



ESCOLA DE COMANDO E ESTADO-MAIOR DA AERONÁUTICA  
COORDENADORIA ACADÊMICA  
CURSO AVANÇADO DE COMANDO E ESTADO-MAIOR

JOÃO PAULO GOMEZ LIMA DA SILVA, Ten Cel Av

**Uso de bombas guiadas de precisão e a sobrevivência do piloto em conflitos  
irregulares**

Rio de Janeiro  
2021

ESCOLA DE COMANDO E ESTADO-MAIOR DA AERONÁUTICA  
COORDENADORIA ACADÊMICA  
CURSO AVANÇADO DE COMANDO E ESTADO-MAIOR

JOÃO PAULO GOMEZ LIMA DA SILVA, Ten Cel Av

**Uso de bombas guiadas de precisão e a sobrevivência do piloto em conflitos  
irregulares**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao Curso Avançado de  
Comando e Estado-Maior da Escola de  
Comando e Estado-Maior da Aeronáutica.  
Linha de Pesquisa: Poder Aeroespacial.  
Orientador: Rodrigo Gonçalves Stief.

Rio de Janeiro  
2021

## RESUMO

Este trabalho teve o objetivo geral de analisar a influência do emprego de bombas guiadas de precisão na probabilidade de sobrevivência dos pilotos de A-29 da Força Aérea Brasileira em cenário de conflito irregular. A metodologia adotada incluiu uma pesquisa bibliográfica e documental que permitiu o levantamento dos fatores que influenciam a probabilidade de sobrevivência do piloto. Um estudo de caso viabilizou a identificação das ameaças normalmente encontradas nesses cenários e foi feita uma simulação para verificação dos impactos para o emprego do poder aeroespacial. Os resultados mostraram que o alcance das ameaças faz com que as aeronaves busquem altitudes mais altas para incrementar a segurança. Entretanto, isso degrada a precisão do ataque com emprego de bomba convencional na medida em que a altitude de lançamento é elevada, aumentando a possibilidade de dano colateral, podendo comprometer os objetivos políticos do conflito. Por outro lado, o efeito da altitude mostrou-se positivo ao emprego de bomba guiada de precisão, posto que isso permite maior tempo para correção da trajetória, aumentando a precisão. Dessa forma, foi possível responder ao problema de pesquisa uma vez que foi verificado que o emprego de bombas guiadas de precisão aumenta a probabilidade de sobrevivência dos pilotos de A-29 da FAB em cenário de conflito irregular na medida em que é possível realizar os ataques fora do alcance das ameaças, ao mesmo tempo em que garante a precisão necessária para esse tipo de conflito e demanda uma quantidade menor de meios para destruir os alvos desejados.

**Palavras-chave:** Bomba guiada de precisão; Conflito irregular; Dano colateral; Sobrevivência.

## **ABSTRACT**

*This work had the general objective of analyzing the influence of the use of precision guided bombs on the survivability of the Brazilian Air Force A-29 pilots in an irregular conflict scenario. The methodology adopted included a bibliographical and documentary research that allowed the survey of the factors that influence the pilot's survivability. A case study allowed to identify the threats normally found in these scenarios and a simulation was carried out to verify the impacts for aerospace power employment. The results showed that the range of threats causes aircraft to seek higher altitudes to increase security. However, this degrades the accuracy of the attack using a conventional bomb as the release altitude is higher, increasing the possibility of collateral damage and potentially compromising the political objectives of the conflict. On the other hand, the effect of altitude proved to be positive when using a precision guided bomb, since this allows more time for trajectory correction, increasing precision. In this way, it was possible to answer the research problem since it was verified that the use of precision guided bombs increases the survivability of the Brazilian Air Force A-29 pilots in an irregular conflict scenario insofar as it is possible to carry out the attacks beyond the threat range, while guaranteeing the necessary precision for this type of conflict and demanding a smaller amount of means to destroy the desired targets.*

**Keywords:** *Collateral damage; Irregular conflict; Precision guided bomb; Survivability.*

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Relação entre os fatores da capacidade de sobrevivência. ....                   | 14 |
| Figura 2 - Visualização do HUD de uma aeronave. ....                                       | 15 |
| Figura 3 - Fatores que influenciam o lançamento de uma bomba não guiada. ....              | 16 |
| Figura 4 - Envelope de alcance de mísseis portáteis. ....                                  | 20 |
| Figura 5 - Geometria de lançamento de bombas. ....   | 23 |
| Figura 6 - Relação de aspecto do <i>pipper</i> - lançamento a 3.000 pés de altitude. ....  | 24 |
| Figura 7 - Relação de aspecto do <i>pipper</i> - lançamento a 13.000 pés de altitude. .... | 24 |
| Figura 8 - CEP da MK-82 de 99 lançamentos a 15.000 pés de altitude. ....                   | 25 |
| Figura 9 - Resultado dos CEP simulados (raios de 26,99m e 81,86m). ....                    | 26 |
| Figura 10 - CEP da GBU-12 de 99 lançamentos a 15.000 pés de altitude. ....                 | 27 |
| Figura 11 - Comparação do CEP da GBU-12 e das simulações anteriores. ....                  | 28 |

## LISTA DE QUADROS

|  |    |
|--|----|
| Quadro 1 - Fatores que influenciam a capacidade de sobrevivência do piloto.....                      | 18 |
| Quadro 2 - Características das principais ameaças encontradas em cenário de conflito irregular. .... | 20 |
| Quadro 3 - Dados da simulação dos lançamentos. ....  | 24 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

**CCIP** - *Continuously Computed Impact Point*

**CEP** - *Circular Error Probable*

**ECP** - Erro Circular Provável

**EUA** - Estados Unidos da América

**FAB** - Força Aérea Brasileira

**GPS** - *Global Positioning System*

**HUD** - *Head-up Display*

**JDAM** - *Joint Direct Attack Munition*

**JMEM** - *Joint Munitions Effectiveness Manual*

**ONU** - Organização das Nações Unidas

**OTAN** - Organização do Tratado do Atlântico Norte

**RPG** - *Rocket-Propelled Grenade*

## LISTA DE SÍMBOLOS

**$P_{SURV}$**  - *Probability of Survival* - Probabilidade de sobrevivência

**$P_D$**  - *Probability of Detection* - Probabilidade de detecção

**$P_{H/D}$**  - *Probability of Hit if Detected* - Probabilidade de ser atingido se detectado

**$P_{K/H}$**  - *Probability of Kill if Hit* - Probabilidade de ser abatido se atingido

**mil** - Miliradiano

**mm** - Milímetro

**ft** - Pé

**km** - Quilômetro

**m** - Metro



## SUMÁRIO

|   |   |    |
|---|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO .....                                      | 10 |
| 2 | METODOLOGIA.....                                      | 11 |
| 3 | REFERENCIAL TEÓRICO .....                             | 13 |
| 4 | APRESENTAÇÃO DOS DADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS ..... | 18 |
| 5 | CONCLUSÃO.....  | 31 |
|   | REFERÊNCIAS.....                                      | 34 |

## 1 INTRODUÇÃO

A Segunda Guerra Mundial foi o último conflito de grande vulto da chamada Guerra Regular. Após o seu término, o mundo ficou dividido entre duas grandes potências, os Estados Unidos da América (EUA) e a antiga União Soviética, dando início à Guerra Fria. A disputa geopolítica das duas potências, associada, principalmente, a uma ameaça de catástrofe nuclear, fez com que os conflitos seguintes apresentassem características diferentes das Guerras Regulares, ficando conhecidos como Guerras Irregulares.

A Organização das Nações Unidas (ONU) tem conduzido diversas missões de paz no mundo, normalmente, em cenários de conflitos irregulares, com a participação de diversos países, dentre eles o Brasil. Em abril de 2017, a ONU realizou uma vistoria em Unidades Aéreas da Força Aérea Brasileira (FAB) com o objetivo de permitir o emprego da aeronave A-29 do Brasil em missões de paz nesse tipo de cenário (FORÇA AÉREA BRASILEIRA, 2017).

No ano de 2019, a FAB participou do Exercício Internacional *Green Flag West*, na Base Aérea de Nellis, nos EUA, com seus esquadrões de Caça de A-29. Os pilotos tiveram a oportunidade de executar a Ação de Apoio Aéreo Aproximado, em cenários de Guerra Regular e Irregular, em conjunto com as aeronaves A-10 americanas. Foi observado que, em todos os voos com emprego real de armamento, os americanos fizeram lançamento de bombas guiadas de precisão, mesmo em treinamento.

Essa observação causou inquietação ao autor e, com o intuito de ampliar o conhecimento nessa área, o emprego de munições guiadas de precisão em cenário de conflito irregular foi escolhido como tema de pesquisa. Para delimitá-la, foi analisada a influência do emprego de bombas guiadas de precisão na sobrevivência do piloto de A-29 da FAB em um cenário de conflito irregular.

Com isso, o problema de pesquisa foi estabelecido para verificar em que medida o emprego de bombas guiadas de precisão pode influenciar a probabilidade de sobrevivência dos pilotos de A-29 da FAB em um cenário de conflito irregular.

Assim, com a finalidade de orientar os trabalhos para responder ao problema definido, foram estipuladas três questões norteadoras com seus respectivos objetivos específicos. A primeira buscou identificar os fatores que influenciam a capacidade de sobrevivência do piloto em um cenário de conflito irregular. A segunda questão visou identificar as ameaças que são normalmente encontradas nesses conflitos. Por fim, a

terceira questão foi estabelecida para identificar os fatores que influenciam o emprego de bomba convencional e de bomba guiada de precisão nesse tipo de cenário.

Dessa forma, este trabalho teve o objetivo geral de analisar a influência do emprego de bombas guiadas de precisão (variável independente) na probabilidade de sobrevivência dos pilotos de A-29 da FAB em cenário de conflito irregular (variável dependente). A partir disso, foi possível estabelecer a metodologia a ser seguida.

## **2 METODOLOGIA**

De acordo com Gil (2002), este trabalho foi classificado como uma pesquisa descritiva, uma vez que o objetivo geral estava na análise da possível relação entre a variável independente “o emprego de bombas guiadas de precisão” e a variável dependente “probabilidade de sobrevivência dos pilotos de A-29 da FAB em cenário de conflito irregular”, tendo sido estabelecidos três objetivos específicos para a identificação dos fatores envolvidos nessa relação.

A metodologia utilizada para a produção do artigo científico se deu, em sua primeira fase, por uma pesquisa bibliográfica com o intuito de identificar os trabalhos relacionados ao tema e explorar a visão e a contribuição de seus autores. Ao mesmo tempo, foi realizada uma pesquisa documental para identificar fontes que pudessem contribuir para o desenvolvimento da pesquisa (LAKATOS; MARCONI, 1992).

A segunda fase foi estabelecida para analisar a variável dependente com o objetivo de identificar os fatores que influenciam a capacidade de sobrevivência do piloto em um cenário de conflito irregular. Para tanto, explorou-se as teorias e os conceitos abordados por Ball (1985) e Mavris e DeLaurentis (1995), que tratam dos fundamentos da capacidade de sobrevivência de uma aeronave em combate. Assim, foi observada uma relação de afinidade entre os fatores, os quais foram agrupados em três aspectos mais abrangentes relacionados à ameaça, ao projeto da aeronave e ao perfil da missão, o que respondeu ao primeiro objetivo específico.

Em seguida, considerando os resultados obtidos, percebeu-se a necessidade de identificar as ameaças que são normalmente encontradas em um cenário de conflito irregular. Então, foi realizado um estudo de caso da Guerra do Afeganistão de 2001 (Operação *Enduring Freedom*), o qual foi fundamentado nas obras de Lambeth (2005), Chapman (2003), Withington (2009) e Austrália (2008) e, a partir das ameaças

encontradas, foi realizada uma pesquisa em fontes abertas para verificar as suas capacidades, respondendo ao segundo objetivo específico.

Prosseguindo para a análise da variável independente, levando-se em consideração que a aeronave A-29 da FAB não faz emprego com bomba guiada de precisão, foi necessário identificar os fatores que influenciam o emprego de bomba convencional e de bomba guiada de precisão em um cenário de conflito irregular.

Esse processo se deu, inicialmente, por meio da análise das implicações das ameaças identificadas para o emprego do poder aéreo. Posteriormente, foram feitas simulações em relação ao emprego do armamento aéreo com base nos conceitos e dados apresentados por Cohen e Keaney (1993), Benitez (2017), GICHHD (2017), Heaston e Smoots (1983), Hoehn (2020), Lambeth (2005), Mueller (2010), Ordtech (2021) e Pyle (1994).

As simulações consideraram lançamentos de bombas convencionais a 3.000 pés e 13.000 pés de altitude para verificar a influência da altitude no erro de designação do alvo e no erro balístico da bomba, fazendo-se uma projeção dos resultados sobre um alvo simulado. De maneira semelhante, foi simulado o lançamento considerando todas as variáveis envolvidas no lançamento de bombas convencionais, com dados de um sistema de armamento completo, nas mesmas altitudes, com o objetivo de verificar o comportamento desse sistema em relação ao acréscimo da altitude. Em seguida, os resultados encontrados nas simulações foram comparados ao desempenho do lançamento de um sistema de bomba guiada de precisão, fazendo uma projeção sobre o mesmo alvo simulado, o que respondeu ao terceiro objetivo específico.

Por fim, foi utilizado o método de abordagem dedutiva, proposto por Lakatos e Marconi (2003), para, a partir dos resultados obtidos nas respostas dos objetivos específicos, analisar, à luz das teorias de Ball (1985) e de Mavris e DeLaurentis (1995), a relação existente entre o emprego de bombas guiadas de precisão e a probabilidade de sobrevivência dos pilotos de A-29 da FAB em cenário de conflito irregular, atendendo ao objetivo geral e respondendo ao problema de pesquisa.

Vale ressaltar que, tendo em vista o caráter ostensivo do presente trabalho, o mesmo foi limitado a utilizar dados de fontes abertas. Além disso, considerando a amplitude dos fatores envolvidos na probabilidade de sobrevivência do piloto em combate e a limitação de páginas para o artigo, o trabalho se restringiu a analisar

apenas um dos fatores propostos na equação de Mavris e DeLaurentis, a probabilidade de ser atingido por uma ameaça, conforme descrito no próximo item.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

A capacidade de sobrevivência de um avião de combate foi definida por Robert E. Ball, na sua obra *The Fundamentals of Aircraft Combat Survivability Analysis and Design*, como “[...] a capacidade de uma aeronave evitar e/ou resistir a um ambiente hostil criado pelo homem.” (BALL, 1985, p.1, tradução nossa). Ele deu destaque aos verbos “evitar” e “resistir”, relacionando-os com os conceitos de suscetibilidade e vulnerabilidade.

A aeronave em combate está suscetível à ação das ameaças existentes no ambiente hostil. A sua incapacidade de evitar essas ameaças pode ser medida pela probabilidade de ela ser atingida por algum dispositivo que possa lhe causar dano. Essa probabilidade é a suscetibilidade de uma aeronave e ela depende de três fatores que podem ser medidos conceitualmente. O primeiro é a existência de ameaças e a probabilidade de que ela esteja em ação e seja capaz de atirar ou lançar algum armamento contra a aeronave. O segundo é a probabilidade de a ameaça conseguir detectar a aeronave, identificá-la como inimiga e rastreá-la. Por fim, o terceiro fator é a probabilidade de um armamento ser disparado ou lançado contra a aeronave (BALL, 1985).

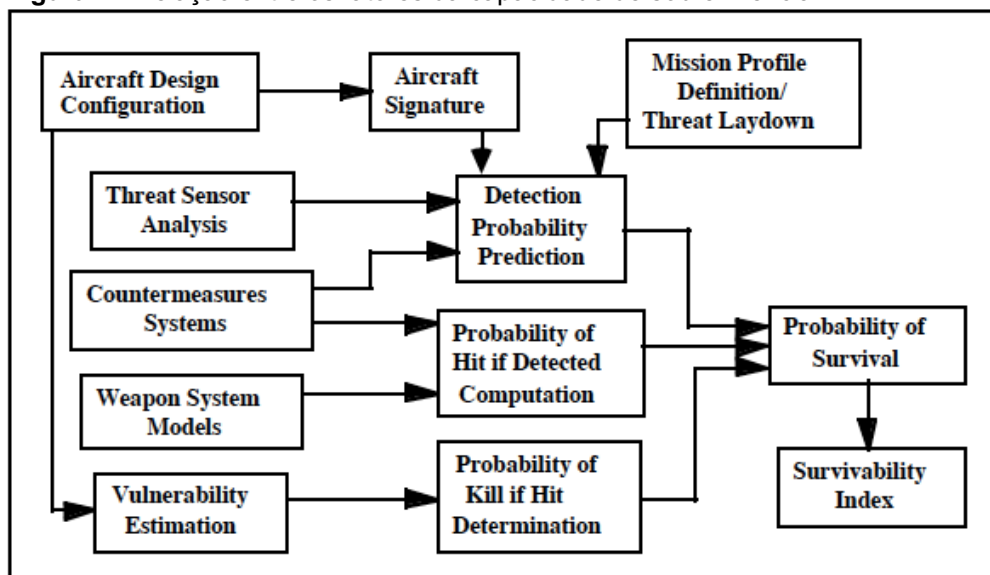
Vale destacar que a suscetibilidade de uma aeronave em combate pode ser influenciada pelo seu projeto, pelas táticas empregadas pelas tripulações e por dispositivos que aumentam a sua probabilidade de sobrevivência. Motores que emitem menos gases diminuem a probabilidade do acoplamento e do rastreamento por mísseis com guiamento infravermelho. O *design* da fuselagem da aeronave influencia a sua assinatura radar e, conseqüentemente, a capacidade de ser detectada por um radar. A tática da navegação à baixa altura, utilizando o contorno do terreno para se esconder, também dificulta a probabilidade de a aeronave ser detectada pelos radares inimigos. O uso de contramedidas eletrônicas ajuda os pilotos a despistarem os mísseis lançados contra suas aeronaves (BALL, 1985).

O outro conceito desenvolvido pelo mesmo autor é a vulnerabilidade. Ball (1985) define que a vulnerabilidade de uma aeronave está relacionada com a sua incapacidade de resistir aos possíveis danos que ela venha a sofrer após ser atingida

por uma ameaça. Da mesma maneira, artifícios estruturais podem influenciar a vulnerabilidade de uma aeronave, como a incorporação de blindagem, a utilização de dois motores e a redundância de sistemas críticos que sejam capazes de permitir a operação da aeronave, mesmo que de forma degradada, com o objetivo de possibilitar o retorno para a sua base de operação. O autor destaca que a vulnerabilidade do avião pode ser medida pela sua probabilidade de ser abatido de acordo com os danos ocasionados pelo impacto de um armamento inimigo.

Mavris e DeLaurentis (1995) analisaram os conceitos propostos por Ball (1985) e estabeleceram fatores que determinam a capacidade de sobrevivência de uma aeronave em combate, como, por exemplo, assinatura radar, efetividade de contramedidas eletrônicas, configuração da aeronave e armamento inimigo. A partir da análise dos conceitos e dos fatores envolvidos, os autores estabeleceram a relação entre eles, conforme observado na Figura 1.

**Figura 1** - Relação entre os fatores da capacidade de sobrevivência.



Fonte: Mavris e DeLaurentis (1995, p. 6).

Para quantificar a capacidade de sobrevivência, as probabilidades de ser detectado, atingido se detectado, e abatido se atingido devem ser consideradas. A probabilidade de sobrevivência de uma aeronave,  $P_{SURV}$ , pode ser dividida em duas partes, suscetibilidade e vulnerabilidade. Suscetibilidade é o produto da probabilidade de detecção  $P_D$  e da probabilidade de ser atingido se detectado  $P_{H/D}$ . Vulnerabilidade, por outro lado, é a probabilidade de ser abatido se atingido  $P_{K/H}$  (MAVRIS; DELAURENTIS, 1995, p. 5-6, tradução nossa).

Dessa forma, finalmente, os autores estabeleceram a equação para a quantificação da probabilidade de sobrevivência como sendo “o produto dessas probabilidades subtraído de um [...]” (MAVRIS; DELAURENTIS, 1995, p. 6, tradução nossa).

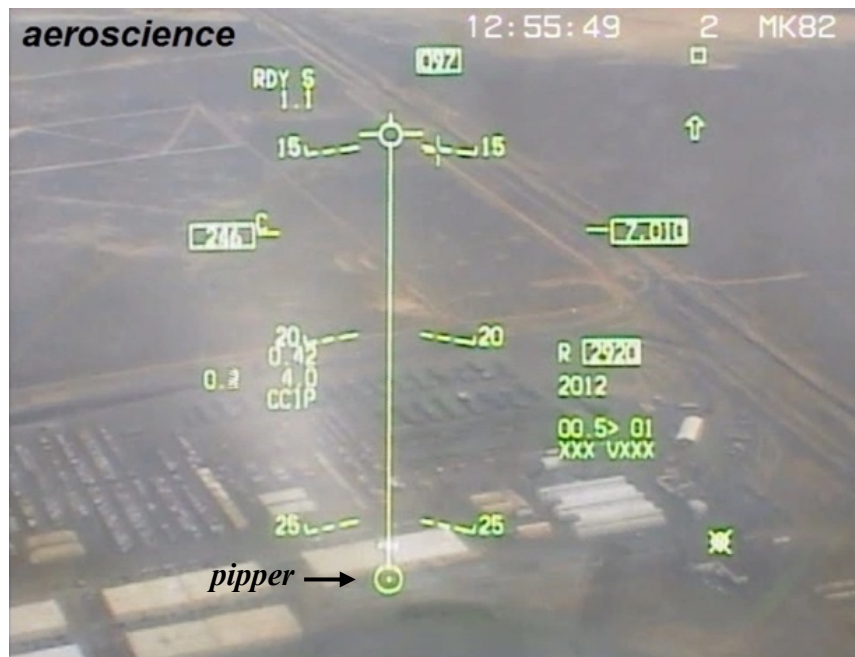
$$P_{\text{surv}} = [ 1 - ( P_D \times P_{H/D} \times P_{K/H} ) ] \quad (1)$$

Considerando as limitações impostas a essa pesquisa e a variável independente, emprego de bombas guiadas de precisão, a análise foi focada na probabilidade de ser atingido se detectado e nos potenciais oferecidos por esse tipo de armamento. Nesse sentido, foi necessário compreender alguns conceitos relacionados ao emprego de bomba convencional e de bomba guiada de precisão.

De acordo com Cohen e Keaney (1993), uma série de fatores influenciam a escolha da tática a ser empregada para o lançamento das bombas. O tipo de alvo, as ameaças inimigas e o armamento disponível são exemplos dos fatores que conduzem à escolha da melhor modalidade de emprego. Para o lançamento de bombas convencionais, considerando as suas características, normalmente utiliza-se o bombardeio visual picado.

Nessa modalidade, o piloto conduz a sua aeronave de forma a colocar a mira do avião sobre o alvo no momento do lançamento (COHEN; KEANEY, 1993). Essa mira, mais conhecida como *pipper*, é apresentada ao piloto de maneira visual por meio do *Head-up Display* (HUD), como pode-se observar na figura abaixo.

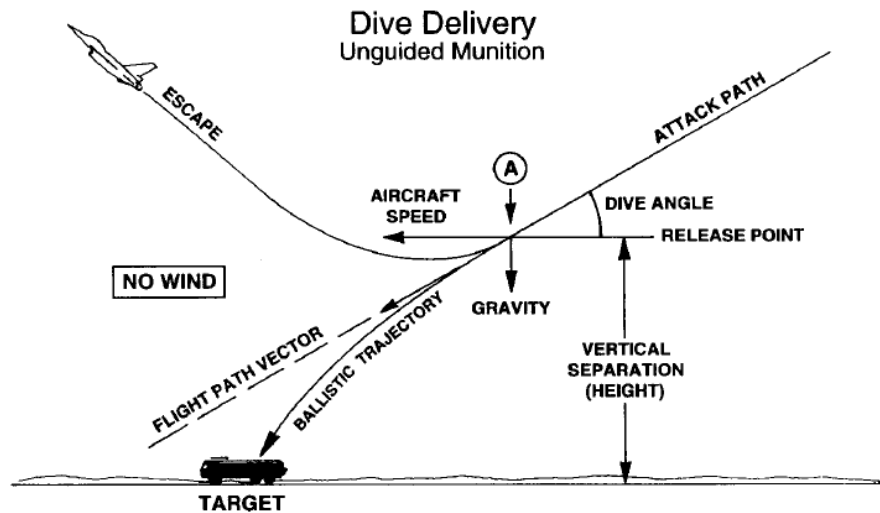
**Figura 2** - Visualização do HUD de uma aeronave.



**Fonte:** Aeroscience (1995).

Vários fatores influenciam o ponto de impacto de uma bomba não guiada, dentre os quais, destacam-se: a trajetória da aeronave; o ângulo de picada; a velocidade; a força da gravidade; a altura de lançamento; o vento; e a balística da bomba (COHEN; KEANEY, 1993). A Figura 3 apresenta algumas dessas variáveis.

**Figura 3** - Fatores que influenciam o lançamento de uma bomba não guiada.



Fonte: Cohen e Keaney (1993, p. 129).

Existem dois modos para o emprego visual de bombas. O modo *Continuously Computed Impact Point* (CCIP), no qual o computador da aeronave faz o cálculo contínuo de todas as variáveis envolvidas no lançamento da bomba e mostra o ponto de impacto constantemente atualizado por meio do *pipper*, ou seja, se o piloto apertar o botão para lançar a bomba, ela cairá bem próximo ao ponto sobre o qual o *pipper* está no terreno naquele momento. No modo manual, o piloto insere um rebatimento básico, previamente calculado, e é responsável por levar em consideração todas as variáveis envolvidas, fazendo as correções necessárias para tentar acertar o alvo. Pelas dificuldades apresentadas nessa modalidade e pela degradação na precisão do ataque, o modo manual é considerado alternativo (COHEN; KEANEY, 1993).

Entretanto, é importante destacar que utilizar o modo CCIP não significa, necessariamente, a garantia de que a bomba convencional impactará o alvo. Heaston e Smoots (1983) destacaram que erros nos dados de localização do alvo, erros de designação do alvo (posição do *pipper* no momento em que o piloto aperta o botão para lançar a bomba), erros dos sistemas da aeronave, erros balísticos e as condições da atmosfera resultam em uma dispersão dos impactos gerados pelo lançamento de bombas de um dado sistema.

Segundo Pyle (1994), o *Joint Munitions Effectiveness Manual* (JMEM), do Departamento de Defesa dos EUA, define que a precisão de uma arma convencional pode ser estabelecida em termos do seu *Circular Error Probable* (CEP), ou Erro Circular Provável (ECP). O autor destaca que todo sistema apresenta um padrão normal de distribuição dos impactos para um grande número de lançamentos de



bombas. Em concordância com Heaston e Smoots (1983), ele considera que essa distribuição ocorre em virtude de dois erros: o erro de designação e o erro balístico da bomba. Esses erros são mensurados em termos de mils, onde 1 mil representa 1.000 mils de distância da posição do lançamento para o ponto de impacto desejado. Por meio de fórmulas matemáticas, Pyle apresenta os cálculos para a definição do CEP, que é o “raio do círculo dentro do qual 50% dos impactos irão ocorrer.” (PYLE, 1994, p. 22, tradução nossa). O CEP dos armamentos, dos sistemas de armamento ou das plataformas que incorporam um sistema de armas, é um critério utilizado para o planejamento estratégico.

O autor ainda contribuiu com um exemplo bastante didático. Para uma distância de 5.000 pés entre o ponto de lançamento e o ponto de impacto, considerando um CEP de 20 mils para determinado sistema, o desvio padrão esperado pode ser obtido da seguinte forma:

$$\sigma_{\text{desvio}} = \frac{(20 \times 5)}{1,1774} = 84,93 \text{ pés} \quad (2)$$

Ou seja, para o sistema que apresente um CEP de 20 mils, espera-se que 50% das bombas lançadas a uma distância de 5.000 pés caiam dentro do círculo de 84,93 pés de raio.

No que se refere ao emprego das bombas guiadas, Heaston e Smoots (1983) chamam a atenção para o fato de que elas são suscetíveis aos mesmos erros das bombas convencionais. Todavia, seus sistemas de guiamento fazem com que elas corrijam suas trajetórias durante o voo, de maneira a acertar o alvo com um nível de precisão extremamente elevado.

Por fim, destaca-se que enquanto as bombas *Joint Direct Attack Munition* (JDAM) utilizam o sistema de localização GPS (*Global Positioning System*) para o seu guiamento, as bombas guiadas a laser utilizam sensores que buscam a marcação laser em seus alvos para prover o seu guiamento (HOEHN, 2020). Naturalmente, as JDAM necessitam que as coordenadas dos alvos sejam inseridas nos seus sistemas para, após o lançamento, atingirem o alvo. Por outro lado, as bombas guiadas a laser dependem da iluminação dos alvos por feixes de laser, que pode ser executado pela própria aeronave atacante, por outra aeronave ou por um elemento no solo (COHEN; KEANEY, 1993).

Dessa forma, após o levantamento das teorias que envolvem a capacidade de sobrevivência de um piloto em combate e os fatores envolvidos no emprego de

bombas, procedeu-se a busca dos dados necessários que subsidiassem a análise da relação entre as variáveis dessa pesquisa.

#### 4 APRESENTAÇÃO DOS DADOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A partir dos conceitos de Ball (1985) e de Mavris e DeLaurentis (1995), foi possível identificar os fatores que influenciam a capacidade de sobrevivência de um piloto em combate. De acordo com as características de cada fator, observou-se uma relação de afinidade entre eles, o que permitiu agrupá-los em três aspectos mais abrangentes, conforme Quadro 1.

**Quadro 1** - Fatores que influenciam a capacidade de sobrevivência do piloto.

| ASPECTO ABRANGENTE   | AMEAÇA   | PROJETO DA AERONAVE                       | PERFIL DA MISSÃO                   |
|--|--|---|------------------------------------|
| <b>FATORES QUE INFLUENCIAM A CAPACIDADE DE SOBREVIVÊNCIA</b> | Existência de uma ameaça ativa                           | Configuração da aeronave                  |                                    |
|  | Probabilidade de ser detectado, identificado e rastreado |   | Táticas empregadas pelos pilotos   |
|  | Probabilidade de ser atingido se detectado               |   | Parâmetros de emprego do armamento |
|  | Tipo da ameaça e sua disposição no cenário               | Perfil da fuselagem                       | -                                  |
|  | Capacidades do armamento inimigo                         | Perfil do motor                           |                                    |
|  | Lançamento de um armamento contra a aeronave             | Blindagem da aeronave                     |                                    |
|  | -  | Redundância de sistemas                   |                                    |
|  | -  | Assinatura radar                          |                                    |
|  | -  | Dispositivos de contramedidas eletrônicas |                                    |
|  | -  | Vulnerabilidade da aeronave               | -                                  |
| -  | Probabilidade de ser abatido se atingido                 |   |                                    |

**Fonte:** Adaptado de Ball (1985) e de Mavris e DeLaurentis (1995).

Pode-se observar que três fatores se enquadram, ao mesmo tempo, em dois aspectos mais abrangentes. O primeiro, a configuração da aeronave, está relacionado ao projeto da aeronave, no que diz respeito às capacidades de carga externa e equipamentos adicionais que podem ser incorporados, e ao perfil da missão, adequando a configuração às necessidades específicas para uma determinada missão. Os outros dois fatores sofrem influência tanto das capacidades da ameaça quanto das características do projeto da aeronave. Dessa maneira, foi possível

responder à primeira questão que norteou o trabalho, identificando os fatores que influenciam a capacidade de sobrevivência do piloto em um cenário de conflito irregular.

Como observado, as capacidades dos armamentos utilizados pelas forças irregulares representam uma ameaça para a sobrevivência do piloto em combate. Em vista disso, o estudo de caso da Guerra do Afeganistão de 2001 (Operação *Enduring Freedom*) possibilitou o levantamento das principais ameaças encontradas no cenário desse recente conflito irregular.

Lambeth (2005) estimou entre 300 e 550 peças de artilharia antiaérea com calibre de até 100mm e entre 100 e 200 mísseis de ombro *Stinger* no conflito de 2001. Por volta de 1.000 unidades desses mísseis foram fornecidos pelos EUA aos insurgentes (*mujahidins*) nos últimos anos da guerra Afegã-Soviética, da década de 80. O autor destacou a efetividade do *Stinger* até 10.000 pés de altitude. Entretanto, esse armamento apresentou resultados melhores no emprego diurno, uma vez que era necessário estar visual com o alvo para apontar o equipamento contra a aeronave, possibilitando o acoplamento do míssil no alvo. No período noturno, os aviões voavam com as luzes externas apagadas, inviabilizando a sua detecção visual. Apesar de modestas, essas ameaças foram capazes de abater um SU-24 do Uzbequistão e de destruir alguns helicópteros com o emprego de *Rocket-Propelled Grenade* (RPG), um dispositivo lançador de granadas.

Outro aspecto sobre o míssil *Stinger* que vale destacar é que, de acordo com Chapman (2003), ele pode ser facilmente escondido e possui uma alta taxa de sucesso em abater aeronaves devido ao seu sistema de guiamento de precisão. Além disso, é facilmente encontrado no mercado clandestino de armas, ficando disponível para o uso por terroristas e atores insurgentes que atuam em um cenário de conflito irregular.

Vale ressaltar que muitas ameaças encontradas no cenário do Afeganistão foram inseridas na Guerra Afegã-Soviética já mencionada. Naquela guerra, as capacidades dos insurgentes foram incrementadas com a obtenção das artilharias antiaéreas de cano ZSU-23-4 *Shikla* e *Oerlikon* 20mm, e dos mísseis 9k32 *Strela-2* (SA-7A *Grail*), *Blowpipe* e do próprio *Stinger*. Isso tornou a atuação das aeronaves soviéticas no suporte às forças de superfície quase impossível. O total de perdas foi de 2.675 aeronaves, muitas delas abatidas pelas ameaças relatadas. Após o incremento do uso dos mísseis *Blowpipe* e *Stinger* pelas forças dos *mujahidins*,

estima-se que esses armamentos foram responsáveis por abater 450 aeronaves por ano. Isso forçou com que as aeronaves voassem mais alto para evitar os mísseis de ombro (WITHINGTON, 2009).

Dessa forma, com base nas informações levantadas, foi possível estabelecer o quadro abaixo com as características das principais ameaças que podem comprometer a capacidade de sobrevivência dos pilotos em combate em um cenário de conflito irregular.

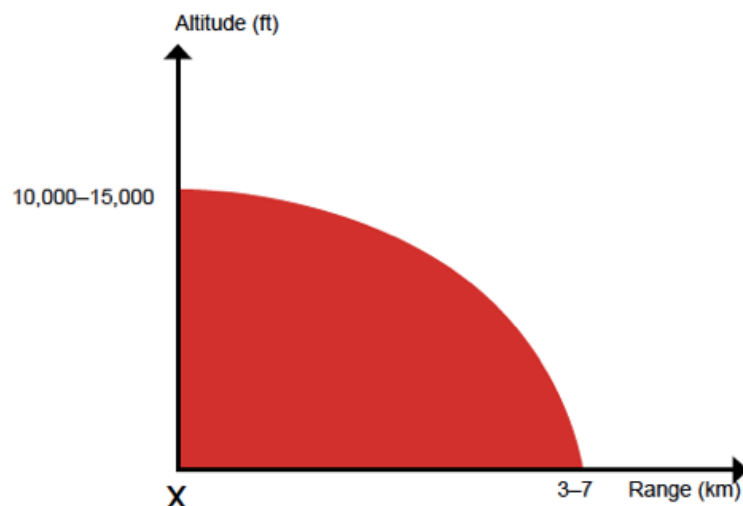
**Quadro 2** - Características das principais ameaças encontradas em cenário de conflito irregular.

| AMEAÇA                    | ALCANCE MÁXIMO | ALTITUDE MÁXIMA |
|---------------------------|----------------|-----------------|
| RPG                       | 300 metros     | 1.000 pés       |
| SA-7 9k32 <i>Strela-2</i> | 3.200 metros   | 6.500 pés       |
| ZSU-23-4 <i>Shikla</i>    | 2.500 metros   | 6.500 pés       |
| <i>Stinger</i>            | 4.800 metros   | 10.000 pés      |
| 57 mm                     | 4.000 metros   | 10.000 pés      |
| <i>Oerlikon</i> 20 mm     | 4.390 metros   | 10.000 pés      |

**Fonte:** Adaptado de Harada (2016), Austrália (2008), Genys (2021), Weapon Systems (2021) e Budge (2014).

Além disso, estima-se que entre 500.000 e 750.000 mísseis portáteis foram produzidos no mundo por diversos países. Alguns deles foram roubados dos fabricantes, transferidos de atores estatais para atores não estatais, roubados ou perdidos dos estoques de certos países, perdidos de países que colapsaram e comercializados no mercado ilegal de armamentos, encontrando-se em poder de atores não estatais (AUSTRÁLIA, 2008). Esses mísseis podem ter o alcance de até 15.000 pés de altitude, conforme mostra a Figura 4.

**Figura 4** - Envelope de alcance de mísseis portáteis.



**Fonte:** Austrália (2008, p. 5).

Como exemplo complementar dessas ameaças em outros conflitos irregulares, o míssil SA-7 também foi utilizado na Guerra do Vietnã, sendo responsável por abater muitos aviões e helicópteros naquele conflito (MROZEK, 1988). Durante a Guerra do Kosovo (1999), mais de 700 mísseis superfície-ar e inúmeros cartuchos de artilharia antiaérea foram lançados contra as aeronaves da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN), derrubando duas aeronaves da coalizão (MEILINGER, 2001).

Com isso, esse estudo de caso permitiu identificar que os armamentos de cano, os lançadores de granadas e os mísseis de ombro portáteis, com alcance máximo de 15.000 pés, são as ameaças normalmente encontradas por um piloto em um cenário de conflito irregular, respondendo à segunda questão norteadora.

É importante notar que essas ameaças podem ser bastante eficazes em baixas altitudes. Como consequência, as aeronaves da OTAN da Guerra do Kosovo tinham que permanecer acima de 15.000 pés para empregar seus armamentos (MEILINGER, 2001). Restrição semelhante ocorreu na Guerra do Iraque de 1991.

Um estudo mais aprofundado sobre esse conflito no Golfo permitiu identificar que, apesar de ter sido um conflito regular, as ameaças características de conflito irregular tiveram maior destaque. A assimetria de poder dificultou o emprego dos mísseis superfície-ar iraquianos de média e alta altitudes, os quais eram rapidamente localizados, em virtude da emissão dos sinais eletromagnéticos de seus radares, e neutralizados com ataques precisos. Em algumas situações, os iraquianos deixavam os radares desligados, fazendo o lançamento dos mísseis às cegas, reduzindo muito a efetividade desses equipamentos. Apenas 33% dos eventos de aeronaves abatidas ocorreram acima de 12.000 pés de altitude durante a guerra (CHAN *et al.*, 1997).

Cabe destacar que as ameaças encontradas em conflitos irregulares são mais difíceis de serem localizadas pela ausência da emissão de sinais eletromagnéticos, pelo seu reduzido tamanho e pela facilidade de serem escondidas. Com isso, os mísseis de ombro com guiamento infravermelho foram responsáveis por 34% das aeronaves perdidas da coalizão durante a Operação *Desert Storm*, sendo a principal ameaça. As artilharias antiaéreas de cano foram responsáveis por 24% das perdas e os mísseis superfície-ar de média e alta altitudes, por 26% (CHAN *et al.*, 1997).

Por outro lado, considerando o critério de causar dano sem abater, as antiaéreas de cano foram responsáveis por 50% das aeronaves atingidas, sendo a principal ameaça. Os mísseis de ombro responderam por 31% das aeronaves danificadas e os mísseis de média e alta altitudes, por 8% (CHAN *et al.*, 1997).

Finalmente, considerando os dois critérios acima, aeronaves destruídas e aeronaves danificadas, os mísseis de ombro e os armamentos de cano foram responsáveis por 71% dos eventos, sendo 22 aeronaves abatidas e 39 danificadas. Ao contrário do que muitos imaginavam, essas ameaças de baixa altitude, normalmente encontradas em cenário de conflito irregular, mostraram-se as mais perigosas naquele conflito (CHAN *et al.*, 1997).

Com isso, pode-se observar a influência da altitude na capacidade de sobrevivência do piloto, uma vez que 66% das aeronaves abatidas foram atingidas abaixo de 12.000 pés de altitude. Contudo, o emprego de bombas convencionais em altitudes mais elevadas ocasiona uma redução na precisão dos ataques, o que tem relação com o projeto da aeronave e com o perfil da missão (CHAN *et al.*, 1997; HALLION, 1995).

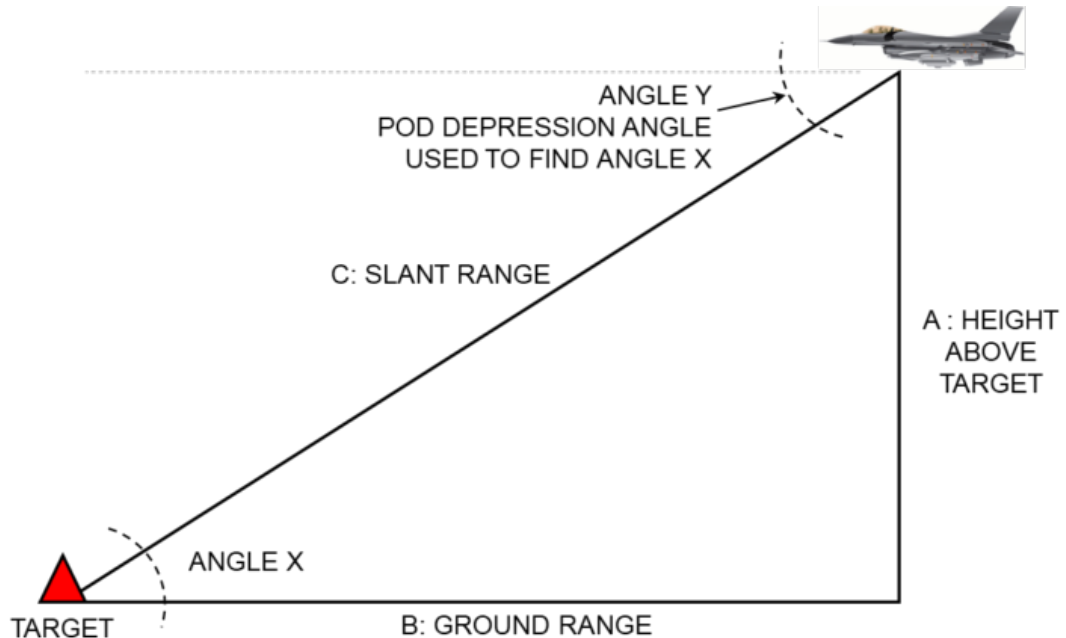
No que diz respeito ao projeto da aeronave, foi considerada para essa pesquisa a aeronave A-29 da FAB com as capacidades e configurações existentes no período da realização deste trabalho. A maioria dos fatores relacionados ao projeto são fixos, conforme a concepção de desenvolvimento do avião. De acordo com a delimitação proposta, esta pesquisa limitou-se a analisar a influência do emprego de bombas guiadas de precisão na sobrevivência do piloto de A-29, o que, conforme Quadro 1, guarda relação com a configuração da aeronave e com as táticas e os parâmetros de emprego utilizados.

De acordo com o fabricante da aeronave, o A-29 é capaz de fazer o emprego com o lançamento de bombas guiadas de precisão (EMBRAER, 2021). Porém, considerando que o A-29 da FAB não emprega esse tipo de armamento, foi importante compreender a relação existente entre o emprego da bomba convencional e a altitude de lançamento.

Para entender o efeito da altitude na precisão dos ataques com bombas convencionais, foi realizada uma simulação, com base nos conceitos abordados por Pyle (1994) e Heaston e Smoots (1983) sobre o CEP e a distribuição dos impactos ocasionados por bombas lançadas de um dado sistema. A simulação seguiu a metodologia abordada por Cohen e Keane (1993), que destacaram os problemas do lançamento desse tipo de armamento em médias e grandes altitudes, “[...] mesmo para plataformas inteligentes” (COHEN; KEANEY, 1993, p. 86, tradução nossa), como é o caso da aeronave A-29 da FAB.

Antes de apresentar os resultados da simulação, faz-se necessário esclarecer o conceito de *Slant Range*, o qual pode ser entendido como a distância entre o avião e o alvo no momento do lançamento do seu armamento, conforme pode ser visto na Figura 5.

**Figura 5** - Geometria de lançamento de bombas.



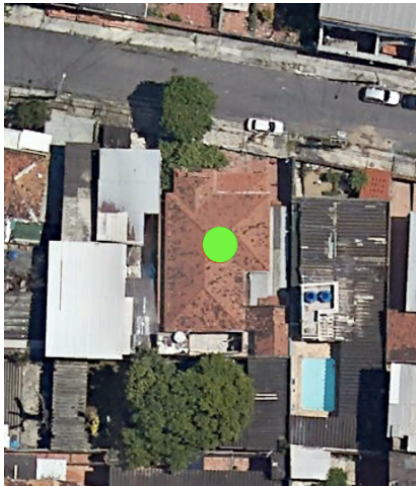
**Fonte:** Benitez (2017).

Devido à restrição de acesso às informações da aeronave A-29 da FAB e de seus armamentos, foram utilizados parâmetros encontrados em fontes abertas, que atenderam perfeitamente aos propósitos desta pesquisa.

Dessa forma, foram considerados os parâmetros balísticos da bomba de exercício BDU-33, que simula a balística da bomba MK-82, e o modo CCIP. As altitudes simuladas de lançamento foram de 3.000 pés e 13.000 pés, que representaram uma *slant range* de 6.638 pés e 20.182 pés, respectivamente (ORDTECH, 2021). Além disso, foi adotado o parâmetro de 2 mils para o diâmetro do ponto do *piper*, que é um dos padrões utilizados nas aeronaves (COHEN; KEANEY, 1993).

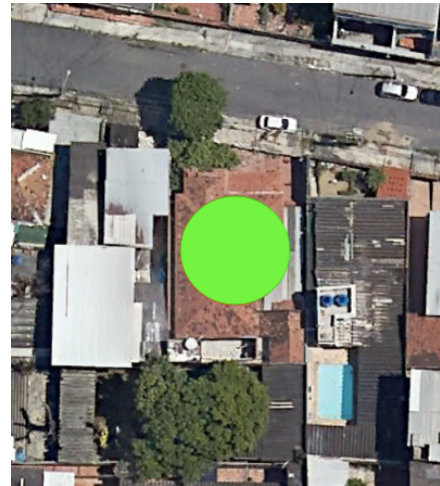
Considerando o erro de designação do alvo no lançamento abordado por Pyle (1994), foi feita a comparação da relação de aspecto do *piper* para as duas *slant range*, para um alvo simulado medindo 19 metros de comprimento por 13,5 metros de largura, conforme figuras a seguir.

**Figura 6** - Relação de aspecto do *piper* - lançamento a 3.000 pés de altitude.



Fonte: Adaptado de Google (2020).

**Figura 7** - Relação de aspecto do *piper* - lançamento a 13.000 pés de altitude.



Fonte: Adaptado de Google (2020).

Como se pode observar, para o lançamento a 3.000 pés de altitude, o *piper* cobre uma área de 4,04 metros de diâmetro do alvo. Já para a altitude de 13.000 pés, a área coberta pelo *piper* é de 12,3 metros de diâmetro, quase cobrindo o alvo. Daí pode-se notar a dificuldade que o piloto encontra para fazer a designação correta do alvo com *slant range* maiores, ocasionadas pelo acréscimo da altitude de lançamento.

Ainda, em concordância com Pyle (1994), outro fator importante a ser levado em consideração é o erro de dispersão da bomba, que considera apenas a balística do armamento. Para esse aspecto, foi utilizado o exemplo da dispersão da MK-84, que é de 5 a 6 mils (COHEN; KEANEY, 1993). Como resultado da simulação realizada, encontrou-se uma dispersão da ordem de 12,14 metros para o lançamento a 3.000 pés de altitude e de 36,91 metros para a altitude de 13.000 pés.

Somando os efeitos dos dois erros acima abordados, chegou-se aos resultados apresentados no Quadro 3.

**Quadro 3** - Dados da simulação dos lançamentos.

| Altitude de lançamento | <i>Slant Range</i> | Erro de designação | Erro de dispersão | Total        |
|------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------|
| 3.000 pés              | 6.638 pés          | 4,04 metros        | 12,14 metros      | 16,18 metros |
| 13.000 pés             | 20.182 pés         | 12,3 metros        | 36,91 metros      | 49,21 metros |

Fonte: O autor.

Dessa maneira, mesmo que o piloto tenha feito tudo certo para o lançamento da bomba e que o sistema do avião tenha operado corretamente, observa-se que o aumento da altitude de lançamento para 13.000 pés amplia em, aproximadamente,

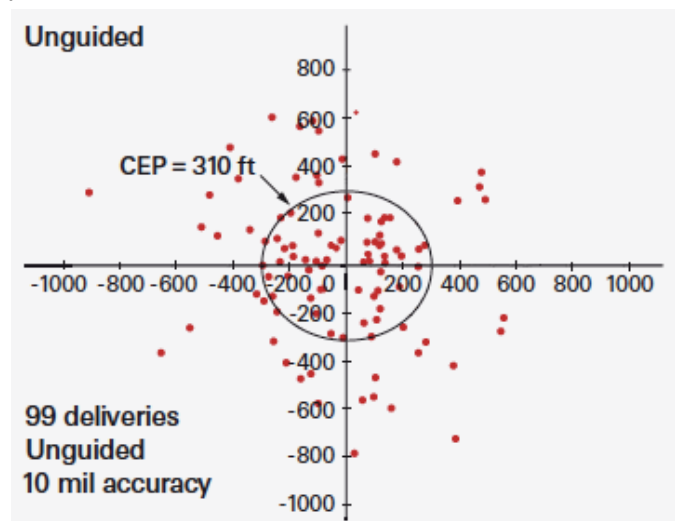


nove vezes o tamanho da área em que a bomba pode cair, com o diâmetro chegando próximo de 50 metros.

É importante ressaltar que esses cálculos levaram em consideração apenas dois fatores que impactam na precisão do emprego de bombas convencionais, o erro de designação e o erro balístico da bomba. Uma defasagem de 200 pés no sistema de altitude do avião pode ocasionar um erro de 36,57 metros, o que degradaria ainda mais a precisão do ataque (COHEN; KEANEY, 1993).

Portanto, para se ter uma informação mais próxima da realidade, foi necessário saber o desempenho do sistema como um todo, ou seja, do piloto, do sistema de armamentos da plataforma e do próprio armamento. Assim, foi realizada mais uma simulação, com os mesmos parâmetros de altitude e *slant range* utilizados anteriormente, acrescido da performance do sistema que apresentou o resultado constante da Figura 8.

**Figura 8** - CEP da MK-82 de 99 lançamentos a 15.000 pés de altitude.



Fonte: Raytheon (2006 apud GICHHD, 2017, p. 38).

Utilizando a fórmula 2 deste artigo, foi possível estimar o CEP do sistema acima em 15,67 mils. A partir desse resultado, aplicando a mesma fórmula para as altitudes de lançamento de 3.000 pés e 13.000 pés, obteve-se os CEP de 26,99 metros e de 81,86 metros para as respectivas altitudes. A proporção do acréscimo da área se manteve o mesmo, aproximadamente nove vezes. Entretanto, as distâncias foram muito superiores, chegando a 163,72 metros de diâmetro na maior altitude.

Com isso, o resultado nos mostra que o aumento da altitude de lançamento de uma bomba convencional influencia a precisão do ataque. Quanto maior a altitude de

lançamento, maior a probabilidade de o impacto ocorrer mais longe do alvo pretendido. A Figura 9 ilustra a área coberta pelos CEP encontrados acima.

**Figura 9** - Resultado dos CEP simulados (raios de 26,99m e 81,86m).



**Fonte:** Adaptado de Google (2020).

Observando a figura acima, identifica-se o CEP dos lançamentos simulados a 3.000 pés no círculo vermelho interno e o CEP dos ataques simulados a 13.000 pés no círculo externo. Isso significa que se espera que 50% das bombas lançadas por esse sistema caiam dentro desses círculos, de acordo com a altitude do lançamento.

Outro aspecto de destaque é a complexidade da realização de um ataque em ambiente urbano, como exposto na Figura 9. As construções são muito próximas e um erro no ataque pode resultar em sérios danos colaterais (LAMBETH, 2005).

No cenário de conflito irregular, as forças insurgentes se escondem em áreas residenciais, templos e demais estruturas dos centros urbanos com o objetivo de usar a população como escudo humano. Eles armazenam material bélico com alto poder explosivo em áreas densamente povoadas. Essa estratégia tem o objetivo de potencializar os efeitos de possíveis ataques aéreos. Com isso, eles exploram, perante a comunidade internacional, os danos colaterais causados, minando a imagem de seus inimigos (CORUM, 2009; LAMBETH, 2005).

Nesse sentido, evitar o dano colateral se tornou tão importante na Guerra do Afeganistão (2001), que passou a ser prioridade nas ações e, muitas vezes, mais importante do que o sucesso na missão. Em virtude disso, foi criada uma célula

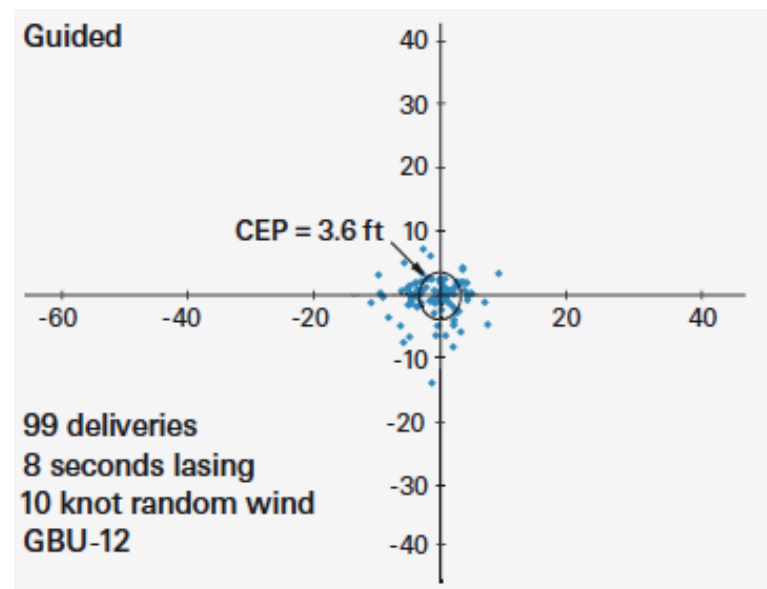
específica no Centro de Operações Aéreas Combinadas para prevenir e analisar os danos colaterais e os casos de fratricídio. Essa questão chegou a impedir ataques a alvos de oportunidade importantes, como as lideranças das forças irregulares. Observa-se nos conflitos atuais que as regras de engajamento são estabelecidas levando-se em consideração o objetivo de minimizar os danos colaterais (LAMBETH, 2005).

As restrições impostas aos ataques para evitar o dano colateral, como, por exemplo, proas específicas, podem ser mais um fator para influenciar a precisão do lançamento de bombas convencionais, aumentando, ainda mais, a distância dos impactos das bombas.

Todavia, o advento das bombas guiadas proporcionou um incremento significativo na precisão dos ataques, contribuindo para manter a taxa de danos colaterais dentro de uma margem tolerável (LAMBETH, 2005).

A Figura 10 mostra o CEP da GBU-12 *Paveway II*, bomba guiada a laser. Ela comprova a elevada capacidade de precisão desse tipo de armamento, mostrando-se a melhor opção para o emprego em cenário urbano (MUELLER, 2010).

**Figura 10** - CEP da GBU-12 de 99 lançamentos a 15.000 pés de altitude.



**Fonte:** Raytheon (2006 apud GICH, 2017, p. 38).

Dessa maneira, com um CEP de 1,09 metro, pode-se fazer uma comparação com os resultados encontrados a partir das simulações feitas anteriormente com a MK-82, a qual pode ser visualizada por meio da Figura 11.

**Figura 11** - Comparação do CEP da GBU-12 e das simulações anteriores.



**Fonte:** Adaptado de Google (2020).

O ponto verde no centro da Figura 11 representa o CEP das bombas GBU-12 lançadas a 15.000 pés de altitude, dentro do qual espera-se que 50% das bombas lançadas caiam. Vale ressaltar que essa altitude é mais alta do que os parâmetros utilizados nas simulações realizadas.

Portanto, é possível verificar a diferença na capacidade de precisão das bombas guiadas em relação às bombas convencionais. Isso ganhou destaque no mundo durante a Guerra do Golfo de 1991, quando as mídias de televisão mostraram bombas caindo precisamente em chaminés, portas e janelas (MEILINGER, 2001).

Outro exemplo bastante interessante é o da Guerra do Kosovo de 1999, onde pôde-se observar torres de comunicações destruídas e prédios civis intactos a uma distância de 15 metros (MEILINGER, 2001). Isso mostra que a qualidade da precisão das bombas guiadas permite o uso de bombas menores, como a MK-82 de 500 libras, minimizando o poder destrutivo ocasionado pelas bombas maiores e, conseqüentemente, reduzindo a possibilidade de dano colateral (LAMBETH, 2005).

Além disso, é importante destacar que a precisão proporcionada pelas bombas guiadas de precisão demanda menos aeronaves para garantir que os alvos desejados sejam destruídos (KING, 2014).

Dessa maneira, considerando a importância da mitigação do dano colateral e da perda de vidas para ambos os lados, é possível observar um incremento no uso

de armamento de precisão nos últimos conflitos. Na Guerra do Golfo de 1991 apenas 8,8% dos armamentos utilizados foram de precisão. Esse percentual aumentou para 35% na Guerra do Kosovo (1999) e para mais de 72% na Guerra do Afeganistão de 2001 (LUCAS, 2003).

Quanto à efetividade das bombas guiadas, vale destacar que elas representavam 4,3% de todos os armamentos empregados na Operação *Enduring Freedom* e foram responsáveis por causar 75% dos danos aos alvos estratégicos e operacionais (HALLION, 1995).

Dessa forma, os dados apresentados sobre as bombas convencionais e as bombas guiadas de precisão mostram que altitudes mais elevadas influenciam negativamente a precisão das bombas convencionais. Porém, isso não ocorre com as bombas guiadas. Pelo contrário, de acordo com Meilinger (2001), elas têm maior precisão se lançadas entre 15.000 pés e 23.000 pés de altitude, uma vez que isso permite mais tempo para elas corrigirem a trajetória de voo até o ponto de impacto.

Assim, a análise da relação entre os dois tipos de bombas e a altitude de lançamento, associada à questão dos danos colaterais, permitiu a identificação dos fatores que influenciam o emprego de bomba convencional e de bomba guiada de precisão em um cenário de conflito irregular, respondendo à terceira questão norteadora.

De posse dos dados apresentados, foi possível realizar a análise final deste artigo. Relembrando que o objetivo geral da pesquisa foi analisar a influência do emprego de bombas guiadas de precisão na probabilidade de sobrevivência dos pilotos de A-29 da FAB em cenário de conflito irregular.

Como foi observado, a capacidade de sobrevivência do piloto em combate permeia entre três grandes aspectos: ameaça; projeto da aeronave; e perfil da missão. Quanto às ameaças, identificou-se que os principais desafios para o emprego do poder aéreo encontrados em um cenário de conflito irregular são os armamentos de cano, os lançadores de granadas e, principalmente, os mísseis de ombro portáteis. Verificou-se que o alcance desses armamentos é da ordem de 10.000 pés a 15.000 pés.

Essas ameaças implicam em alterações no perfil da missão, fazendo com que as aeronaves atacantes adaptem as táticas utilizadas, alterando os parâmetros de emprego de seus armamentos, procurando altitudes mais elevadas e, por consequência, mais seguras para a operação.

Com isso, considerando que o A-29 da FAB não emprega bombas guiadas de precisão, as simulações realizadas demonstraram que o emprego de bombas convencionais sofre uma degradação na precisão dos ataques na medida em que se aumenta a altitude dos lançamentos. Esse aspecto pode ocasionar danos colaterais significativos, principalmente em cenários de conflito irregular desenvolvidos em ambiente urbano, como ocorrido nos conflitos mais recentes. É válido destacar a exploração estratégica dos danos colaterais pelos insurgentes. Isso pode comprometer a imagem dos atores estatais, a continuidade das operações e a consecução dos objetivos políticos estabelecidos. Como disse o General Horner na Guerra do Golfo (1991), “[...] o sucesso da missão depende de evitar o dano colateral.” (LAMBETH, 2005, p. 345, tradução nossa).

Dando continuidade, ficou notória a precisão das bombas guiadas, o que permite ataques extremamente precisos, com mitigação dos danos colaterais. Ademais, como reportado, o incremento da altitude tem efeito positivo em relação à precisão, uma vez que oferece maior tempo para as correções necessárias dos sistemas de guiamento, tornando o ataque mais preciso ainda.

Posto isso, a simples ação de elevar a altitude de lançamento das bombas convencionais com o intuito de aumentar a segurança dos pilotos pode trazer consequências comprometedoras para o sucesso da missão. A alteração da configuração da aeronave por meio da substituição das bombas convencionais por bombas guiadas permite o incremento na segurança e nos resultados desejados.

O exemplo da Operação *Deliberate Force*, Guerra da Bósnia e Herzegovina de 1995, sintetiza a reunião de todos esses fatores abordados. Naquele conflito, os F-16 holandeses empregaram somente bombas convencionais. Para garantir uma melhor precisão nos ataques e evitar os danos colaterais os pilotos tinham que fazer os lançamentos em altitudes baixas, arriscando-se contra as ameaças de solo, o que era considerado arriscado demais pelos outros aliados (ARING, 2009).

Por fim, analisando, à luz da teoria de Ball (1985) e de Mavris e DeLaurentis (1995), todos os aspectos abordados de maneira integrada, pode-se estabelecer a relação existente entre a variável independente “o emprego de bombas guiadas de precisão” e a variável dependente “probabilidade de sobrevivência dos pilotos de A-29 da FAB em cenário de conflito irregular”.

O emprego das bombas guiadas permite o estabelecimento de parâmetros de emprego que fiquem fora do alcance das ameaças de solo normalmente encontradas

em conflitos irregulares. Dessa forma, o valor da probabilidade de ser atingido se detectado ( $P_{H/D}$ ) da equação 1, repetida abaixo, tende a zero, o que representa o aumento da probabilidade de sobrevivência do piloto.

$$P_{\text{surv}} = [ 1 - ( P_D \times P_{H/D} \times P_{K/H} ) ] \quad (1)$$

Portanto, respondendo ao objetivo geral e ao problema de pesquisa, pode-se concluir que o emprego de bombas guiadas de precisão aumenta a probabilidade de sobrevivência dos pilotos de A-29 da FAB em cenário de conflito irregular na medida em que isso permite a realização dos ataques fora do alcance das ameaças de solo, ao mesmo tempo em que garante a precisão necessária e adequada para o emprego do poder aeroespacial nesse tipo de conflito, além de exigir menos aeronaves para a destruição dos alvos desejados, significando uma menor exposição de meios.

## 5 CONCLUSÃO

Os conflitos ocorridos após a Guerra Fria apresentaram, em sua maioria, características peculiares de Guerra Irregular. A Organização das Nações Unidas tem conduzido missões de paz no mundo e o Brasil tem sido um importante participante. Em 2017 deu-se início às tratativas para um possível engajamento do A-29 da Força Aérea Brasileira em uma missão de paz. A participação dos esquadrões de Caça de A-29 no Exercício Internacional *Green Flag West* em 2019 permitiu o treinamento em cenário de conflito irregular, onde foi observado o emprego massivo de bombas guiadas de precisão pelas aeronaves A-10 americanas, mesmo em treinamento.

Isso casou inquietação ao autor, incentivando a realização desta pesquisa, cujo tema escolhido foi o emprego de munições guiadas de precisão em cenário de conflito irregular. Assim, o problema de pesquisa foi estabelecido para verificar em que medida o emprego de bombas guiadas de precisão pode influenciar a probabilidade de sobrevivência dos pilotos de A-29 da FAB em um cenário de conflito irregular.

Com a finalidade de orientar a pesquisa para responder ao problema levantado, foram estabelecidas questões norteadoras com os objetivos específicos de identificar os fatores que influenciam a capacidade de sobrevivência do piloto, as ameaças que são normalmente encontradas e os fatores que influenciam o emprego de bomba convencional e de bomba guiada de precisão, tudo para o cenário de conflito irregular. Essas questões direcionaram a pesquisa para atingir o objetivo geral do trabalho que foi analisar a influência do emprego de bombas guiadas de precisão (variável



independente) na probabilidade de sobrevivência dos pilotos de A-29 da FAB em cenário de conflito irregular (variável dependente).

Desta forma, o trabalho foi classificado como uma pesquisa descritiva, uma vez que buscou identificar a relação entre as duas variáveis. A metodologia utilizada se dividiu em cinco fases, iniciando por uma pesquisa bibliográfica e documental. Em seguida, foram identificados e analisados os fatores que influenciam a probabilidade de sobrevivência de um piloto em combate. Posteriormente, foram levantadas as principais ameaças encontradas em um cenário de conflito irregular e analisadas as suas implicações para o emprego do poder aéreo. Com isso, considerando que o A-29 da FAB não emprega bombas guiadas de precisão, foram feitas simulações para identificar os fatores que influenciam o emprego de bomba convencional e de bomba guiada de precisão em um cenário de conflito irregular. Por fim, os resultados foram analisados à luz da teoria de Ball (1985) e de Mavris e DeLaurentis (1995) com o intuito de responder ao objetivo geral e ao problema de pesquisa.

Para o embasamento teórico do trabalho, foram utilizadas as teorias de Ball (1985) e de Mavris e DeLaurentis (1995) que tratam da probabilidade de sobrevivência de um piloto em combate. Além disso, foram utilizados os conceitos de Cohen e Keaney (1993), Heaston e Smoots (1983), Hoehn (2020) e de Pyle (1994) no que tange ao emprego de bombas convencionais e de bombas guiadas de precisão.

Os dados levantados permitiram a identificação dos fatores envolvidos na probabilidade de sobrevivência do piloto em um cenário de conflito irregular, destacando-se as ameaças típicas desses conflitos. Por meio do estudo de caso da Guerra do Afeganistão de 2001 verificou-se que as ameaças normalmente encontradas nesses cenários têm alcance máximo de 15.000 pés de altitude. Isso faz com que as aeronaves atacantes elevem suas altitudes em busca de maior segurança.

Entretanto, como demonstrado, ocorre uma redução na precisão do armamento nos ataques com emprego de bombas convencionais, na medida em que quanto maior a altitude de lançamento de uma bomba convencional, maior a probabilidade de o impacto da bomba ocorrer mais longe do alvo pretendido.

Considerando que os conflitos irregulares mais recentes se desenvolveram em ambientes urbanos, essa degradação na precisão dos ataques pode ocasionar danos colaterais comprometedores. Por outro lado, a precisão proporcionada pelas bombas guiadas de precisão permite a minimização da ocorrência desse tipo de evento. Além disso, ao contrário do que ocorre com as bombas convencionais, o incremento da



altitude tem efeito positivo para a precisão do ataque com bomba guiada, devido ao maior tempo disponível para a correção da sua trajetória.

Portanto, ao analisar todos os dados levantados, à luz das teorias de Ball (1985) e de Mavris e DeLaurentis (1995), foi possível alcançar o objetivo geral desse trabalho e responder ao problema de pesquisa, verificando que o emprego de bombas guiadas de precisão (variável independente) aumenta a probabilidade de sobrevivência dos pilotos de A-29 da FAB em cenário de conflito irregular (variável dependente) na medida em que é possível realizar os ataques fora do alcance das ameaças, ao mesmo tempo em que garante a precisão necessária e adequada para o emprego do poder aeroespacial nesse tipo de conflito, além de demandar uma quantidade menor de aeronaves para a destruição dos alvos desejados.

Este estudo demonstrou a importância do emprego de bombas guiadas de precisão para a capacidade de sobrevivência dos pilotos nos conflitos irregulares atuais, frente às ameaças encontradas nesses cenários. Além disso, o dano colateral mostrou-se uma permanente preocupação, podendo comprometer a consecução dos objetivos políticos em um conflito. Isso pode contribuir para os níveis de decisão superiores, embasando a viabilidade ou não do emprego do poder aeroespacial brasileiro em conflitos irregulares, especificamente das aeronaves A-29 em missões de paz com sua configuração atual.

Por fim, destaca-se que as limitações impostas a essa pesquisa quanto ao caráter ostensivo e ao tamanho do artigo não comprometeram os resultados alcançados, tendo em vista que os dados obtidos e trabalhados atenderam perfeitamente as necessidades do estudo. Entretanto, visando a ampliação do conhecimento nessa área, sugere-se a exploração dos aspectos da probabilidade de detecção da aeronave e da probabilidade de ela ser abatida, se atingida, para futuros trabalhos.

## REFERÊNCIAS

AEROSCIENCE. **Super Tucano Qual Eval, Reno NV**. Aeroscience, Nevada, 14 dez. 2015. Disponível em: <https://aeroscience.wordpress.com/2015/12/14/super-tucano-qual-eval-reno-nv/>. Acesso em: 29 abr. 2021.

ARING, Christian F. Neglected Contributions: The Continental European Air Powers. *In*: HAYWARD, Joel. **Air Power, Insurgency and the “War on Terror”**. Cranwell: Royal Air Force Centre for Air Power Studies, 2009. p. 239-255. Disponível em: [https://www.academia.edu/16391063/Night\\_of\\_the\\_Flying\\_Hooligans\\_Soviet\\_Army\\_Aviation\\_and\\_Air\\_Force\\_Operations\\_during\\_the\\_War\\_in\\_Afghanistan\\_1979\\_1989?auto=download](https://www.academia.edu/16391063/Night_of_the_Flying_Hooligans_Soviet_Army_Aviation_and_Air_Force_Operations_during_the_War_in_Afghanistan_1979_1989?auto=download). Acesso em: 23 abr. 2021.

AUSTRÁLIA. Department of Foreign Affairs and Trade. **Man-Portable Air Defense Systems (MANPADS): Countering the Terrorist Threat**. Barton, 2008. Disponível em: [https://www.dfat.gov.au/sites/default/files/MANPADS\\_countering\\_terrorist\\_threat.pdf](https://www.dfat.gov.au/sites/default/files/MANPADS_countering_terrorist_threat.pdf). Acesso em: 05 jul. 2021.

BALL, R. E. **The Fundamentals of Aircraft Combat Survivability Analysis and Design**. Naval Postgraduate School. 1. ed. Monterey: AIAA, 1985.

BENITEZ, Mike. **Taking Airpower for granted: a smart bomb story**. War on the rocks, Washington, 29 ago. 2017. Disponível em: <https://warontherocks.com/2017/08/taking-airpower-for-granted-a-smart-bomb-story/>. Acesso em: 9 jul. 2021.

BUDGE, Kent G. **20mm Oerlikon Light Antiaircraft Gun**. The Pacific War Online Encyclopedia, 2014. Disponível em: [http://pwencycl.kgbudge.com/2/0/20mm\\_Oerlikon\\_AA\\_gun.htm](http://pwencycl.kgbudge.com/2/0/20mm_Oerlikon_AA_gun.htm). Acesso em: 4 jul. 2021.

CHAN, K. *et al.* **Operation Desert Storm: Evaluation of the air campaign**. Washington: United States General Accounting Office, 1997. Disponível em: <https://www.gao.gov/assets/nsiad-97-134.pdf>. Acesso em: 4 maio 2021.

CHAPMAN, Gary. **An Introduction to the Revolution in Military Affairs**. Trabalho apresentado na XV Amaldi Conference on Problems in Global Security. Helsinque, Finlândia. Austin: LBJ School of Public Affairs, 2003. Disponível em : <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.557.4787&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 22 mar. 2021.

COHEN, Eliot A.; KEANEY, Thomas A. **Gulf War Air Power Survey, Volume IV: Weapons, Tactics, and Training and Space Operations**. Departamento da Força Aérea dos Estados Unidos da América. Washington, 1993. Disponível em: <https://media.defense.gov/2010/Sep/27/2001329817/-1/-1/0/AFD-100927-066.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2021.

CORUM, James S. Air Power and Counter-insurgency: Back to the Basics. *In*: HAYWARD, Joel. **Air Power, Insurgency and the “War on Terror”**. Cranwell: Royal Air Force Centre for Air Power Studies, 2009. p. 207-222. Disponível em: [https://www.academia.edu/16391063/Night\\_of\\_the\\_Flying\\_Hooligans\\_Soviet\\_Army\\_Aviation\\_and\\_Air\\_Force\\_Operations\\_during\\_the\\_War\\_in\\_Afghanistan\\_1979\\_1989?auto=download](https://www.academia.edu/16391063/Night_of_the_Flying_Hooligans_Soviet_Army_Aviation_and_Air_Force_Operations_during_the_War_in_Afghanistan_1979_1989?auto=download). Acesso em: 23 abr. 2021.

EMBRAER. **Embraer**: Super Tucano. São José dos Campos: EMBRAER, 2021. Disponível em: <https://defense.embraer.com/br/pt/super-tucano>. Acesso em: 8 abr. 2021.

FORÇA AÉREA BRASILEIRA. **ONU vistoria aeronaves da FAB para emprego em missões de paz**. Força Aérea Brasileira, Brasília, 24 abr. 2017. Disponível em: <https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/29937/INTERNACIONAL%20-%20ONU%20vistoria%20aeronaves%20da%20FAB%20para%20em-prego%20em%20missões%20de%20paz>. Acesso em: 14 abr. 2021.

GENYS, Andrius. **ZSU-23-4 Shilka**. Military-Today.com, 2021. Disponível em: [http://www.military-today.com/artillery/zsu\\_23\\_4\\_shilka.htm](http://www.military-today.com/artillery/zsu_23_4_shilka.htm). Acesso em: 4 jul. 2021.

GICHD, Geneva International Centre for Humanitarian Demining. **Explosive Weapon Effects**. Genebra: Global CWD Repository, 2017. Disponível em: [https://commons.lib.jmu.edu/cisr-globalcwd/149/?utm\\_source=commons.lib.jmu.edu%2Fcisr-globalcwd%2F149&utm\\_medium=PDF&utm\\_campaign=PDFCoverPages](https://commons.lib.jmu.edu/cisr-globalcwd/149/?utm_source=commons.lib.jmu.edu%2Fcisr-globalcwd%2F149&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages). Acesso em: 16 jul. 2021.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOOGLE. **Google Earth Pro**. Versão 7.3.3.7786. Mountain View: Google, 2020.

HALLION, Richard P. **Precision Guided Munitions and the new era of warfare**. Fairbairn: Air Power Studies Centre Working Papers, 1995. Disponível em: <https://fas.org/man/dod-101/sys/smart/docs/paper53.htm>. Acesso em: 24 abr. 2021.

HARADA, Eduardo. **Tecnologia da guerra**: entenda como funciona um lançador de mísseis RPG. TecMundo, Curitiba, 12 maio 2016. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/tecnologia-militar/104728-tecnologia-guerra-entenda-funciona-lancador-misseis-rpg.htm>. Acesso em: 4 jul. 2021.

HEASTON, Robert J.; SMOOTS, Charles W. **Introduction to Precision Guided Munitions**. GACIAC IIT Research Institute. Illinois, 1983. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA135619.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2021.

HOEHN, John R. **Defense Primer**: U.S. Precision-Guided Munitions. Congressional Research Service. Washington, 9 dez. 2020. Disponível em: <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IF/IF11353>. Acesso em: 11 abr. 2021.

KING, Brett A. **Coercive airpower in the precision age: the effects of precision guided munitions on air campaign duration**. 2014. Dissertation (Doctor of Philosophy) – University of Nebraska, Lincoln, 2014. Disponível em: <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1032&context=poliscitheses>. Acesso em: 24 abr. 2021.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Metodologia do Trabalho Científico**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1992.

LAMBETH, Benjamin S. **Air power against terror: America's conduct of Operation Enduring Freedom**. Santa Monica: RAND Corp., 2005. Disponível em: <https://www.rand.org/pubs/monographs/MG166-1.html>. Acesso em: 23 abr. 2021.

LUCAS, Edward R. **Precision Guided Munitions and Collateral Damage: Does the Law of Armed Conflict Require the Use of Precision Guided Munitions When Conducting Urban Aerial Attacks?**. 2003. Thesis (Master) – College of Law, University of Iowa, Iowa, 2003. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/sti/citations/ADA416640>. Acesso em: 11 abr. 2021.

MAVRIS, D. N.; DELAURENTIS, D. **An integrated approach to military aircraft selection and concept evaluation**. School of Aerospace Engineering. Georgia Institute of Technology, 1995. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.32.2313&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 17 abr. 2021.

MEILINGER, Phillip S. **Precision Aerospace Power, Discrimination, and the Future of War**. Aerospace Power Journal, Montgomery, v. 15, n. 3, p. 12-20, Fall 2001. Disponível em: [https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/ASPJ/journals/Volume-15\\_Issue-1-4/Fall2001.pdf](https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/ASPJ/journals/Volume-15_Issue-1-4/Fall2001.pdf). Acesso em: 24 jun. 2021.

MROZEK, Donald J. **Air power and the ground war in Vietnam: ideas and actions**. Alabama: Air University Press, 1988. Disponível em: [https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/AUPress/Books/B\\_0017\\_MROZEK\\_GROUND\\_WAR\\_VIETNAM.pdf](https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/AUPress/Books/B_0017_MROZEK_GROUND_WAR_VIETNAM.pdf). Acesso em: 22 jun. 2021.

MUELLER, Karl P. Air Power. In: DENEMARK, Robert A. **The International Studies Encyclopedia**. Vol. I, Oxford: Wiley-Blackwell, 2010. p. 47-65. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA526609.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2021.

ORDTECH. **Practice Bomb BDU-33 NSN 1325-01-054-2906**. Hergiswill: Ordtech, 2021. Disponível em: <http://www.ordtech-industries.com/menu.html>. Acesso em: 8 jul. 2021.

PYLE, David Morton. **Stochastic Analysis of Facilities Hardened Against Conventional Weapons Effects**. 1994. Dissertação (Doutorado em Filosofia – Engenharia Civil) – Faculdade da Escola de Engenharia e Ciência Aplicada, Universidade da Virginia, Virginia, 1994. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA282123.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2021.

WEAPON SYSTEMS. **ZSU-57-2 Sparka**. WeaponSystem.net, 2021. Disponível em: <https://weaponsystems.net/system/531-ZSU-57-2%20Sparka>. Acesso em: 4 jul. 2021.

WITHINGTON, Thomas. Night of the Flying Hooligans: Soviet Army Aviation and Air Force Operations during the War in Afghanistan 1979-1989. *In*: HAYWARD, Joel. **Air Power, Insurgency and the “War on Terror”**. Cranwell: Royal Air Force Centre for Air Power Studies, 2009. p. 127-142. Disponível em: [https://www.academia.edu/16391063/Night\\_of\\_the\\_Flying\\_Hooligans\\_Soviet\\_Army\\_Aviation\\_and\\_Air\\_Force\\_Operations\\_during\\_the\\_War\\_in\\_Afghanistan\\_1979\\_1989?auto=download](https://www.academia.edu/16391063/Night_of_the_Flying_Hooligans_Soviet_Army_Aviation_and_Air_Force_Operations_during_the_War_in_Afghanistan_1979_1989?auto=download). Acesso em: 23 abr. 2021.