



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 2/2022

LUTY RODRIGUES RIBEIRO, Cap Eng

O emprego de *flares* espectrais no A-1M para defesa contra MANPADS *dual-color*

Rio de Janeiro

2022

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 2/2022

LUTY RODRIGUES RIBEIRO, Cap Eng

O emprego de *flares* espectrais pelo A-1M para defesa contra MANPADS *dual-color*

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica como requisito parcial para aprovação no Curso de Pós-graduação *Lato Sensu* em Liderança com Ênfase em Gestão no COMAER.

Linha de Pesquisa: Emprego da Força Aérea
Orientador: Marcelo Viegas Neves, Ten Cel
Esp Fot

Rio de Janeiro

2022

LUTY RODRIGUES RIBERO, Cap Eng

O emprego de *flares* espectrais pelo A-1M para defesa contra MANPADS *dual-color*

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica.

Aprovado por:

Marcelo **Viegas** Neves, Ten Cel Esp Fot
EAOAR

Jaqueline de Azevedo Bruno, Ten Cel Int
EAOAR

Rio de Janeiro

2022

RESUMO

Neste trabalho, considerando os cenários de emprego da aeronave de caça A-1M durante suas missões de bombardeio e ataque ao solo em território inimigo, observa-se que essa aeronave está sujeita à ameaça de MANPADS *dual-color*, que são mísseis capazes engajar aeronaves a baixa altura e também de rejeitar os *flares* MTV convencionais. Tendo essa vulnerabilidade em mente, defende-se a tese de que a FAB deve equipar as aeronaves de caça A-1M com *flares* espectrais para defesa contra MANPADS *dual-color*. Para dar suporte à referida tese, mostrou-se, primeiramente, que o *flare* espectral é uma contramedida capaz de prover proteção superior ao A-1M na defesa contra MANPADS *dual-color* bem como continua protegendo o A-1M contra MANPADS *single-color*. Mostrou-se ainda que, a demanda pelo *flare* espectral deve contribuir para o desenvolvimento tecnológico nessa área, pois, independente de importação ou desenvolvimento interno, será necessário conhecimento mais profundo sobre *flares* espectrais para tirar máximo proveito deles sem esquecer da questão da equivalência com opções já existentes no mercado. A partir da tese, a FAB poderá iniciar um processo para evoluir todas as suas contramedidas para proteção contra mísseis IV mais modernos. Esse processo também contempla a adição de novos métodos que já estejam em uso no exterior e, possivelmente, a inclusão de métodos de contramedida criados pela própria FAB.

Palavras-chave: *Flare* espectral. Aeronave de Caça. MANPADS. Contramedida Infravermelha.

1 INTRODUÇÃO

Após a 2ª Guerra Mundial, na década de 50, surgiram os primeiros mísseis autoguiados por infravermelho (IV): os *Sidewinders* dos EUA (HOLLINGS, 2021). Esses mísseis são capazes de detectar a emissão de calor por radiação na faixa do IV de forma passiva, ou seja, sem que o míssil emita sinal eletromagnético que alerte o alvo. Por isso, é mais difícil para as aeronaves se defenderem desses mísseis quando comparados a mísseis que utilizam radar ativo, emitindo ondas eletromagnéticas que são refletidas no alvo e capturadas de volta pelo míssil. Isso colabora para o fato de que mais de 50 % das aeronaves abatidas em ação desde a Guerra do Vietnã foram o resultado do emprego de mísseis IV (WITHEY, 2010).

Dentre os mísseis IV, uma ameaça crítica é o *Man Portable Air Defense System* (MANPADS) ou míssil de ombro, portátil, disparado por um único homem e capaz de derrubar aeronaves a baixa altura. O MANPADS russo SA-24 IGLA-S, por exemplo, pode atingir aeronaves a 3500 m de altura do solo, cerca de 11500 pés (OLIVEIRA, 2017). Nas Américas, Brasil e Venezuela utilizam o IGLA-S, enquanto Peru e Cuba utilizam o IGLA (JANES, 2021). Além disso, o MANPADS é barato, com preço na casa de dezenas de milhares de dólares e sua difusão sem controle é facilitada por meio do mercado negro (SCHROEDER; BUONGIORNO; FELLOW, 2010).

Ao longo dos anos, os mísseis IV evoluíram, bem como os MANPADS. Dentre as evoluções, ressalta-se a capacidade de detecção em duas faixas do espectro IV (NOVAIS, 2010). Essa capacidade é conhecida como *dual-color*. Para um MANPADS com detecção em apenas uma faixa do IV, utiliza-se o termo *single-color*. Para se contrapor aos mísseis IV, também surgiram estratégias para tentar proteger as aeronaves dessas ameaças. Além do emprego de manobras evasivas, também foram desenvolvidos equipamentos adicionais para tentar interferir na detecção da aeronave pelo míssil. Esses equipamentos adicionais são conhecidos como contramedidas IV.

Dentre as contramedidas, destaca-se o *flare*, que é um dispositivo pirotécnico, semelhantes a fogos sinalizadores, ejetado pelas aeronaves no intuito de tornar-se um alvo falso para o míssil. O primeiro exemplar, bastante popular na proteção das aeronaves, foi o *flare* MTV (Magnésio/Teflon/Viton). A tecnologia do *flare* também evoluiu e, atualmente, já se emprega o *flare* espectral, projetado com emissão IV melhor distribuída com intuito de confundir mísseis IV com capacidade *dual-color*.

Considerando as aeronaves de caça da Força Aérea Brasileira (FAB), constata-se que o A-1M é a aeronave mais passível de exposição a MANPADS, devido às suas missões de ataque ao solo e bombardeio (EMBRAER, 2013). Essas missões levam o A-1M a situações em que precisa atacar um alvo em território inimigo e se expor dentro do teto de alcance de eventual MANPADS.

Assim, a tese proposta é que a FAB deve equipar as aeronaves de caça A-1M com *flares* espectrais para defesa contra MANPADS *dual-color*. Para defender essa tese, o primeiro argumento é que o emprego de *flare* espectral ampliará a capacidade de defesa do A-1M. O segundo argumento é que o emprego de *flare* espectral pela FAB contribuirá para o desenvolvimento da tecnologia nacional nesse ramo.

2 AS MOTIVAÇÕES PARA EMPREGO DO FLARE ESPECTRAL NO A-1M

Nesta seção, serão analisadas as motivações observadas para mostrar porque a FAB deve equipar os A-1M com os *flares* espectrais. Defende-se que o uso dos *flares* espectrais proporciona maior proteção aos A-1M da FAB. Além disso, será demonstrado que a necessidade por *flares* espectrais serve de motivação para pesquisas e desenvolvimento promovendo o desenvolvimento tecnológico na área.

2.1 Emprego de flare espectral aumenta a defesa contra MANPADS dual-color

Para demonstrar este argumento, será verificado, primeiramente, que a defesa atualmente disponível, contando com *flare* MTV e manobra evasiva, não é eficaz contra MANPADS *dual-color*. Finalmente, será demonstrado que o *flare* espectral protege a aeronave dos MANPADS *dual-color* assim como dos *single-color*.

Com relação a manobra evasiva, essa é a primeira ação na falta de outros meios de defesa. Contudo, sabe-se que o limite máximo de fator de carga suportado por um piloto é de 9G a 10G, ou seja, 9 a 10 vezes a aceleração da gravidade, mesmo com trajes anti-G (DAVIS *et al.*, 2011). Essa manobra depende da ciência do piloto de que um míssil está a caminho. No caso de ameaça por míssil IV, que é passivo, a única forma do piloto perceber a aproximação do míssil IV é por meio do dispositivo *Missile Approach Warning System* (MAWS), que detecta a aproximação por meio da radiação de calor emitida pela queima de propelente na parte traseira do míssil. Assim, o tempo de ação do piloto depende do adequado funcionamento do MAWS.

Sobre as leis de guiamento empregadas pela maioria dos mísseis, constata-se a necessidade de capacidade de manobra do míssil pelo menos três vezes superior à máxima aceleração do alvo (FLEEMAN, 2001). Logo, isso implica numa capacidade de manobra dos mísseis de, no mínimo, de 27 a 30G, considerando a limitação de manobra das aeronaves de caças com um piloto humano. Observando os resultados de simulações de engajamento em Akdag e Altılar (2005) e em Imado e Miwa (1989), para diversas combinações de posições relativas entre míssil e aeronave, nota-se que há poucas combinações específicas de engajamento que permitiriam que aeronave evitasse o míssil por uma distância de passagem superior a 10 m. Assim, aeronave só escapará do míssil caso ocorra essa combinação de posições favorável.

Num combate real de curta duração e a depender do alerta do MAWS, será difícil garantir qual será a condição de engajamento do cenário em termos das posições do míssil e da aeronave alvo. Portanto, mesmo não sendo impossível escapar de um míssil com manobras, o piloto ainda terá uma situação desfavorável. Observando ainda o baixo custo dos MANPADS, o inimigo pode prontamente fazer novo disparo colocando o piloto sob nova ameaça. Assim, percebe-se a necessidade de empregar contramedidas para dar mais chance de sobrevivência ao piloto.

Quanto ao uso de *flare* MTV, ele é capaz de atingir altas temperaturas e gerar elevada emissão IV, o que permite ao *flare* se tornar um alvo mais intenso e, em primeira análise, mais atrativo que a aeronave. Essa ideia funciona na defesa contra MANPADS *single-color*. Contudo, o *flare* MTV perdeu eficácia contra MANPADS *dual-color*. O motivo é que, por meio da detecção em duas faixas diferentes do IV, a grande diferença de temperatura entre o *flare* MTV e a aeronave de caça também causa uma grande diferença na proporção de emissão observada em duas bandas IV. Assim, fica bem mais fácil para o MANPADS *dual-color* diferenciar o *flare* MTV da aeronave pela avaliação da proporção entre as faixas IV (PIKE, 2015). Portanto, considerando a pior situação de encontrar MANPADS *dual-color* nos cenários atuais, deduz-se que o MANPADS *dual-color* conseguirá rejeitar os *flares* MTV, deixando o A-1M dependente apenas de manobras evasivas, as quais foram vistas ser ineficazes.

Como evolução do *flare* MTV, surgiu o *flare* espectral, com temperatura ainda elevada, mas projetado para ter emissões IV mais similares às emissões IV da aeronave nas várias faixas (WHITE, 2012). Considerando sua concepção com emissão IV espectral ajustada, o *flare* espectral funciona melhor tanto contra

MANPADS *single-color* quanto contra MANPADS *dual-color* quando comparado ao *flare* MTV, por não permitir diferenciação trivial entre a aeronave e o *flare* espectral.

Sem poder diferenciar o A-1M e o *flare* espectral, o campo de visão do MANPADS *dual-color* tenderá a seguir o alvo mais atrativo, no caso o *flare* espectral com sua maior emissão IV. Assim, conforme o *flare* se separa da aeronave, também atrai o campo de visão do míssil para si. Diz-se que o *flare* seduziu o míssil. Nessa oportunidade, a aeronave deve aproveitar para executar manobra para se afastar o máximo possível do *flare*. Após alguns segundos, terminada a queima do *flare*, o campo de visão do MANPADS *dual-color* passa a ver o cenário sem a aeronave e terá pouco tempo para fazer nova varredura e encontrar novamente o seu alvo.

O funcionamento do *flare* espectral contra um MANPADS *single-color* será similar, pois por ter apenas um elemento detector numa única faixa do IV, sua busca por alvos se resumirá a buscar o alvo mais intenso dentro do seu campo de visão. Logo, a dinâmica ocorrerá analogamente ao observado com o MANPADS *dual-color*.

Com isso, é possível constatar que o *flare* espectral é uma contramedida capaz de defender o A-1M tanto de MANPADS *single-color*, menos evoluído, quanto de MANPADS *dual-color*, mais moderno, ampliando a capacidade de defesa do A-1M.

2.2 Motivação ao desenvolvimento da tecnologia nacional

Outro aspecto a se pensar é como seria o fornecimento do *flare* espectral aos A-1M da FAB. Essa necessidade conduz a uma decisão do tipo *make or buy*, isto é, desenvolver o item nacionalmente ou comprar do exterior. Entretanto, independente da opção adotada, será necessário ampliar o conhecimento no emprego dos *flares* espectrais de forma a aprimorar o seu uso e, ao mesmo tempo, atentar para que haja compatibilidade com a aeronave A-1M.

Quanto ao aprimoramento do *flare* espectral, isso pode ocorrer via ajustes na composição química. Por exemplo, conforme estudos de Koch (2008) explorando composições de *flare* espectral com compostos aromáticos, ou seja, compostos com cadeias carbônicas contendo benzeno, é possível obter diferentes razões de emissão infravermelha entre as faixas do IV definidas pelo autor como α e β , por meio de ajustes nos grupos químicos que são adicionados às cadeias aromáticas. Isso mostra a viabilidade de alterar composições químicas buscando alterar a emissão espectral, e assim, buscar um melhor ajuste à aeronave que se deseja defender.

Uma pesquisa como essa, com caráter de inovação em tecnologias de interesse, deve ser incentivada pelo governo brasileiro no sentido de inicialmente aprimorar os conhecimentos em centros de pesquisa nacionais e, posteriormente, transferir o conhecimento à indústria. Estas diretrizes estão alinhadas com o Eixo da Tecnologia Aeroespacial, especificamente no objetivo estratégico de “Fortalecer o desenvolvimento tecnológico e o relacionamento com a indústria aeroespacial” (BRASIL, 2018, p. 22). Dessa maneira, os estudos envolvendo composições químicas e alterações para otimização de *flares* espectrais devem se iniciar em instituições de pesquisa nacionais, podendo coletar de dados de produtos eventualmente importados ou por meio de pesquisas envolvendo propostas de novas composições.

Outro aspecto importante sobre o uso do *flare* espectral nos A-1M é a compatibilidade do produto com a aeronave. Para isso, na fase inicial de plano de negócio, para que a indústria nacional possa ser bem sucedida na introdução desse produto, é importante que haja a análise de mercado, de forma a melhor conceber o produto que será colocado no mercado (CORPORATE FINANCE INSTITUTE, 2022). Isso permitirá a obtenção de um produto adequado às necessidades da FAB para equipar o A-1M e também resultará num produto equivalente às opções já em circulação, podendo ter espaço também no cenário internacional. Entretanto, essa leitura do mercado só vai até certo limite, pois as informações cruciais são restritas, a exemplo da intensidade de emissão IV produzida e, especialmente, a proporção de emissão entre faixas diferentes do IV. Essa é uma informação crucial a ser levantada nos centros de pesquisa nacionais, contribuindo para redução de risco por parte da indústria e favorecendo um processo de nacionalização.

Cabe salientar ainda que o emprego de um produto equivalente aos produtos do mercado internacional é um passo fundamental para a integração do novo *flare* espectral nos A-1M. Isto facilitará a utilização no A-1M bem como em outras aeronaves de caça da FAB e de outras forças aéreas, evitando deixar a aeronave parada em longos processos de integração. Adicionalmente, os pilotos poderão executar o lançamento de *flares* da mesma forma que já procedem atualmente.

Assim, é possível observar o impacto notório que o emprego dos *flares* espectrais deve trazer tanto nos centros de pesquisa nacionais quanto na indústria nacional no sentido de desenvolver a tecnologia no Brasil.

3 CONCLUSÃO

No período depois da Segunda Guerra Mundial, surgiram os mísseis IV, que detectam o calor emitido pelos alvos de forma passiva, dificultando a detecção da aproximação desses mísseis pelos alvos. Isso colaborou para a queda de mais da metade das aeronaves desde a Guerra do Vietnã. Dentre os mísseis IV, há os MANPADS, mísseis portáteis, mais baratos, difundidos em vários países, disponíveis no mercado negro, e que são capazes de derrubar aeronaves a baixa altura. Esses fatores tornam os MANPADS especialmente preocupantes como ameaça.

Os mísseis IV, assim como os MANPADS, eram mais simples com tecnologia de detecção single-color, mas evoluíram para utilização de detecção dual-color. Acompanhando o desenvolvimento dos mísseis, foram desenvolvidas contramedidas para defender as aeronaves dos mísseis IV bem como dos MANPADS. A contramedida mais popularmente empregada é o *flare*, que iniciou com o emprego do *flare* MTV, projetado para defesa contra MANPADS single-color. Contudo, foi necessário evoluir para o *flare* espectral para defesa contra MANPADS dual-color.

Dentre as aeronaves de caça da FAB, o A-1M, por realizar missões a baixa altura, fica sob maior risco de ser engajado por MANPADS *dual-color* nos cenários atuais. Considerando essa possível ameaça ao A-1M, defendeu-se a tese de que as aeronaves de caça A-1M da FAB devem empregar o *flare* espectral para defesa contra MANPADS *dual-color*. Para isso, demonstrou-se, no primeiro argumento, a ineficácia de manobras evasivas e a vulnerabilidade do A-1M equipado com *flare* MTV, bem como verificou-se que o *flare* espectral é capaz de prover proteção superior ao A-1M na defesa contra MANPADS *dual-color* e contra MANPADS *single-color*. Demonstrou-se ainda, no segundo argumento, que a demanda pelo *flare* espectral contribuirá para o desenvolvimento tecnológico nessa área, pois, independente de importação ou desenvolvimento interno, será necessário aprofundar os conhecimentos sobre *flares* espectrais para tirar máximo proveito, atentando para que haja equivalência com opções já existentes no mercado.

A partir da tese, a FAB poderá iniciar um processo de evolução em seu portfólio de contramedidas para proteção contra mísseis IV mais modernos. Esse processo inclui a evolução das contramedidas atualmente disponíveis na FAB, bem como adição de novos métodos que já estejam em uso no exterior e, eventualmente, a adição de métodos de contramedida criados pela própria FAB.

REFERÊNCIAS

- AKDAG, R.; ALTILAR, D. T. A comparative study on practical evasive maneuvers against proportional navigation missiles. *In: AIAA GUIDANCE, NAVIGATION, AND CONTROL CONFERENCE AND EXHIBIT, 6.*, 2005, San Francisco. **Anais [...]**. San Francisco: AIAA, 2005. p. 4745–4755. DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2005-6352>. Disponível em: <https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2005-6352>. Acesso em: 07 jun. 2022.
- BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Portaria nº 2.102/GC3, de 18 de dezembro de 2018. Aprova a reedição do Plano Estratégico Militar da Aeronáutica (PCA 11-47). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 222, f. 14766, 20 dez. 2018.
- CORPORATE FINANCE INSTITUTE. Business Plan Example and Template. Disponível em: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/strategy/business-plan-example-and-template/>. Acesso em: 30 jun. 2022.
- DAVIS, J. R. *et al.* **Fundamentals of Aerospace Medicine**. 4th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2011.
- EMBRAER. Embraer Defesa & Segurança entrega o primeiro caça A-1 modernizado para a Força Aérea Brasileira. Disponível em: <https://archive.is/CnEpg>. Acesso em: 20 jun. 2022.
- FLEEMAN, E. L. **Tactical Missile Design**. Reston: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2001.
- HOLLINGS, A. Sidewinder Missile: The Story of the First Heat-Seeking Missile. Disponível em: <https://www.popularmechanics.com/military/weapons/a35701747/sidewinder-missile-story/#>. Acesso em: 08 jun. 2022.
- IMADO, F.; MIWA, S. Fighter evasive boundaries against missiles. **Computers and Mathematics with Applications**, v. 18, n. 1–3, p. 1–14, 1989. DOI: [https://doi.org/10.1016/0898-1221\(89\)90120-X](https://doi.org/10.1016/0898-1221(89)90120-X). Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/089812218990120X>. Acesso em: 08 jun. 2022.
- JANES. Iгла family of MANPADS. Disponível em: <https://customer.janes.com/Janes/Display/JLAD0019-JAAD>. Acesso em: 24 maio 2022.
- KOCH, E. Pyrotechnic Countermeasures : V. Performance of Spectral Flare Compositions Based on Aromatic Compounds. **Central European Journal of Energetic Materials**, v. 5, n. 3-4, p. 55–63, 2008. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/versions?doi=10.1.1.508.8371>. Acesso em: 17 maio 2022.

NOVAIS, P. M. L. A. **Estudo de Contramedidas para as Diferentes Gerações de Mísseis**. 2010. 96 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos, 2010.

OLIVEIRA, M. R. **Análise da doutrina de emprego do Sistema MOWGLI frente aos resultados da Avaliação Operacional do Sistema**. 2017. 92 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos, 2017.

PIKE, J. Flares - Infrared Countermeasures. Disponível em: <https://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/systems/flares.htm>. Acesso em: 13 jun. 2022.

SCHROEDER, M.; BUONGIORNO, M.; FELLOW, S. Black Market Prices for Man-portable Air Defense Systems. Disponível em: https://programs.fas.org/ssp/asmp/issueareas/manpads/black_market_prices.pdf. Acesso em: 26 jun. 2022.

WHITE, J. R. **Aircraft Infrared Principles, Signatures, Threats, and Countermeasures**. Point Mugu: Technical Communication Office, 2012. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a566304.pdf>. Acesso em: 17 maio 2022.

WITHEY, M. D. Infrared countermeasure flares. **The Imaging Science Journal**, v. 58, n. 5, p. 295–299, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1179/136821910X12750339176023>. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1179/136821910X12750339176023>. Acesso em: 17 maio 2022.