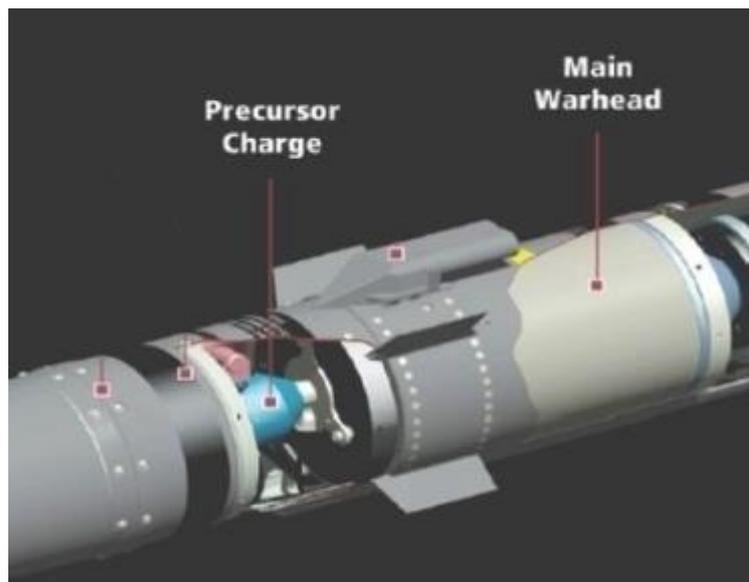


Figura 20 – Esquema da CG primária e principal. Fonte: *ThinkDefence*.

6.3.1. *Liner*

O material para fabricação do *liner* será o molibdênio (Mo). Esse material já é utilizado na segunda geração do míssil *Javelin* conforme (*Weapons: Infantry – Javelin Weapon System*, 2020). Sua densidade é de $10,22 \text{ g/cm}^3$, bem maior do que a de outros materiais normalmente utilizados. Isso irá beneficiar a penetração do jato, pois esta é proporcional à raiz quadrada da densidade do material do *liner* (ITA, 2020). Uma massa maior em um mesmo volume, aumentará a energia no impacto, causando um maior dano no alvo.

Outro fator para maximizar o desempenho em penetração será a utilização de um explosivo com elevada velocidade de detonação. Quanto maior a velocidade de detonação, maior será a velocidade do jato de penetração. O *liner* é material muito fino e envolto por explosivo, no momento que ocorre a detonação, uma frente de onda de choque é percorrida sobre ele, alterando sua forma geométrica, formando um jato e um *slug* conforme Figura 21. A capacidade de penetração do jato depende apenas da sua densidade e do seu comprimento.

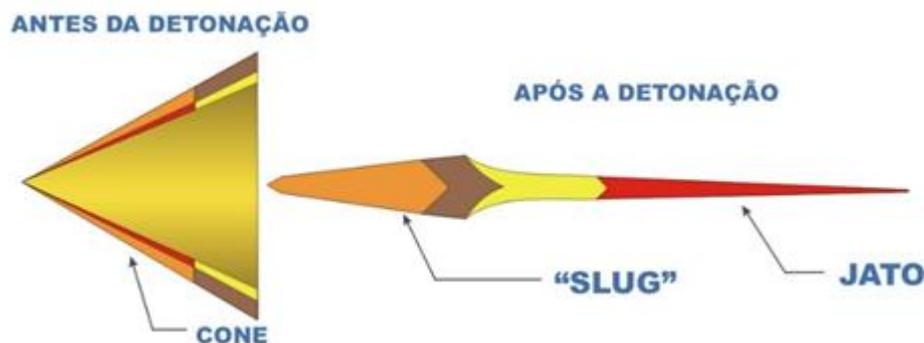


Figura 21 – Comportamento do *liner* sobre a frente de onda de choque. Fonte: ITA/AA-810 (2020).

6.3.2. Explosivo

O explosivo adotado para a cabeça de guerra será um explosivo com ligação plástica *Plastic Bonded Explosive* (PBX) devido às suas vantagens de segurança, maleabilidade, alta energia, alta estabilidade térmica, baixa sensibilidade ao manuseio, ao atrito e ao choque mecânico, além de poder ser comprimido obtendo-se um produto rígido. O PBX é constituído de um pó explosivo com ligantes poliméricos (*binder*) e, em alguns casos, plastificantes (ITA/AA-802, 2020).

Como a intenção é ter uma alta velocidade de detonação foi escolhido o PBX LX-14, contendo 95,5% em peso de *High Melting Explosive* (HMX) e 4,5% em peso de *binder* poliuretano Estane 5702-F1. Esta composição possui propriedades mecânicas superiores a outros PBXs em uso e o HMX, em sua forma pura, com uma velocidade de detonação de 9.200 m/s, atua de forma diretamente proporcional à velocidade do jato da carga oca (HUNPHREY, 1977).

6.4. Estrutura Básica

O modelo aerodinâmico está associado com o dimensionamento da geometria do míssil e estuda o comportamento entre as superfícies externas do míssil e o escoamento do ar ao seu redor. É a partir da sua geometria que serão calculados os coeficientes aerodinâmicos utilizados no cômputo das forças e momentos que atuam no artefato em voo. De uma forma geral, a geometria do míssil é constituída do corpo e das superfícies de sustentação e de controle.

Conforme a metodologia desenvolvida por FLEEMAN (2006), utiliza-se como parâmetros de base os dados históricos associados à categoria de míssil que se pretende modelar. Esses parâmetros incluem o comprimento do corpo, o diâmetro do corpo, a razão entre o comprimento do nariz e o diâmetro do corpo, o número de asas, a razão de alongamento, a

razão de afilamento e a área das asas. A partir desses dados são calculados os coeficientes aerodinâmicos, sustentação e arrasto.

A partir dos dados históricos de alguns mísseis anticarro, mais modernos atualmente, tais como: *Hellfire II*, FGM-148 *Javelin*, *Pars 3 (Trigat-LR)*, *Brimstone 2*, *Nag*, *Mokopa*, *Spike*, MMP (*Missile Moyenne Portée*), *Kornet E*, *Lahat*, MSS 1.2 AC (Míssil Superfície-Superfície) e entre outros, foi estimado o comprimento do míssil, porém preocupou-se em manter uma relação comprimento/diâmetro (L/D) próxima dos adotados na família do *Hellfire II*. Primeiramente, definiu-se o diâmetro pelo requisito de penetração da cabeça de guerra, sendo 220 mm e, mantendo a relação L/D, foi estimado o comprimento do míssil estabelecido em 2.000 mm.

Com os dados do comprimento, diâmetro e perfis das superfícies aerodinâmicas em formato trapezoidal, foi gerado um modelo do míssil proposto no software *Missile Datcom* baseado no *airframe* do *Hellfire II*, Figura 22. As dimensões finais, de forma resumida, são apresentadas na Tabela 4.

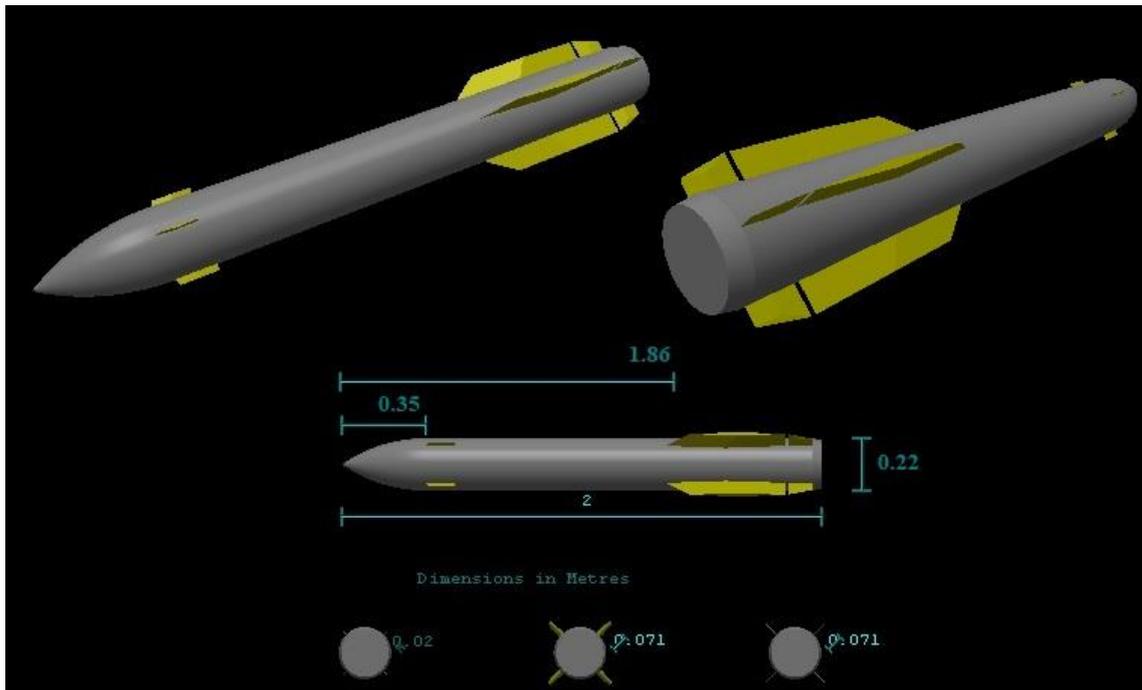


Figura 22 – Airframe básico do modelo proposto.

Tabela 4 – Dimensões finais.

	Dimensões	Unidade
Comprimento (L)	2.000	mm
Diâmetro (D)	220	mm
Comprimento do nariz (Ln)	350	mm
Envergadura (w)	362	mm

Para uma análise da eficiência aerodinâmica e estabilidade em arfagem foram gerados os gráficos da relação entre o coeficiente de sustentação (CL) e o coeficiente de arrasto (CD) e do coeficiente de momento (CM) ambos em função do ângulo de ataque (ALPHA), Figura 23 e Figura 24.

Pode-se perceber que, pela Figura 24, na medida que o ângulo de ataque aumenta, tem-se um valor negativo para o momento em arfagem, representando um voo estável. Mesmo que uma perturbação externa venha afetá-lo, este retornará para a estabilidade.

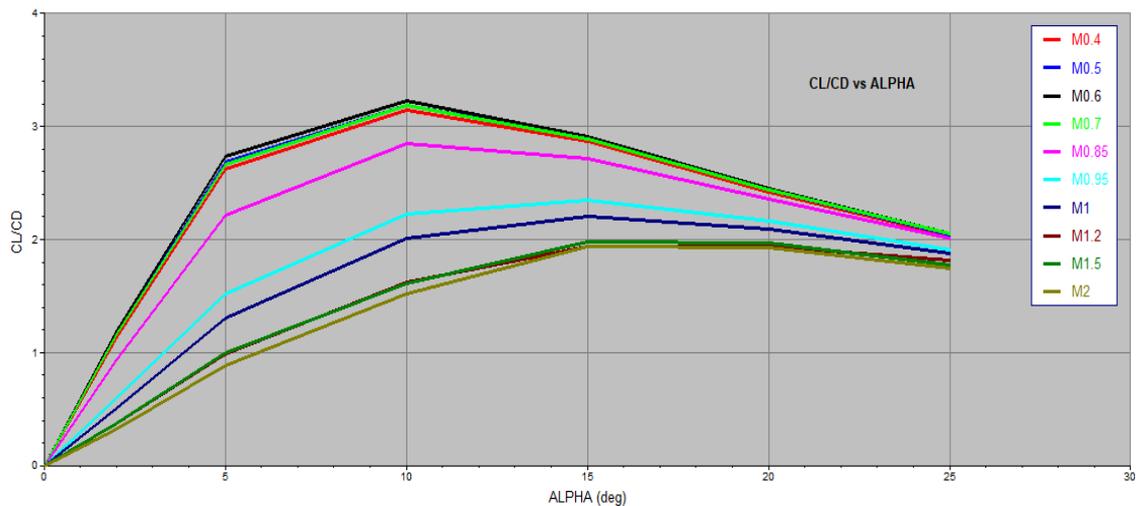


Figura 23 – Curva sustentação/arrasto pelo ângulo de ataque.

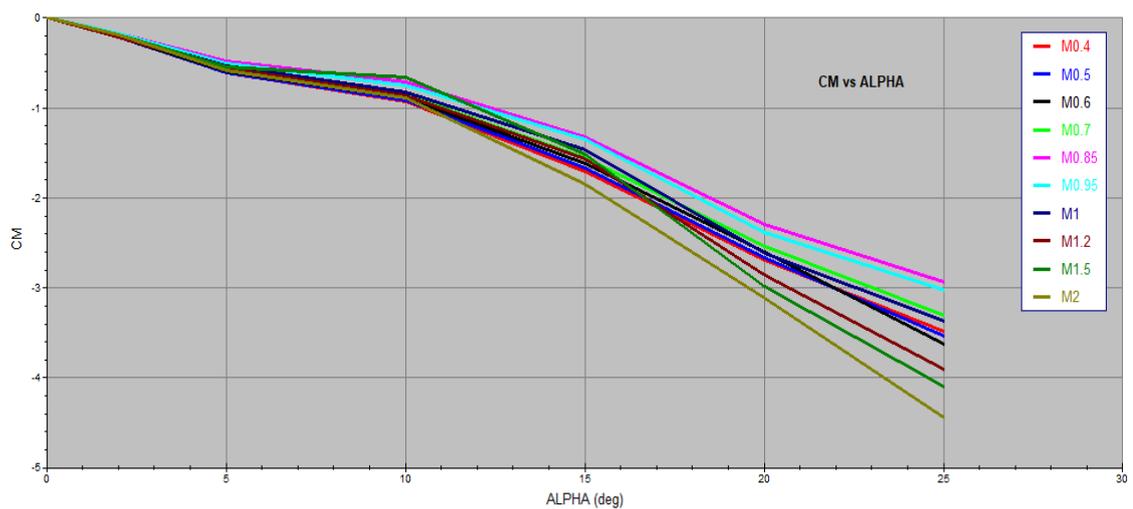


Figura 24 – Curva momento de arfagem pelo ângulo de ataque.

6.5. Sistema de Rastreo por Radar

Devido ao requisito de operar em quaisquer condições climáticas e durante o dia ou à noite, o sistema de rastreo (*seeker*) será constituído por um radar ativo de alta frequência

operando na Banda W ou Banda M (OTAN) de 94 GHz, sendo instalado na região frontal do míssil. Esse tipo de *seeker* ativo por rádio frequência possui certas vantagens, tais como a impossibilidade de ser ofuscado por *flares* térmicos, boa confiabilidade, alta probabilidade de se orientar em direção ao alvo e capacidade de operar em condições climáticas adversas.

Durante o voo, o míssil é totalmente autônomo, ou seja, a plataforma de lançamento não tem ação sobre ele e, se for utilizado uma plataforma de lançamento móvel, esta pode sair de cena ou realizar outras ações enquanto o míssil reconhece, identifica e se orienta em direção ao alvo. Esta capacidade é referida como *fire-and-forget*.

Como uma desvantagem, os mísseis guiados por radar ativo geralmente dependem da energia da bateria para o transmissor do radar, limitando significativamente sua potência.

O diâmetro da antena está limitado pelo diâmetro do míssil, ou seja, o maior diâmetro admissível para a antena é de 210 mm, devido a esse tamanho foi escolhido uma alta frequência de operação do radar.

Com o intuito de se obter a potência mínima recebida P_r necessária para à detecção do sinal do alvo, iremos utilizar a equação simplificada do radar, equação 2.

$$P_r = \frac{P_t G A_{ef} \sigma}{(4\pi)^2 R^4 L} \quad (2)$$

Onde,

P_t : potência transmitida;

G : ganho da antena;

A_{ef} : área efetiva da antena;

σ : seção reta radar do alvo (RCS);

R : distância até o alvo; e

L : perdas atmosféricas.

Para o ganho da antena utilizaremos a equação 3.

$$G = \frac{4\pi A_{ef}}{\lambda^2} = \frac{4\pi A \rho_A}{\lambda^2} \quad (3)$$

em que,

A : área geométrica da antena = $\pi D^2 / 4$;

ρ_A : eficiência da antena, geralmente igual a 0,55; e

λ : comprimento de onda = velocidade da luz (3×10^8 m/s) / frequência de operação.

Assim, utilizando a equação 2 e assumindo uma potência de pico de 1.500 W, considerando a necessidade de utilização de um ultra capacitor para manter essa energia durante o voo, porém, pequeno e de baixo peso, devido a situação típica imposta pela limitação de espaço do míssil e a banda de operação, uma distância até o alvo de 6.000 m, atenuação atmosférica de 6 dB, referente à frequência utilizada, RCS de 25 m², comum para um carro de combate e, calculando o ganho da antena, aproximadamente, 44 dB, chega-se em uma potência mínima recebida de $2,06 \times 10^{-11} W$.

Uma possível avaliação desse valor é avaliar o ruído no receptor N, influenciado pela largura de banda B, por meio da equação 4.

$$N = k_B F T_0 B \quad (4)$$

em que:

k_B : constante de Boltzmann = $1,38 \times 10^{-23}$ J/K;

F : figura de ruído; e

T_0 : temperatura ambiente = 300 K.

A largura de banda pode ser obtida pela resolução em distância ΔR , equação 5 e, como o alvo pode se movimentar será necessário incluir a variação de frequência devido ao efeito Doppler.

$$\Delta R = \frac{c}{2B} \quad (5)$$

Considerando uma resolução em distância de 20 metros, a primeira parte da largura de banda fica da ordem de 7,5 MHz. Já, a segunda parte, é obtida pela multiplicação entre a velocidade relativa do alvo e do míssil, assumindo 20 m/s, normal para o MBT, Mach 1,7 para o míssil e o valor de referência 625 Hz/(m/s) (ITA/AA-812, 2020) para uma frequência de 94 GHz usada no projeto do radar do míssil. Desse modo, a largura de banda, pelo efeito Doppler, exige um valor mínimo de 373,75 kHz. Somando as duas partes, a largura de banda total encontrada é, aproximadamente, 8,25 MHz. Com o valor da largura de banda calcula-se a largura de pulso τ do radar, $1/B$, equivalente à $12,1 \mu s$.

Assumindo uma figura de ruído de 15 dB, possível para alguns receptores no mercado e, substituindo os valores na equação 4, obtém-se um ruído no receptor da ordem de $1,08 \times 10^{-12} W$. Utilizando a equação 6, relação Sinal-Ruído (SNR), pode-se relacionar a

potência mínima recebida com o seu respectivo ruído no receptor, obtendo-se 19,08 em valor absoluto ou, aproximadamente, 12,8 dB.

$$SNR = \frac{P_r}{N} \quad (6)$$

De posse da relação Sinal-Ruído e, utilizando a função *rocsnr* do MATLAB, pode-se plotar a curva característica de operação do receptor ROC (*Receiver Operating Characteristic*), avaliando a probabilidade de detecção P_d versus a probabilidade de falso alarme P_{fa} , Figura 25. Conforme esperado, quanto menor a probabilidade de falso alarme que se espera obter, isso obriga a reduzir em muito a probabilidade de detecção. Um possível ponto de compromisso entre as duas seria o ponto marcado no gráfico, que para uma $P_{fa} = 10^{-4}$ tem-se uma $P_d = 0,9929$, ou seja, praticamente 100% de detecção do alvo.

Por fim, pode-se calcular a largura do feixe da antena pela equação 7 (ITA, 2020).

$$\theta = \frac{2\lambda K}{\pi^{\frac{1}{2}} D_i} \quad (7)$$

onde D_i é o diâmetro interno do míssil, 210 mm. Assumindo K , uma constante de valor 1,14, para uma eficiência de 60% e comprimento de onda de 3,2 mm encontra-se $1,12^\circ$ para o valor da largura do feixe, representando um feixe estreito de energia concentrada.

Para encontrar o intervalo de repetição de pulso PRI do radar, pode-se usar a equação do alcance máximo não ambíguo R_u , equação 8. Considerando o limite teórico máximo do alcance do radar como 6.000 m, tem-se um intervalo de $40 \mu s$. Já a frequência de repetição de pulso PRF, é obtida pelo inverso do PRI, sendo 25 kHz.

$$R_u = \frac{c \cdot PRI}{2} \quad (8)$$

Desse modo, pode-se calcular a potência média P_m transmitida no espaço por meio da equação 9, sendo, aproximadamente, 4,5 W.

$$P_m = P_p \cdot PRF \tau \quad (9)$$

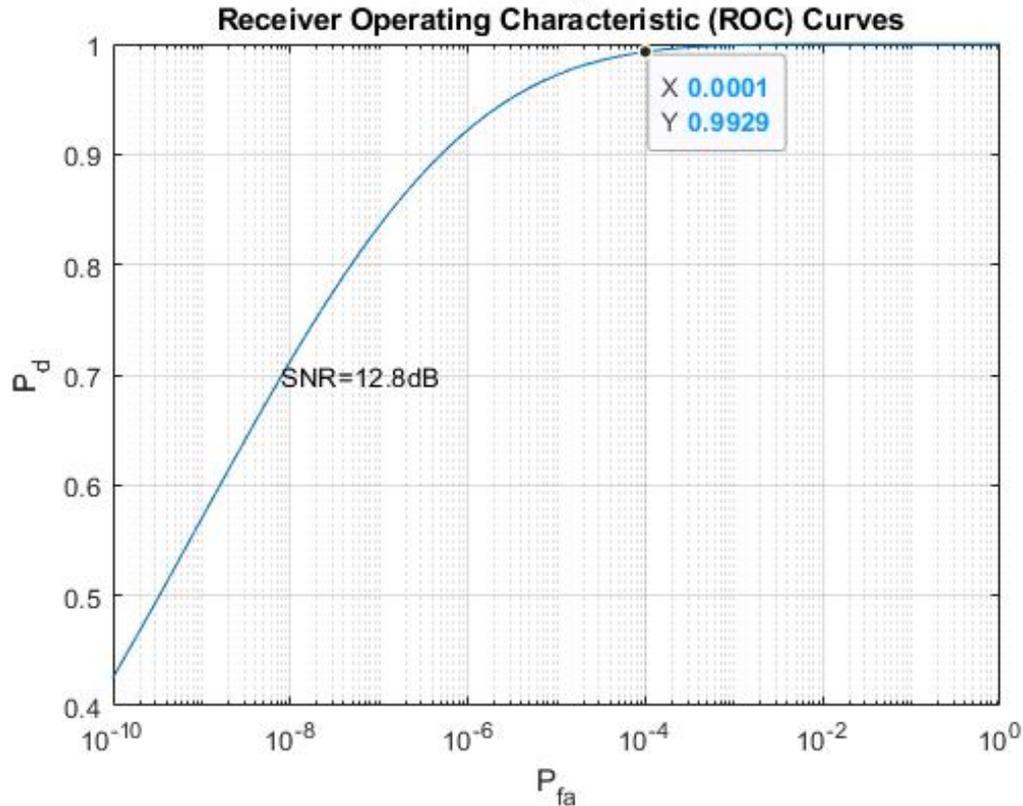


Figura 25 – Curva característica de operação do receptor.

Uma possível avaliação da PRF seria checar a questão da velocidade relativa não ambígua v_r , equação 10, pois uma boa escolha de PRF para se conseguir um grande alcance não ambíguo, seria uma escolha ruim para se conseguir uma grande velocidade relativa não ambígua e vice e versa.

$$v_r = \frac{c \cdot PRF}{4f} \quad (10)$$

Substituindo os valores na equação 10, encontra-se que a velocidade relativa máxima é, aproximadamente, 20 m/s. Esse tipo de análise é um emprego simples, sem refinamentos, não sendo possível obter um desempenho esperado para o radar.

Uma possível abordagem, seria ajustar a PRF para atender a velocidade relativa não ambígua desejada. Assim, considerando a velocidade relativa de 598 m/s e utilizando a equação 10, tem-se uma PRF de 749,5 kHz, um PRI de $1,33 \mu s$ e, conseqüentemente, por meio da equação 8, um alcance máximo não ambíguo de, aproximadamente, 200 metros. Para refinar essa estratégia e melhorar a capacidade do radar, faz-se necessário implementar técnicas mais avançadas, como por exemplo o emprego de múltipla PRF para se obter uma informação de

velocidade relativa não ambígua e expandir o alcance máximo não ambíguo, ou seja, uma análise mais aprofundada, a qual não será abordada neste trabalho. Uma desvantagem aqui é que para atender essa estratégia de múltipla PRF seria demandado maior potência pois os pulsos em cada PRF demandam alta potência de pico. Porém, esta maior demanda de potência pode ser suprida pela utilização do ultra capacitor que pode atender até 15 kW totais de potência de pico (MAXWELL TECHNOLOGIES).

6.6.Seção de Controle

O controle, que será responsável pela manobrabilidade do míssil, será efetuado por 4 empenas em formato trapezoidal, fabricadas em alumínio. Para a estabilização e sustentação serão inseridas 4 *canards* e 4 empenas, ambos fixas, também em formato trapezoidal e do mesmo material que as empenas móveis.

Optou-se por esse tipo de configuração, mesmo tendo conhecimento que o controle por empenas reduz a manobrabilidade do míssil, porém essa desvantagem não será capaz de impactar a eficiência do controle, pois o alvo a ser perseguido possui baixa velocidade e pouca manobrabilidade, ou seja, não será demandado ao míssil realizar várias manobras em voo.

O sistema de controle será individual. Cada empena terá movimentos independentes, sendo atuada por um motor elétrico permitindo ao míssil executar controles de arfagem, guinada e rolamento. O motor elétrico foi adotado devido ao menor volume ocupado na instalação, ser mais eficaz para baixos torques no eixo do atuador e possuir melhores tempos de resposta.

6.7.Espoleta e Unidade de Segurança e Armar

O conjunto da espoleta e da unidade de segurança e armar será constituído de um dispositivo eletrônico, utilizando a tecnologia *Electronic Safe and Arming Device* (ESAD). Esse conjunto é projetado para aplicações de missão crítica em que uma sequência de armar e acionar, confiáveis, serão necessários em pequenos intervalos de tempo vitais para a execução do processo.

Um dispositivo genérico ESAD, Figura 26, consiste de duas seções, geralmente contidas no mesmo pacote. A primeira é um circuito de segurança e a segunda é um conjunto de acionamento de alta tensão. A segurança do sistema é mantida pela interrupção no fornecimento de potência para o circuito de alta tensão. Dessa forma, o sistema de segurança impede o acionamento devido a um estímulo inicial ou a um pulso elétrico de alta potência, que

indevidamente poderia ser transmitido para o circuito de alta tensão. Além disso, possui, também, uma outra medida de proteção, tornando o sistema redundante, por meio de 2 sensores que serão ativados em momentos específicos do voo (FOWLER, 1999).

A espoleta utilizada será de impacto, sendo acionada por um sensor piezoelétrico. O dispositivo de segurança e armar evitará a ação de armar da espoleta até que o míssil esteja a uma distância segura da plataforma de lançamento e funcionará em conjunto com a seção de orientação e rastreo para garantir que o sistema permaneça desarmado até um pouco antes da interceptação, minimizando a vulnerabilidade à interferência.

A ESAD foi escolhida devido às suas características, tais como (PERRIN, 2016):

- Alto nível de insensibilidade com explosivos secundários;
- Maior segurança, pois não possui explosivo primário;
- Resistência a distúrbios eletromagnéticos e eletrostáticos;
- Capaz de suportar tensões mecânicas muito altas (penetração de alvo difícil);
- Flexível: gerenciamento eletrônico de segurança e processamento de eventos de segurança;
- Torna mais fácil a operação de teste durante todo o ciclo de vida;
- Retorna ao status inicial de segurança em caso de falha do sistema;
- Permite *design* de "ogiva inteligente" (iniciação multiponto, tempo de ignição preciso); e
- Em conformidade com o projeto de segurança STANAG 4187 ed.4.

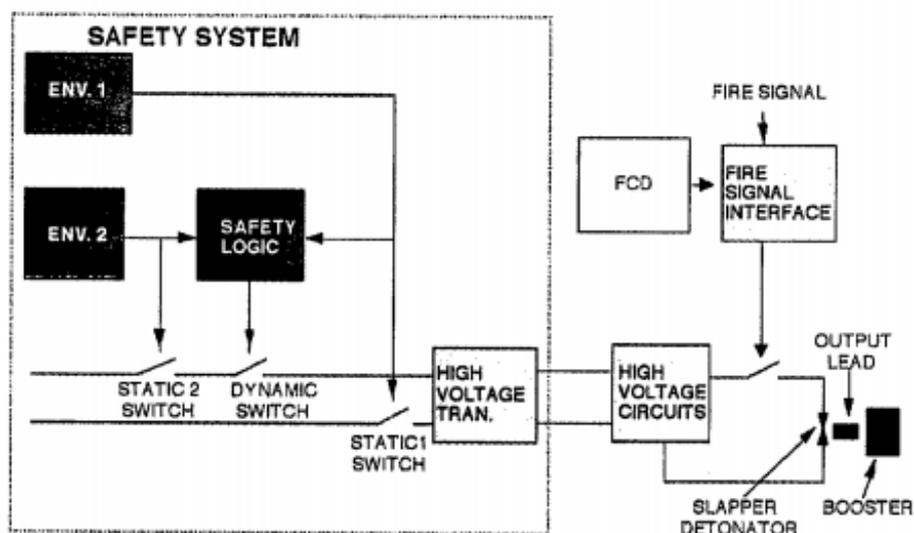


Figura 26 – *Electronic Safe and Arming Device*. Fonte: Fowler (1999).

6.8. Propulsão

Foi adotado para o sistema de propulsão um motor foguete a propelente sólido, o mesmo sistema utilizado na família de mísseis *Hellfire*. Este tipo de propulsão proporciona uma propulsão independente da altitude e da velocidade de voo, devido ao fato de não dependerem do oxigênio do ar. Apresentam baixo impulso específico, porém, podem gerar altíssimo empuxo por um curto período. Os valores de alcance e da velocidade de cruzeiro requeridos determinam a viabilidade do míssil na missão empregada.

Admitindo-se que a massa da cabeça de guerra, geralmente, equivale de 30 a 40 % da massa total do míssil em voo de cruzeiro, pode-se estimar a massa de lançamento do míssil, m_0 . Assumindo um cabeça de guerra de 25 kg, tem-se que a massa de lançamento é 62,5 kg.

Adotando-se uma velocidade Mach 1,7, valor escolhido devido às velocidades dos mísseis anticarro estudados como *benchmark*, *Hellfire*, *Mokopa* e *Kornet*, aceleração da gravidade de $9,81 \text{ m/s}^2$, impulso específico (Isp) de 260 segundos e massa de lançamento de 62,5 kg, a partir da equação 11, equação de ganho de velocidade de Tsiolkovsky pode-se calcular a massa final do míssil, m_b , após a queima do propelente, equivalente a 49,8 kg. Assim, a massa de propelente, m_p , é da ordem de 12,7 kg ($m_0 - m_b$).

$$V = g_0 Isp \ln \left(\frac{m_0}{m_b} \right) \quad (11)$$

O tempo para o míssil chegar até ao alvo, considerando o alcance de 6.000 m, são 10,4 segundos. Considerando apenas uma fase de queima do motor e, assumindo um tempo de queima, t_b , de 4 segundos, o consumo de propelente fica estabelecido em 3,18 kg/s, equação 12.

$$\dot{m} = \frac{m_p}{t_b} \quad (12)$$

Por meio da equação 13, calcula-se o empuxo desenvolvido pelo motor foguete adotado, sendo, aproximadamente, 8.110 N.

$$F = Isp g_0 \dot{m} \quad (13)$$

O processo para estimar a propulsão é iterativo, então, retornando à equação 11, porém, acrescentando a parcela do arrasto médio sofrido pelo míssil durante sua trajetória de voo e, manipulando as variáveis, chega-se na equação 14.

$$V = \frac{(F - D_M)}{m_p} t_b \ln\left(\frac{m_0}{m_b}\right) \quad (14)$$

em que o arrasto médio, D_M , é calculado pela equação 15, considerando um coeficiente de arrasto $CD = 0,45$ para um ângulo de ataque zero, área do míssil $A_m = 0,038 \text{ m}^2$ e densidade do ar $\rho_{ar} = 1,225 \text{ kg/m}^3$, obtém-se que o arrasto médio possui um valor de 350 N.

$$D_M = \frac{1}{2} \rho_{ar} V^2 A \cdot CD \quad (15)$$

Assim, substituindo todos os valores na equação 14, encontra-se uma nova massa final do míssil, sendo de 49,3 kg. Subtraindo essa nova massa final da massa de lançamento, obtém-se uma nova massa de propelente, 13,2 kg. Por meio da equação 13, encontramos um novo empuxo gerado pelo motor, sendo, aproximadamente, 8.400 N. Realizando, novamente, o processo, 2ª iteração, o valor da massa de propelente converge para este mesmo valor, ou seja, a massa de propelente adotada para estimar o volume da propulsão será 13,2 kg. E, por fim, o empuxo desenvolvido pelo motor foguete será 8.400 N.

Considerando o propelente *composite*, mais comumente utilizado em mísseis, devido às seguintes vantagens (SUTTON; BLIBARZ, 2001):

- Elevada massa específica;
- Elevado impulso específico;
- Maior facilidade no manuseio e estocagem;
- Combustão mais confiável; e
- Elevadas propriedades mecânicas.

Esse propelente possui a desvantagem de emitir, na queima, uma maior quantidade de fumaça e, se tornar visível ao oponente, porém não será um impeditivo, pois o míssil com *seeker* radar ativo possui a capacidade de *fire-and-forget*.

E adotando a resina polibutadieno hidroxilado (HTPB), com adição de perclorato de amônio (AP) e alumínio em pó (Al), cuja densidade é de aproximadamente 1850 kg/m^3 , ρ_p , calcula-se o volume de propelente, V_p , pela equação 16, sendo $0,0071 \text{ m}^3$.

$$V_p = \frac{m_p}{\rho_p} \quad (16)$$

A partir do volume de propelente, calcula-se o volume da câmara de combustão, equação 17.

$$V_c = \frac{V_p}{\eta_v} \quad (17)$$

em que η_v , é o coeficiente volumétrico. Adotando o valor de 0,75, para um propelente tipo estrela (SUTTON; BLIBARZ, 2001), obtém-se o volume da câmara, $0,0095 \text{ m}^3$.

A partir do volume da câmara de combustão, do diâmetro interno e , utilizando a equação 18, calcula-se o comprimento estimado do motor foguete, sendo $0,274 \text{ m}$.

$$L_m = \frac{4 V_c}{\pi D_i^2} \quad (18)$$

Este valor é compatível com as dimensões do míssil usado como referência. Na Figura 27, pode-se verificar que o comprimento do motor do *Hellfire* é de 359 mm, valor estimado com base na escala do *Missile.Index*. Seu comprimento é de 1.800 mm e 178 mm de diâmetro, devido a isso possui um maior comprimento do motor. Como o míssil projetado tem um $L = 2.000 \text{ mm}$ e $D_e = 220 \text{ mm}$, ambos maiores, não há necessidade de um motor dessa magnitude, ou seja, é factível estabelecer que o motor tenha um comprimento menor.

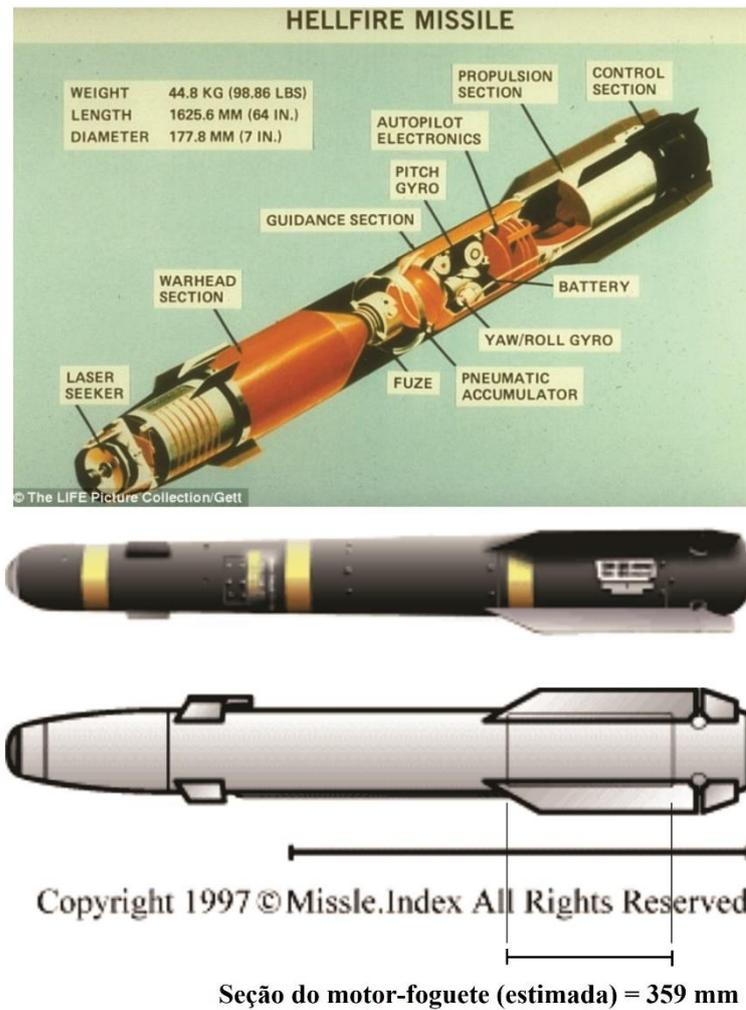


Figura 27 – Motor foguete estimado do *Hellfire*. Fonte: Adaptado de *Missile Index* (2014).

Por fim, utilizando a equação de Breguet, equação 19, pode-se chegar ao alcance máximo atingido pelo míssil, aproximadamente, 32 km.

$$R = V \frac{L}{D} Isp \ln \left(\frac{m_0}{m_b} \right) \quad (19)$$

onde assumimos um $L/D = 0,9$, que vem da relação dos coeficientes de sustentação e arrasto, Figura 23, para um ângulo de ataque baixo de 5° .

7. Sistema de Ataque Anticarro

7.1. Ataque

Para o sucesso da missão, sendo a penetração de 1.000 mm RHA na blindagem do carro de combate, será necessário lançar, no mínimo, 35 foguetes, pois segundo Walentynowicz (2011) o sistema de defesa *Trophy* possui um total de 35 contramedidas para desvio e/ou destruição do artefato que está em sua rota de colisão. Assim, o sistema será estressado à sua saturação, não havendo outra medida, eficaz, para neutralizar a próxima ameaça. Após findar esse primeiro período de combate, será lançado o míssil anticarro para, definitivamente, concluir o requisito proposto da missão. A Figura 28, sistema montado no helicóptero Apache AH-64, dá uma ideia de como será o *layout* da configuração do sistema de ataque proposto, composto pela combinação do casulo lançador de foguetes e o míssil proposto para a missão. Esse tipo de configuração será implementado tanto para lançamento em solo quanto para aéreo.



Figura 28 – Sistema de ataque proposto. Fonte: *Arabian Business* (2018).

7.2. Análise de Viabilidade Econômica

Cada foguete guiado pode custar por volta de U\$ 10.000,00. Já o custo para o míssil anticarro, pode ser estimado com relação ao míssil *Hellfire*, cujos valores de produção ficam

em torno de U\$ 80.000,00, dependendo da configuração e missão empregada (CASTRO, 2010). Considerando o sistema completo, foguetes mais um míssil, tem-se um valor estimado de U\$ 430.000,00. É um valor expressivo, porém, quando comparado ao valor de um carro de combate com sistema de defesa APS, aproximadamente U\$ 5.000.000,00, torna-se economicamente viável para o emprego da missão.

7.3. Time Line

Utilizando a equação de Tsiolkovsky e inserindo os valores de massa de lançamento e massa final do foguete guiado e impulso específico de 230 segundos, comum para um propelente DB, encontra-se uma estimativa da velocidade que o artefato irá voar em direção ao alvo, sendo 568 m/s. O alvo encontra-se a 6.000 m, assim, o tempo de voo para a colisão será de 10,5 segundos. Considerando que no tempo zero o alvo é detectado, após 1 segundo o primeiro foguete é lançado e, assumindo um tempo de 0,3 segundos entre cada disparo, tem-se que em 22 segundos o trigésimo quinto foguete acionará a última contramedida do sistema defensivo *Trophy*. Nessa situação, o míssil anticarro estará apto para ser lançado, atingindo o alvo em 10,4 segundos, totalizando um tempo total de 32,7 segundos. A Figura 29 apresenta um esquema do conceito da operação empregada.

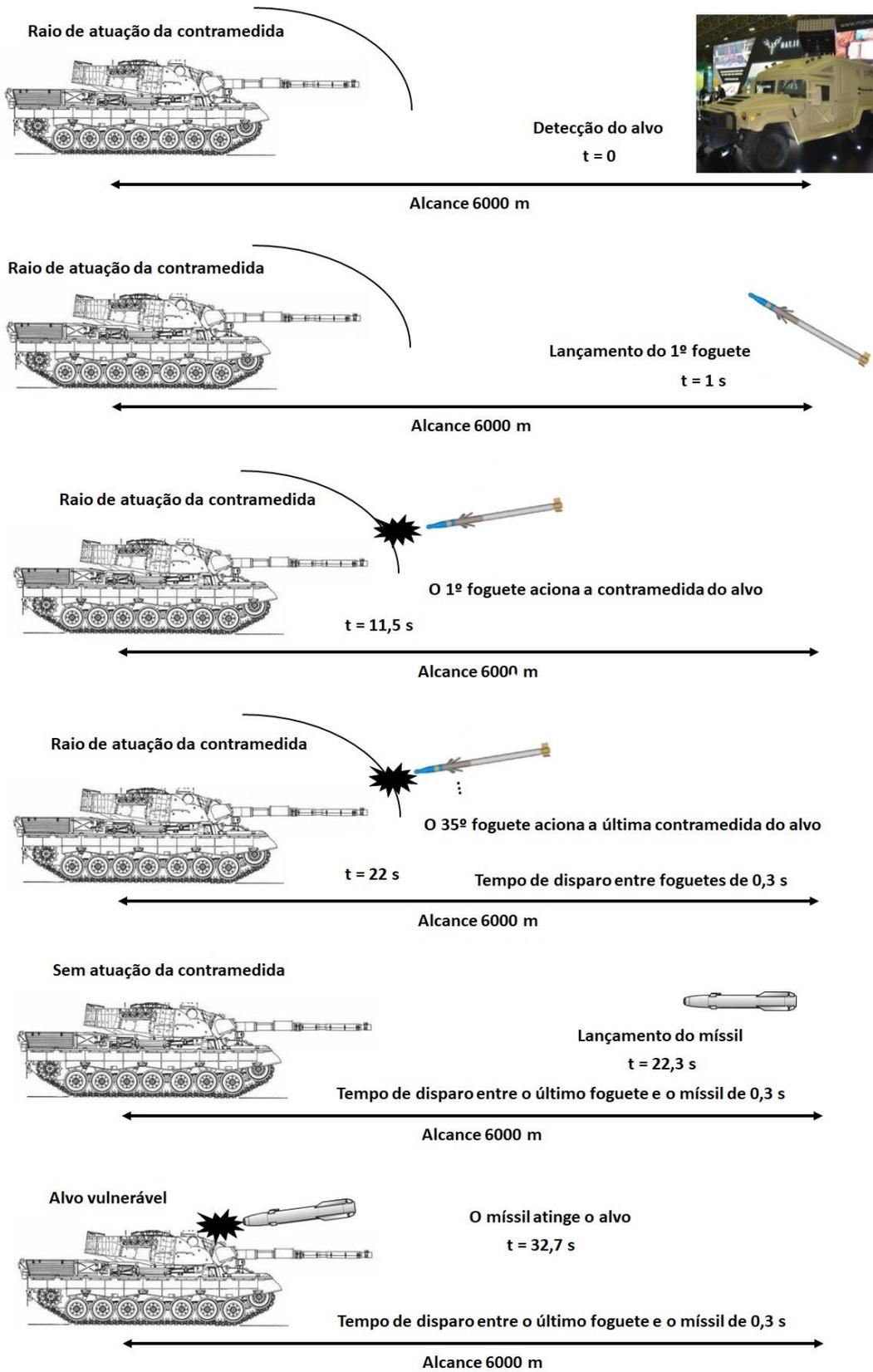


Figura 29 – Esquema do conceito da operação.

8. Conclusão

Por meio da análise da solução conceitual idealizada pode-se entender que o objetivo de delinear um armamento capaz de atingir e penetrar em veículos blindados equipados com modernos sistemas de defesa DAS, bem como os requisitos sugeridos de projeto foram atingidos conforme descrito em sequência:

1. Alcance mínimo até 0,5 km; e
2. Alcance máximo para versão lançada de solo acima de 6 km.

O motor foguete a propelente sólido tanto do foguete quanto do míssil possui um alcance máximo de aproximadamente 10 e 35 km, respectivamente, valores superiores ao solicitado no projeto.

3. Penetração no alvo > 1.000 mm de *Rolled Homogeneous Armor* (RHA) ou tipo de aço reforçado.

Conforme equação 1, o diâmetro da carga oca foi dimensionado para atingir uma espessura de penetração de 1.000 mm, ou seja, atende ao tipo de missão que foi solicitado.

4. Capacidade *Lock-on Before Launch* (LOBL) e *Lock-on After Launch* (LOAL);
5. Operação em quaisquer condições climáticas (*all-weather*) e durante dia ou noite; e
6. Capacidade de ataque contra alvos estáticos e móveis.

Por meio do sistema de detecção e rastreamento adotado para o míssil como radar ativo é possível a capacidade de engajamento do alvo tanto antes como depois do seu lançamento. Esse tipo de guiamento também permite a atuação em condições climáticas adversas e, independente, do alvo ser estático ou móvel, sua eficácia não será alterada. Uma limitação para o conceito é o sistema de guiamento a laser utilizado nos foguetes, o qual será necessário a iluminação do alvo em toda a sua trajetória. Como mencionado na seção 6.1 a implementação de um radar ativo no foguete não seria a mais correta, devido ao diâmetro reduzido do corpo, assim, a antena seria muito pequena, além de encarecer ainda mais a solução.

7. Mínimo tempo de preparação antes do uso.

Como o sistema de ataque esboçado é composto de 35 foguetes guiados e um míssil anticarro, esse requisito será difícil de atender, pois mesmo que a plataforma lançadora tenha a capacidade de armazenar uma quantidade, relativamente, grande, de foguetes e mísseis, sua preparação antes do uso, consumirá um tempo expressivo durante o teatro de operações.

8. Capacidade para lançamento tanto de solo quanto por aeronaves.

O projeto foi idealizado com as mesmas características tanto para um lançamento de solo quanto por aeronaves, nesse caso específico, aeronave de asa rotativa. Em ambas as situações, a velocidade inicial é praticamente, zero, alterando o ângulo e a altitude de lançamento. Será necessário realizar testes para verificar a compatibilidade, o comportamento e futuras adaptações em cada plataforma de lançamento.

Por meio desse trabalho foi proposto um projeto conceitual de um sistema de ataque anticarro, atentando para os parâmetros sugeridos na solução. Após o desenvolvimento do artefato bélico será necessário realizar ensaios e testes verificando a real interação e comportamento entre todos os sistemas que compõem o míssil, tais como: propulsão cabeça de guerra tipo *tandem*, aerodinâmica, rastreio, propulsão e controle.

Por fim, como sugestão para trabalhos futuros pode-se pensar em: lançar um foguete balístico, com cabeça de guerra composta por várias submunições, acionando o sistema defensivo e, após, lançar o míssil anticarro. Realizar um estudo para tentar otimizar o número de foguetes disparados de acordo com a probabilidade de neutralizar desejada tentando trabalhar com disparo simultâneo de vários foguetes e o míssil principal “misturado” no meio do bando. Caso seja possível uma otimização desse tipo, o planejamento de recursos em um cenário que precise derrotar vários MBT seria beneficiado. Pode-se pensar, também, em avaliar a doutrina de concepção de ataque, alterando o sistema de lançamento empregado, visto que o tempo total de ataque é demasiado grande para um engajamento pela plataforma aérea, ou seja, a aeronave ficaria exposta à identificação pelo inimigo, se tornando um alvo fácil.

9. Referências

AEROWEB. **Foguete *Hydra***. Disponível em: <<http://www.fi-aeroweb.com/Defense/Hydra-70-Rocket.html>>. Acesso em: 17 nov 2020.

ARABIAN BUSINESS. **Sistema de ataque proposto**. Disponível em: <<https://www.arabianbusiness.com/technology/401943-us-approves-30m-sale-of-hellfire-missiles-to-kuwait>>. Acesso em: 27 nov 2020.

ARMY TECHNOLOGY. **Míssil (ATGM) *Hellfire II***. Disponível em: <<https://www.army-technology.com/projects/hellfire-ii-missile>>. Acesso em: 06 nov 2020.

THINK DEFENCE. **Esquema da cabeça de guerra primária e principal**. Disponível em: <<https://www.thinkdefence.co.uk/uk-complex-weapons/brimstone/>>. Acesso em: 06 dez 2020.

ARTSTATION. **Kit de orientação a laser**. Disponível em: <<https://www.artstation.com/artwork/w2lkg>>. Acesso em: 23 nov 2020.

BASTOS, Expedito Carlos Stephani. PAULA, Victor Magno Gomes. **Uma realidade Brasileira: Foguetes e Mísseis no Exército Brasileiro 1949 – 2012**. Funceb. da Cultura. Ano IX. Nº 20. Disponível em: <http://www.funceb.org.br/images/revista/23_1r8u.pdf>. Acesso: 30 nov 2020.

BESTHQWALLPAPERS. **Cortina de fumaça**. Disponível em: <<https://besthqwallpapers.com/pt/arma/leopard-2a4-alem%C3%A3o-tanque-de-guerra-aterro-a-fuma%C3%A7a-laranja-tela-banco-83293>>. Acesso em: 04 dez 2020.

BRASIL. Exército Brasileiro. **Centro de Instrução de Blindados**. General Walter Pires. Disponível em: <<https://www.cibld.eb.mil.br/index.php/histórico>>. Acesso em: 29 nov 2020.

CASTRO, Fábio. **Kit de Guiamento para Foguetes**. Sistemas de Armas, 2010. Disponível em: <<http://sistemasdearmas.com.br/pgm/foguetesguiados.html>>. Acesso em: 23 de nov de 2020.

COSTA, P. R. **Mísseis Anticarro**. Revista Militar de Ciência e Tecnologia. Vol. XVII. 1º quadrimestre de 2000. Disponível em: <http://rmct.ime.eb.br/arquivos/RMCT_1_quad_2000/misseis_anticarro.pdf>. Acesso em: 30 nov 2020.

DEFESA AÉREA E NAVAL. **AH-11B *Wild Lynx***. Disponível em: <<https://www.defesaaereanaval.com.br/artigos/ah-11b-super-lynx-conheca-o-programa-de-modernizacao-na-leonardo-helicopters>>. Acesso em: 02 dez 2020.

DEFESANET. **Sistema Trophy testado no Bradley**. DefesaNet, 2018. Disponível em: <<https://www.defesanet.com.br/tank/noticia/30811/Sistema-Trophy-testado-no-Bradley/>>. Acesso em: 11 nov 2020.

DEFENSE WEEKLY: *Antitank Warheads Penetrate in Tandem*. Jane's, 1997. Disponível em: <<https://customer.janes.com/Janes/Display/jdw02744-jdw-1997>>. Acesso em: 30 out 2020.

DEPARTMENT OF THE ARMY. *Technical Manual Army Ammunition. Rockets, Rockets systems, Rockets fuzes, Rockets motors*. Motor foguete, Mk-66. TM 43-0001-30. Washington, DC. 1981.

DEPARTMENT OF THE ARMY. *Technical Manual army ammunition. Rockets, Rockets systems, Rockets fuzes, Rockets motors*. Cabeça de guerra HEAT. TM 43-0001-30. Washington, DC. 1981.

FERRARI, Daniel; DINIZ, Rodrigo; SILVA, Jymmys. **Munições guiadas: a sua utilização no combate moderno e a necessidade de atualização dos foguetes**. Trabalho de Conclusão de Curso (Centro de Instrução de Artilharia de Mísseis e Foguetes, Curso de Operação ao Sistema de Mísseis e Foguetes para Oficiais e Sargentos). Formosa, 2011. Disponível em: <https://bdex.eb.mil.br/jspui/bitstream/123456789/3929/1/TCC_FERRARI.pdf>. Acesso em: 20 nov 2020.

FIGUEIRA, Tadeu Machado. **A influência do emprego de mísseis anticarro nas técnicas, táticas e procedimentos da força-tarefa esquadrão de carros de combate em operações desenvolvidas em áreas humanizadas**. Dissertação (Mestrado em Ciências Militares) apresentada à Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais (ESAO). Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<http://bdex.eb.mil.br/jspui/handle/123456789/3260>>. Acesso em: 01 dez 2020.

FLEEMAN, E. L. *Tactical missile design*. 2. ed. Virginia: Editora American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA), 2006. 468 p.

FOWLER, S E. *Safety and Arming Device*. Naval Air Warfare Center Weapons Division TP 8431. China Lake, California, 1999.

GENERAL Dynamics European Land Systems – *Santa Bárbara Sistemas 140 mm (40-round) Teruel Multiple Rocket Launcher System*. Jane's, 2017. Disponível em: <https://customer.janes.com/Janes/Display/jaa_0650-jaad>. Acesso em: 02 dez 2020.

HUMPHREY, J R. *LX-14: A New High-Energy Plastic-Bonded Explosive*. United States: N. p., 1977. Web.

IBARRA, Cristian Ademar. **O Emprego Tático Da Artilharia Antiaérea Argentina, Orgânica De Uma Brigada Mecanizada, Na Operação Retrograda – Ação Retardamento**. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. RJ. 2015. 43 pag. Disponível em: <https://bdex.eb.mil.br/jspui/bitstream/123456789/6978/1/2015_TCC_Ten%20Ibarra.pdf>. Acesso em: 28 nov 2020.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA. **Disciplina AA-810. Letalidade**. Curso CEEAA. São José dos Campos: ITA, 2020.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA. **Disciplina AA-812. Introdução ao Projeto Conceitual de Armamento Aéreo**. Curso CEEAA. São José dos Campos: ITA, 2020.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA. **Disciplina AA-802. Explosivos Militares, Propelentes e Pirotécnicos**. Curso CEEAA. São José dos Campos: ITA, 2020.

JESUS, Ten. Anderson Gomes. **Sistemas De Proteção Ativa: Revisão E Análise De Seu Emprego No Exército Brasileiro**. Ministério da Defesa. Ação de Choque, 2019. Ed. 17. Disponível em: <<http://ebrevistas.eb.mil.br/index.php/AC/article/view/3044/2447>>. Acessado em: 23 nov 2020.

JUNIOR, Jorge Francisco de Souza. **As Forças Blindadas do Exército Brasileiro – Atualização, Modificação e Modernização: uma proposta**. Trabalho de conclusão de curso (Escola de Comando e Estado-Maior do Exército). Rio de Janeiro, 2010. 137 pag. Disponível em: <https://www.academia.edu/26349085/As_For%C3%A7as_Blindadas_do_Ex%C3%A9rcito_Brasileiro_Atualiza%C3%A7%C3%A3o_Modifica%C3%A7%C3%A3o_e_Moderniza%C3%A7%C3%A3o_uma_proposta>. Acesso em: 20 nov 2020.

LAND WARFACE PLATFORMS: **Firepower, Survivability & Mobility – Trophy – HV; Trophy – MV**. Jane's, 2020. Disponível em: <<https://customer.janes.com/Janes/Display/JAAUA029-JLWU>>. Acesso em: 30 out 2020.

LAND WARFACE PLATFORMS: **Armoured Fighting Vehicles – Merkava**. Jane's, 2019. Disponível em: <https://customer.janes.com/Janes/Display/JAA_1296-JAFV>. Acesso em: 30 out 2020.

LINO, Sgt. José. **Sistemas de Proteção Ativa (APS)**. BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. Centro de Instrução de Blindados General Walter Pires. A Forja 64. Ano 2016. Disponível: <<https://www.cibld.eb.mil.br/index.php/periodicos/a-forja/348-a-forja-64>>. Acesso em: 21 nov 2020.

MATHIAS, Cel. Flávio Moreira; JONSSON, Cap. Alexandre Mendes; SANTOS, Cap. Gilson Juk. **Uma Análise Sobre Adoção de Viaturas Blindadas de Combate De Fuzileiros para o Exército Brasileiro**. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. Ação de Choque nº 40. Disponível em: <<http://ebrevistas.eb.mil.br/index.php/AC/article/view/952/983>>. Acesso em: 22 nov 2020.

MAXWELL TECHNOLOGIES, INC. **Cells**. Disponível em: <<https://www.maxwell.com/products/ultracapacitors/cells>>. Acesso em: 14 dez 2020.

MISSILE DEFENSE PROJECT. **"Hellfire" Missile Threat**. Center for Strategic and International Studies, May 4, 2020, last modified July 17, 2020. Disponível em <<https://missilethreat.csis.org/missile/agm-114-hellfire>>. Acesso em: 11 de nov de 2020.

MISSILE INDEX. **Motor foguete estimado do Hellfire**. *Missile Index*, 2014. Disponível em: <<http://missile.index.ne.jp/cgi/misearch.cgi>>. Acesso em: 05 dez 2020.

PERRIN, M. **Fuzing Systems for Advanced Weapon Performance**. In: **59th Annual NDIA Fuze Conference**, Charleston, SC, 2016.

PADILHA, Luiz. **AH-11B Super Lynx – Conheça o programa de modernização na Leonardo Helicopters**. Defesa Aérea e Naval, 2017. Disponível em:

<https://www.defesaaereanaval.com.br/artigos/ah-11b-super-lynx-conheca-o-programa-de-modernizacao-na-leonardo-helicopters>. Acesso em: 02 dez 2020.

PODER AÉREO. **Ideia do casulo lançador de foguetes**. Disponível: <<https://www.aereo.jor.br/2016/05/10/avioes-a-29-da-fab-recebem-casulos-de-foguetes-de-maior-capacidade>>. Acesso em: 02 dez 2020.

RAFAEL ADVANCE DEFENSE SYSTEMS LTD. **Bolha de proteção do Trophy**. Disponível em: <<https://www.rafael.co.il/worlds/land/trophy-aps/>>. Acesso em: 21 nov 2020.

RAFAEL ADVANCE DEFENSE SYSTEMS LTD. **Componentes do Trophy**. Disponível em: <<https://www.rafael.co.il/worlds/land/trophy-aps/>>. Acesso em: 21 nov 2020.

RAFAEL ADVANCE DEFENSE SYSTEMS LTD. **Funcionamento do sistema de defesa Trophy**. Disponível: <<https://www.rafael.co.il/worlds/land/trophy-aps/>>. Acesso em: 21 nov 2020.

RAFAEL ADVANCE DEFENSE SYSTEMS LTD. **Funcionamento do Trophy**. Disponível em: <<https://www.rafael.co.il/worlds/land/trophy-aps/>>. Acesso em: 21 nov 2020.

SIGHTING and Targeting – **DHY 307 laser target designator**. Jane's, 2020. Disponível em: <<https://customer.janes.com/Janes/Display/JEOS0661-JC4IL>>. Acesso em: 02 dez 2020.

STRANO, Michael S. **Multifunctional Materials: Transparent Reactive Armor Utilizing Single-Walled Carbon Nanotube Frameworks**. Massachusetts Inst. of Tech. Cambridge. Dept. of Chemical Engineering, 2010. Disponível em: <<https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA563683>>. Acesso em: 10 nov 2020.

SUTTON, G. P., BLIBARZ, O. **Rocket Propulsion Elements**. New York: John Willey & Sons, Inc. 2001.

WALENTYNOWICZ, Jerzy. **Problemy Pasywnej I Aktywnej Ochrony Wozów Bojowych**. Revista Zeszyty Naukowe / A Academia Militar de Forças Terrestres General T. Kościuszko. Ano 2011. Volume No. 2. Pag. 219-236. Disponível em: <http://www_wso_wroc_plimagesplikiwpikbnzn2011zn2201115walus.pdf>. Acesso em: 11 nov 2020.

WEAPONS: **Infantry – Javelin Weapon System**. Jane's, 2020. Disponível em: <https://customer.janes.com/Janes/Display/JIW_0808-JIW>. Acesso em: 30 out 2020.

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO <p style="text-align: center;">TC</p>	2. DATA 10 de dezembro de 2020	3. REGISTRO N° DCTA/ITA/TC-117/2020	4. N° DE PÁGINAS 72
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Projeto Conceitual de Um Sistema de Ataque Anticarro			
6. AUTOR(ES): Thiago Durães Barboza			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: Míssil Anticarro, Tandem, Carro de Combate, Sistema de Proteção Ativa			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Mísseis antitanque; Balística terminal; Mísseis guiados; Armamentos militares; Engenharia militar.			
10. APRESENTAÇÃO: (X) Nacional () Internacional ITA, São José dos Campos. Curso de Especialização em Engenharia de Armamento Aéreo, (CEEAA). Orientador: Cap. Eng. Luty Rodrigues Ribeiro, Esp.; Co-orientador: Paulo Cesar Miscow Ferreira, MSc. Apresentação em 11 de dezembro de 2020. Publicada em 2020.			
10. RESUMO: Os mísseis anticarro convencionais e atuais foram todos reportados como tendo capacidades limitadas contra veículos blindados equipados com modernos sistemas de defesa <i>Defensive Aids Suites</i> (DAS). Este é o caso, especialmente, para os carros de combate israelenses Merkava Mk IV equipados com o sistema <i>Trophy</i> ASPRO-A DAS e também para os carros de combate russos equipados com o Arena System. Devido a essas limitações, este presente trabalho tem como propósito elaborar um projeto conceitual de um sistema de ataque anticarro, visando a penetração nesses modernos sistemas de defesa DAS, além da neutralização do carro de combate. Um sistema de saturação com lançamento de foguetes é proposto para vencer a proteção ativa do sistema <i>Trophy</i> , ou similares, de acordo com os dados obtidos na literatura de contramedidas que o mesmo possui. A partir dos dados históricos de mísseis guiados anticarro atuais, é proposto um míssil anticarro capaz de penetrar na blindagem reativa explosiva dos carros de combate.			
12. GRAU DE SIGILO: <p style="text-align: center;">(X) OSTENSIVO () RESERVADO () SECRETO</p>			