

Estimativa da variação da intensidade radiante de *flares* convencionais em função da velocidade de lançamento

Luciano Barbosa Magalhães¹, Fábio Durante Pereira Alves² e Luis Roberto Ramos³

¹Comando-Geral de Operações Aéreas – SHIS QI-05 - Área especial 12 – CEP 71615-600 – Brasília – DF – Brasil

²Instituto Tecnológico de Aeronáutica - Praça Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acácias – CEP 12.228-900 – São José dos Campos – SP – Brasil

³Instituto de Aeronáutica e Espaço - Praça Eduardo Gomes, 50 – Vila das Acácias – CEP 12.228-904 – São José dos Campos – SP – Brasil

Resumo — Este trabalho apresenta um estudo sobre a variação da intensidade radiante de *flares* MTV (Magnésio/Teflon®/Viton®) em função da velocidade de lançamento da aeronave. Um modelo empírico de predição de intensidade radiante, assim como um modelo do comportamento aerodinâmico de *flare* foram utilizados e adaptados para que fosse possível se estimar a velocidade do mesmo ao longo de sua trajetória. Os resultados obtidos indicam que a intensidade radiante total diminui com o aumento da velocidade de lançamento e possibilitam a determinação do intervalo e da quantidade de *flares* a serem lançados para que sejam efetivos contra os mísseis infravermelhos.

Palavras-chaves — *flare*, intensidade radiante, MTV.

I. INTRODUÇÃO

Flares são dispositivos pirotécnicos utilizados para seduzir míssil com guiamento infravermelho, fazendo com que este seja atraído para uma posição onde a detonação da sua cabeça de guerra não seja eficiente contra a aeronave [1]. Portanto, na faixa de comprimento de onda do detector do míssil, eles devem produzir uma intensidade radiante que seja superior à produzida pelas aeronaves, de forma a se tornarem mais atrativos.

A intensidade radiante de *flares* MTV convencionais depende da velocidade do fluxo de ar em que o mesmo está inserido [2]. Consequentemente, a radiação infravermelha emitida depende da velocidade da aeronave no momento do lançamento e do comportamento aerodinâmico do *flare*.

Como um mesmo tipo de *flare* pode ser utilizado por praticamente todos os tipos de aeronaves, realizando diferentes missões e em diversas velocidades, é necessário conhecer o comportamento temporal da intensidade radiante (ao longo da queima). Esses dados são imprescindíveis para a programação dos intervalos de lançamento e a quantidade de *flares* necessários para seduzir mísseis em diferentes situações.

Nesse contexto, propõe-se um método para estimar a variação da intensidade radiante por intermédio de informações de trajetória de *flares* convencionais, disponíveis na literatura, um modelo de queima superficial e alguns valores reais de um determinado *flare* convencional [2] [6].

II. CONCEITOS BÁSICOS

Segundo Brune [2], a intensidade radiante de um *flare*, em W/sr, pode ser obtida através do seguinte modelo empírico:

$$I = \frac{\rho_f \cdot S \cdot r \cdot H_c \cdot F_{\lambda,T} \cdot d_e}{4\pi} \cdot d_w \cdot d_s, \quad (1)$$

onde, ρ_f é a densidade do composto de MTV existente no *flare*, em g/m^3 , S é a área superficial de queima, em m^2 , r é a taxa de queima linear, em m/s , H_c é o calor do combustível da combustão, em J/g , $F_{\lambda,T}$ é a fração da radiação na banda de interesse em relação à radiação total produzida pelo *flare*, d_e é o fator de emitância radiante estática, que normalmente é cerca de 0,75, d_w é o fator de degradação devido ao fluxo de ar, que varia de 0,1 para MACH 1 e 1 para condições estáticas, e d_s é o fator de formato da pluma, que varia de 2 a 1 para *flares* convencionais [2].

Como o objeto de estudo desse artigo é a variação da intensidade radiante após o lançamento, ao se analisar (1) verifica-se que praticamente todos os termos podem ser considerados constantes ao longo da queima, exceto S e d_w , que irão variar com o tempo. Portanto, (1) pode ser reescrita da seguinte forma:

$$I = K \cdot S \cdot d_w, \quad (2)$$

onde, K é uma constante para todos os *flares* do mesmo tipo, em $W/sr.m^2$. O d_w depende da velocidade do *flare*, que pode ser obtida com base nas componentes de velocidade nos três eixos. Para fins de simplificação será considerado o lançamento do *flare* para baixo, a 90° com o eixo longitudinal da aeronave. Assim, apenas as componentes de velocidade em dois eixos, a componente horizontal, na mesma direção do eixo longitudinal da aeronave e a componente vertical, na

mesma direção do eixo vertical da aeronave, serão consideradas.

Com base na segunda Lei de Newton e na força de viscosidade, gerada devido à existência de uma velocidade relativa entre o *flare* e o ar, é possível se obter a desaceleração do *flare* no eixo horizontal [2] [3]:

$$\frac{dV_h}{dt} = \frac{C_d \cdot \rho_{ar} \cdot (V_h)^2}{2 \cdot \rho_f \cdot [X_h - (2 \cdot r_h \cdot t)]}, \quad (3)$$

onde, C_d é o coeficiente de arrasto, adimensional, ρ_{ar} é a densidade do ar, em g/m^3 , V_h é a velocidade horizontal instantânea do *flare*, em m/s, X_h é a dimensão do *pellet* do *flare* paralela à direção de deslocamento, em m, r_h é a taxa de queima linear no eixo horizontal, em m/s, e t é o tempo, em s. Considera-se como desaceleração porque é no sentido oposto à velocidade horizontal.

A desaceleração do *flare* no eixo vertical também leva em consideração a aceleração da gravidade, g , e pode ser obtida através da seguinte expressão:

$$\frac{dV_v}{dt} = \frac{C_d \cdot \rho_{ar} \cdot (V_v)^2}{2 \cdot \rho_f \cdot [X_v - (2 \cdot r_v \cdot t)]} - g, \quad (4)$$

onde, V_v é a velocidade vertical instantânea do *flare*, em m/s, X_v é a dimensão do *pellet* do *flare* paralela à direção de deslocamento, em metros, e r_v é a taxa de queima linear no eixo vertical, em m/s. Considera-se como desaceleração porque é no sentido oposto à velocidade vertical.

De acordo com (3) e (4), pode-se perceber que a aceleração nos dois eixos varia a cada instante, em função da variação da dimensão do *pellet* do *flare* paralelo à direção da componente de deslocamento e da velocidade instantânea. O composto de MTV é homogêneo, portanto, considera-se que ρ_f é constante. Como o espaço percorrido no eixo vertical é pequeno, considera-se ρ_{ar} constante.

Os valores de C_d foram obtidos com base nas trajetórias modeladas por Brune [2], para *flares* cilíndricos, com massa de 500 g, velocidade vertical de ejeção para baixo de 30 m/s, com um tempo de queima de 4 s, as quais mostram uma variação em torno de 10% com medidas realizadas em voo, de acordo com a Fig. 1 [2]. Também foram reportados valores de C_d entre 2,4 e 10 [4] [5].

As taxas de queima, assim com a variação da área de queima superficial, foram obtidas através de um modelo de queima superficial, em que se considera que o processo de combustão do *pellet* ocorre das cascas mais externas para as mais internas, até que seja tão pequena que possa ser considerada igual a zero [6].

III. CENÁRIO

Considerou-se que o *flare* utilizado nesse trabalho possui características físicas semelhantes ao utilizado por Brune [2], exceto a sua massa, que é cerca de 270 g, e o seu formato, que é retangular.

Para que seja possível validar os resultados obtidos nesse trabalho, utilizou-se um gráfico modelado por Brune [2] para um lançamento a 1500 m, (Fig. 1), entretanto, como a razão entre a densidade do ar e a massa do *pellet* do *flare* deve permanecer a mesma no referido gráfico, ajustou-se o lançamento para 7450 m de altura, onde essa relação é mantida [2]. Nesse trabalho a velocidade do vento também foi considerada desprezível.

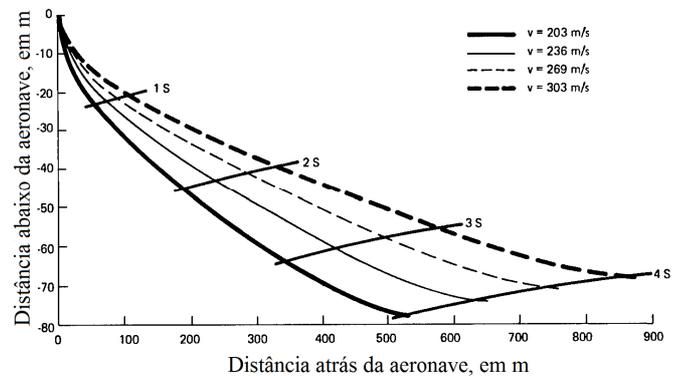


Fig. 1. Separação do *flare* para determinadas velocidades a 1500m de altura Adaptado da ref. [2].

A aeronave que efetuou os lançamentos manteve voo reto e nivelado, com a velocidade constante. Foram consideradas 3 velocidades horizontais de lançamento: 203 m/s (395kt), 236 m/s (458 kt) e 269 m/s (523 kt).

Nesse modelo considerou-se que o tempo necessário para o *flare* atingir uma quantidade mínima necessária de intensidade radiante era instantâneo.

IV. RESULTADOS

Aplicando-se (3) nas equações de movimento e utilizando-se uma ferramenta computacional, o programa MATLAB®, foi possível obter gráficos que descrevessem o comportamento da aceleração, da velocidade e da distância no eixo horizontal, conforme se pode observar nas Fig. 2, Fig. 3 e Fig. 4, para velocidades iniciais de 203 m/s, 236 m/s e 269 m/s, respectivamente.

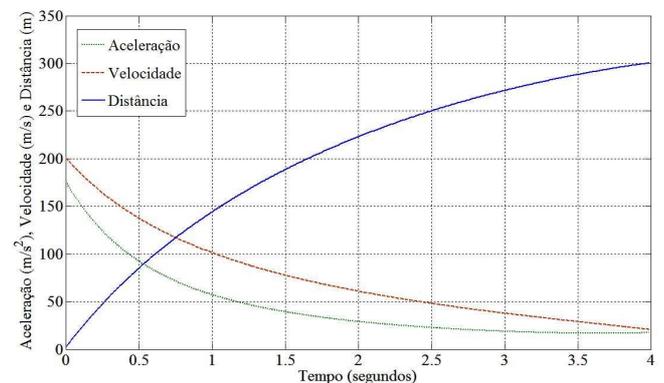


Fig. 2. Variação da aceleração, da velocidade e da distância horizontal em função do tempo, para um *flare* lançado de uma aeronave a 203 m/s.

Os valores de aceleração apresentados nas Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4 e Fig. 5, apesar de aparecerem como positivos, são todos valores negativos, por se tratarem da desaceleração decorrente do arrasto.

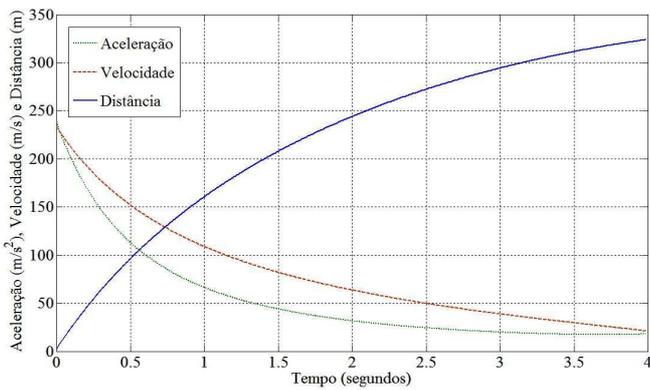


Fig. 3. Variação da aceleração, da velocidade e da distância horizontal em função do tempo, para um flare lançado de uma aeronave a 236 m/s.

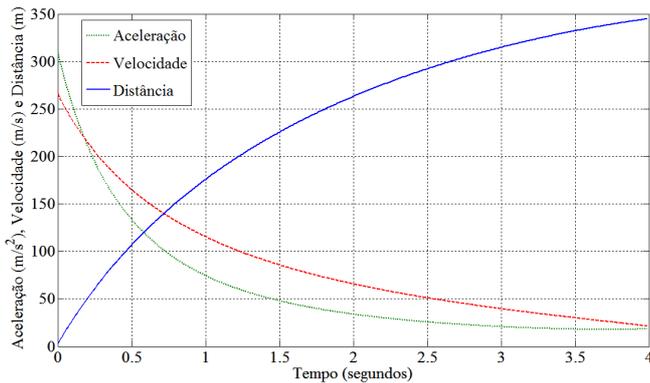


Fig. 4. Variação da aceleração, da velocidade e da distância horizontal em função do tempo, para um flare lançado de uma aeronave a 269 m/s.

Os resultados de distância obtidos nas Fig. 2, Fig. 3 e Fig. 4, quando comparados aos apresentados na Fig. 1, apresentam grande concordância, com o detalhe de que na Fig. 1 a distância considera a separação entre a aeronave e o flare, e nas demais considera-se a distância percorrida pelo flare a partir do momento do lançamento.

Da mesma forma, aplicando-se (4) nas equações de movimento, foi possível obter os gráficos que descrevessem o comportamento da aceleração, da velocidade e da distância no eixo vertical, conforme se pode observar na Fig. 5, para uma velocidade inicial de 30 m/s.

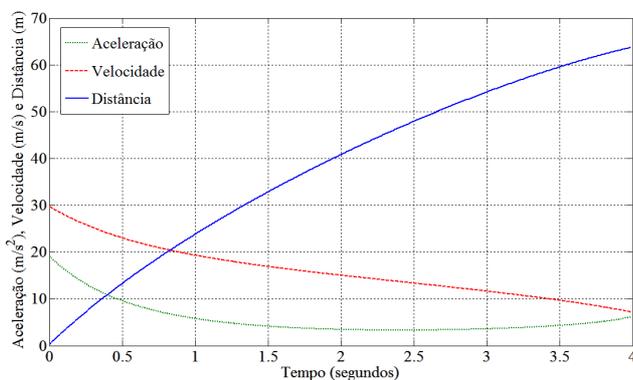


Fig. 5. Variação da aceleração, da velocidade e da distância vertical em função do tempo, para um flare ejetado para baixo a 30 m/s.

Comparando-se os resultados de distância da Fig. 5 com os apresentados na Fig. 1, pode-se perceber que os valores vão sendo gradativamente menores na Fig. 5. Um dos possíveis contribuintes para esse efeito foi o fato de não ter sido considerado o coeficiente de sustentação gerado pelo formato

aerodinâmico do flare, evidenciado também pela diminuição da distancia vertical à medida que a velocidade horizontal aumenta, ou seja, quanto maior a velocidade maior a sustentação.

A velocidade total do flare é a soma vetorial das velocidades horizontal e vertical. Para os casos em que a velocidade horizontal é muito maior do que a velocidade vertical, a velocidade total é praticamente a velocidade horizontal, conforme se pode observar no exemplo da Fig. 6.

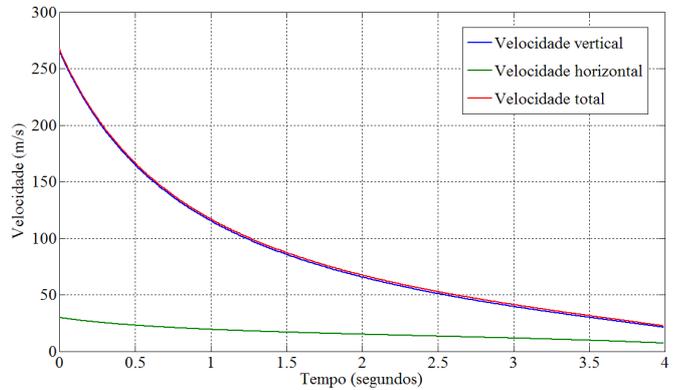


Fig. 6. Variação das velocidades vertical, horizontal e total em função do tempo, para um flare lançado de uma aeronave a 269 m/s e ejetado para baixo a 30 m/s.

De posse dos valores da velocidade ao longo do tempo pode-se determinar os valores de d_w , pois esse fator de degradação é igual a 1,0 para queimas estáticas (0 m/s), 0,3 a 100 m/s e ~0,1 a 300 m/s [7]. Realizando um ajuste exponencial com os três pontos fornecidos é possível traçar o gráfico do fator de degradação pelo fluxo de ar em função da velocidade [6].

Finalmente, considerando-se K igual a um em (2), visando simplificar a análise de S e d_w , pode-se obter a variação de intensidade radiante ao longo do tempo, conforme se pode observar na Fig. 7.

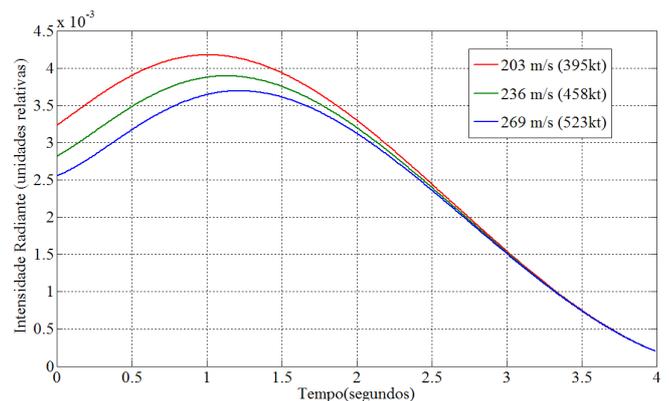


Fig. 7. Variação da intensidade radiante de flares em função do tempo para três velocidades diferentes: 203 m/s, 236 m/s e 269 m/s.

De acordo com a Fig. 7 pode-se observar que a quantidade total de intensidade radiante produzida pelo flare é inversamente proporcional à velocidade inicial de lançamento. Nessa faixa de velocidade analisada, como a desaceleração inicial é muito grande o d_w aumenta rapidamente, compensando o efeito da redução da área superficial de queima, entretanto, após cerca de 1 s a 1,5 s o

aumento de d_w não consegue mais compensar a redução de S e a intensidade radiante diminui rapidamente.

Como forma de se compreender melhor a variação da intensidade radiante ao longo de várias velocidades, foram gerados mais três gráficos em velocidades inferiores aos iniciais, conforme se pode observar na Fig. 8.

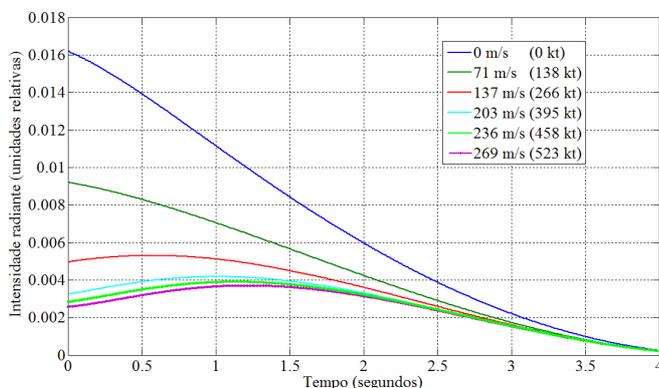


Fig. 8. Variação da intensidade radiante de flares em função do tempo para seis velocidades iniciais diferentes: 0 m/s, 71 m/s, 137 m/s, 203 m/s, 236 m/s e 269 m/s.

De acordo com a Fig. 8, pode-se comparar a intensidade radiante inicial de um flare lançado por uma aeronave de caça, a 458 kt, com um lançado por um helicóptero em voo pairado, a 0 m/s. Por exemplo, os valores de intensidade radiante para o flare lançado do caça são, respectivamente, 19%, 50% e aproximadamente 100% da intensidade radiante do flare lançado pelo helicóptero nos tempos 0,2 e 3.5 segundos.

Conhecendo-se o valor de K para o flare utilizado é possível estimar a variação de intensidade radiante produzida em função do tempo e da velocidade de lançamento. Comparando-se esta intensidade radiante produzida pelo flare com o valor da intensidade radiante de uma determinada aeronave, em função de um ângulo de aspecto, é possível estimar o momento a partir do qual o flare não será mais efetivo, devido à diminuição da radiação produzida pelo flare. A partir deste instante é necessário outro lançamento para seduzir o míssil, o que permite estimar o intervalo entre os lançamentos.

Se a intensidade radiante produzida por apenas um flare não for maior que a intensidade radiante produzida pela aeronave, naquela condição de voo, deve-se aumentar o número de lançamentos simultâneos, até que se tenha uma intensidade que se torne mais sedutora que a da aeronave, o que permite estimar a quantidade de flares a serem lançados.

V. CONCLUSÃO

De acordo com os estudos realizados, pode-se notar que a intensidade radiante total produzida por flares MTV diminui com o aumento da velocidade inicial de lançamento. Para altas velocidades de lançamento, embora o d_w aumente rapidamente com a desaceleração, compensando em parte o efeito da diminuição da área superficial de queima, após cerca de 1 s a 1,5 s o aumento de d_w não consegue mais compensar a redução de S e a intensidade radiante diminui rapidamente.

Além disso, com base na intensidade radiante produzida pela aeronave, em função da velocidade e do ângulo de aspecto, deve-se ajustar a quantidades de flares a serem lançados e o intervalo necessário para que sejam capazes de seduzir o míssil e possam aumentar a probabilidade de sobrevivência da aeronave.

REFERÊNCIAS

- [1] R. E. Ball, "The fundamentals of aircraft combat survivability analysis and design". New York: AIAA, 1985.
- [2] N. Brune, "Expendable Decoys", in *Countermeasure Systems*, vol. 7, D. Pollock, in *The Infrared and Electro-Optical Systems Handbook*, J. S. Acceta e D. Shumaker. Michigan: Infrared Information Analysis Center, 1993, pp. 287-232.
- [3] L. S. Pinto, "Aerodinâmica e desempenho de aeronaves para pilotos". Porto Alegre: Editora Magister Ltda., 1989.
- [4] S. Baquar, 2007. "Low-cost PC-based high-fidelity infrared signature modelling and simulation". PhD thesis, Cranfield University. 305 p.
- [5] M. A. Richardson, "Modelling the improved protection of fast jets from the IR MAPADS threat", proceedings. of SPIE, vol. 6397: Technologies for optical countermeasures III, 5 october 2006.
- [6] L. B. Magalhães, 2009. "Proposta de metodologia para levantamento de assinatura infravermelha de dispositivos despistadores pirotécnicos (flares)". Dissertação de Mestrado, ITA, São José dos Campos. 146 p.
- [7] E. C. Kock, "Metal/fluorocarbon pyrolants: VI. Combustion behaviour and radiation properties of magnesium/poly(carbon monofluoride) pyrolant", *Propellants, explosives, pyrotechnics*, vol. 30, n. 3. p. 209-215, 2005.