

ANÁLISE DO EMPREGO DE DRONES COM IA NAS OPERAÇÕES MILITARES: ALINHAMENTO COM AS DIRETRIZES E NORMAS DO COMAER

ANALYSIS OF THE EMPLOYMENT OF AI-ENABLED DRONES IN MILITARY OPERATIONS: ALIGNMENT WITH COMAER GUIDELINES AND REGULATIONS

Isaac França Parente¹
Guilherme Augusto Spiegel Gualazzi²
Wellington Resende Ferreira³

RESUMO

O uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs) integradas à Inteligência Artificial (IA) tem se mostrado uma solução promissora para ampliar a eficiência das operações militares e superar as limitações dos métodos tradicionais de vigilância e de defesa nacional, permitindo que atuem de forma autônoma em missões de reconhecimento, monitoramento e ataque, reduzindo a vulnerabilidade das tropas e aumentando a proteção de áreas sensíveis. A pesquisa é justificada pela necessidade de alinhar as diretrizes institucionais da Força Aérea Brasileira (FAB) às tecnologias emergentes, para emprego em operações militares. Nesse sentido, definiu-se como objetivo principal analisar a compatibilidade do emprego de ARPs conjugadas à IA com as diretrizes, instruções e manuais do Comando da Aeronáutica (COMAER). Para isso, adotou-se uma metodologia qualitativa, baseada na análise de documentos oficiais da Força Aérea, de fontes bibliográficas especializadas e de estudos de casos contemporâneos, como a guerra russo-ucraniana e o conflito entre Israel e Hamas. A investigação compreendeu o levantamento de normas institucionais e de registros jornalísticos sobre o uso de ARPs com IA em operações militares. Além da análise normativa, foram considerados aspectos técnicos relevantes, como a capacidade de operação em formações de *Swarm*, a resistência a interferências eletromagnéticas e o emprego de câmeras e sensores na coleta e análise de dados em tempo real. Adicionalmente, foi aplicado um software de reconhecimento de alvos, apto a identificar padrões visuais em imagens reais obtidas durante atividades operacionais, contribuindo para a validação dos conceitos discutidos. O trabalho concentrou-se em demonstrar como a integração da IA às ARPs pode contribuir para operações mais eficientes, seguras, abrangentes e alinhadas às necessidades operacionais do COMAER.

Palavras-chave: ARPs; IA; Vigilância ; Defesa ; Operações Militares.

¹Cadete de Infantaria Parente do 4º Esquadrão (Turma *Ártemis*, 2025).

²Graduado em Análise de Sistemas pela Universidade Metodista de Piracicaba (1992), com especialização em Engenharia de Software pela UNICAMP (2005), Mestre (2000) e Doutor (2010) em Engenharia de Produção pela Universidade Metodista de Piracicaba. Professor da Academia da Força Aérea (AFA) desde 2005. E-mail: gualazzigag@fab.mil.br.

³1º Tenente Aviador, formado na Academia da Força Aérea (AFA) no ano de 2019. Concluiu o Curso do Grupo de Instrução Técnica Especializada (GITE) em 2020. Concluiu o Curso de Especialização em Análise de Ambiente Eletromagnético (CEAAE) no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) em 2023, com foco em guerra eletrônica e análise espectral no contexto aeroespacial. E-mail: resende.fe.wellington@gmail.com.

ABSTRACT

The use of Remotely Piloted Aircraft (RPA) integrated with Artificial Intelligence (AI) has proven to be a promising solution for enhancing the efficiency of military operations and overcoming the limitations of traditional surveillance and national defense methods. This integration enables RPAs to operate autonomously in reconnaissance, monitoring, and attack missions, thereby reducing troop vulnerability and increasing the protection of sensitive areas. This research is justified by the need to align emerging technologies with the institutional guidelines of the Brazilian Air Force (FAB) for use in military operations. Accordingly, the primary objective was defined as analyzing the compatibility of employing RPAs combined with AI with the guidelines, instructions, and manuals of the Aeronautics Command (COMAER). To achieve this, a qualitative methodology was adopted, based on the analysis of official documents from the Air Force, specialized bibliographic sources, and contemporary case studies, such as the Russia–Ukraine war and the conflict between Israel and Hamas. The investigation included a review of institutional regulations and journalistic records concerning the use of RPAs with AI in military operations. In addition to normative analysis, relevant technical aspects were considered, such as the ability to operate in swarm formations, resistance to electromagnetic interference, and the use of cameras and sensors for real-time data collection and analysis. Furthermore, a target recognition software capable of identifying visual patterns in real images obtained during operational activities was applied, contributing to the validation of the concepts discussed. The study focused on demonstrating how the integration of AI into RPAs can contribute to more efficient, secure, and comprehensive operations, aligned with COMAER's operational needs.

Keywords: RPAs; AI; Surveillance; Defense; Military Operations.

INTRODUÇÃO

O uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs) vem sendo difundido em diversas áreas: construção civil, indústria de energia, turismo, agropecuária, hobby, mineração, segurança pública, dentre outras (Chamayou, 2015). Essa tendência também é notória nas Forças Armadas (FFAA), que visam à implementação de novas tecnologias para aprimorar a segurança de suas instalações e do território nacional, locais potencialmente visados por agentes hostis, exigindo a adoção de soluções para mitigar riscos de invasões, furtos e potenciais danos à vida. Em razão disso, as ARPs surgem como ferramentas estratégicas, capazes de ampliar a vigilância, aumentar a precisão nas ações de reconhecimento e fornecer suporte simultâneo às tomadas de decisão, sobretudo quando integradas às operações militares.

No âmbito desta pesquisa, considera-se operação militar toda ação realizada em missões de guerra, de segurança interna ou manobra militar, sob responsabilidade direta de autoridade militar, de acordo com o Glossário das Forças Armadas (Ministério da Defesa, 2016). Nesse contexto, além

de seu emprego na aviação para Inteligência, Vigilância e Reconhecimento (IVR), as ações apoiadas pelas ARPs podem ser enquadradas em três vertentes destacadas pelo Comando da Aeronáutica (COMAER): a Segurança das Instalações, a Polícia da Aeronáutica e a Autodefesa de Superfície (Ministério da Defesa, 2024c).

Para a Diretriz do Comando da Aeronáutica (DCA 1-1), a Segurança das Instalações (Seg Inst) é a aplicação de meios da Força Aérea que assegurem a proteção dos bens considerados essenciais ao cumprimento da missão institucional (Ministério da Defesa, 2024c). Esta atividade se tornou desafiadora em Organizações Militares (OMs) que possuem extensões perimétricas expressivas, dificultando ou até mesmo inviabilizando a realização das rondas patrimoniais contínuas em toda a sua área ou em setores estratégicos para a preservação dos ativos sensíveis, comprometendo a eficácia das ações de vigilância ao expor vulnerabilidades principalmente por causa da cobertura limitada das zonas de responsabilidade (Bagley, 2012).

A Polícia da Aeronáutica (PA) utiliza meios da Força Aérea para garantir a ordem e a disciplina nas instalações militares e em áreas de interesse da instituição (Ministério da Defesa, 2024c). Por sua vez, a Autodefesa de Superfície (ADS) utiliza recursos para detectar, identificar e neutralizar ameaças terrestres, aéreas ou navais que representem risco às áreas sensíveis ou a pontos estratégicos, utilizando tanto meios cinéticos quanto não cinéticos, incluindo ações contra sistemas aéreos não tripulados (Ministério da Defesa, 2024c). Subsidiariamente, destaca-se a Tarefa de IVR, vinculada à Aviação, que possui a missão de prover consciência situacional às forças amigas a respeito de fatores e condições em áreas de interesse, possibilitando a tomada de decisão e protegendo informações e capacidades próprias (Ministério da Defesa, 2024c).

Nesse cenário, a aplicação de tecnologias de drones com intersecção de Inteligência Artificial (IA), que utiliza algoritmos de aprendizado de máquina para coleta e interpretação de dados, revela-se como uma alternativa promissora para complementar as operações de caráter militar. Tal conjuntura é viável, pois, segundo Pimentel *et al.* (2024), é possível desenvolver ARPs autônomos dotados de visão computacional para identificar invasores, proporcionando um suporte mais eficiente ao monitoramento de áreas de caráter público e privado.

Ademais, o crescente emprego desse vetor em conflitos contemporâneos denota a busca dos países por aprimorar essas tecnologias para finalidades de reconhecimento e ataques precisos. Surge assim a necessidade de analisar os métodos de emprego de ARPs para complementar as operações militares com intuito de assegurar as áreas de interesse da FAB, alvos estratégicos, que exigem soluções tecnológicas avançadas para sua segurança e defesa.

Desta forma, o presente estudo abordou o uso de IA em drones para complementar missões de inteligência, reconhecimento, ataques estratégicos e o monitoramento de Organizações Militares (OMs), conforme as diretrizes e manuais da Força Aérea Brasileira (FAB). Para tanto, tornou-se necessário compreender os principais perfis para uso operacional dessas aeronaves, no que tange seu emprego para atividades de reconhecimento, vigilância, ataque a alvos fixos e apoio à proteção de áreas sensíveis, consoante evidenciado nas fontes analisadas.

Nessa perspectiva, a pesquisa analisou a aplicabilidade das ARPs em diferentes tipos de missões militares, levando em conta sua capacidade de coleta e processamento de dados, seu papel no fornecimento de consciência situacional e sua contribuição para a eficácia das operações em áreas estratégicas, principalmente em conflitos internacionais. Além disso, foram investigadas suas aplicações práticas nos cenários das operações militares contemporâneas (Rosa; Silva; Ribeiro, 2024) e em simulações realizadas no âmbito da Aeronáutica.

Delineados os aspectos preliminares, foi realizada uma análise sobre o emprego de ARPs integradas à IA em operações e exercícios militares previstos pelo Comando da Aeronáutica (COMAER), contribuindo, assim, no aperfeiçoamento de estratégias mais eficientes na proteção de áreas sensíveis no contexto militar.

Como parte da metodologia proposta, este estudo aplicou um software de reconhecimento automático de alvos, baseado na oitava versão do modelo YOLO (YOLO-v8), cuja aplicação nos registros operacionais do 1º Curso de Operador Militar de Aeronave Remotamente Pilotada (1º COMARP) visou fornecer subsídios práticos para a validação dos conceitos analisados, o que consolidam a consistência das discussões realizadas.

Nesse viés, a pesquisa buscou responder à seguinte questão: “Quais são os impactos do emprego de ARPs equipadas com câmeras, integradas à IA, que podem se alinhar às atuais diretrizes, instruções, manuais e normas de segurança do COMAER para apoio às operações militares?”

À luz dos aspectos delineados no resumo, na introdução, nas considerações e nas problemáticas apresentadas, o estudo possui o objetivo geral de analisar o emprego de ARPs equipadas com câmeras, integradas à IA, que podem se alinhar às atuais diretrizes e manuais de segurança do COMAER para apoio às operações militares. Para alcançá-lo, foram adotados os seguintes objetivos específicos:

A) Pesquisar as atuais diretrizes e manuais vigentes do COMAER, referentes ao emprego de ARPs para apoio às operações militares.

B) Investigar fontes científicas e jornalísticas contendo relatos de experiências sobre o emprego de drones e IA em operações militares e sua possível aplicação de acordo com os manuais e diretrizes da FAB.

C) Identificar, por meio de uma análise SWOT, as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças associadas ao emprego de ARPs com IA, à luz das normas da FAB.

D) Aplicar um modelo experimental baseado em IA (YOLO-v8) para reconhecimento automático de alvos em vídeos operacionais, analisando sua viabilidade prática.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS

O termo "drone" é o mais popular no vocabulário comum, enquanto, na esfera militar, utiliza-se expressões como "Veículo Aéreo Não Tripulado" (VANT), "Aeronave Remotamente Pilotada" (ARP) ou "*Unmanned Combat Aerial Vehicle*" (UCAV) para se referir a esses equipamentos, armados ou não (Chamayou, 2015). Além dos veículos aéreos, existem drones terrestres, marítimos, submarinos e subterrâneos, operados remotamente e sem tripulação (Oliveira, 2018). Esses dispositivos podem ser comandados manualmente, com operadores humanos, ou agirem autonomamente por meio de sistemas robóticos e softwares de Inteligência Artificial (IA), sendo possível combinar ambas as formas de controle para mitigar interferências eletrônicas (Sistemas de Armas, 2023).

Atualmente, esses veículos são empregados tanto em tempos de guerra quanto de paz, em missões que vão desde a vigilância até o emprego armado. O uso crescente de drones em operações vem permitindo neutralizar alvos a longas distâncias, preservando a integridade física dos operadores. Esse conceito é reforçado pelo oficial da Força Aérea Americana, David Deptula, que destacou um princípio estratégico essencial: "A verdadeira vantagem dos sistemas de aeronaves não pilotadas é que permitem projetar poder sem projetar vulnerabilidade" (Chamayou, 2015, p. 14). Nessa perspectiva, Rosa, Silva e Ribeiro (2024) destacam que conflitos recentes evidenciam a importância crescente dos veículos não tripulados no campo de batalha.

Conflitos recentes como a Guerra de Nagorno-Karabakh, em 2020, a Guerra na Ucrânia, iniciada em 2022, e a recente incursão do Hamas em Israel, no ano de 2023, demonstraram uma expansão significativa no uso de drones por forças militares em combate.

Equipamentos pequenos, de aproximadamente 5 kg, têm sido utilizados por pequenas frações de tropa em seus engajamentos (Rosa; Silva; Ribeiro, 2024, p.9).

A evolução das ARPs em atividades de cunho militar foi acelerada a partir da Guerra do Vietnã com a produção dos drones de reconhecimento “*Lightning Bugs*” pela empresa Ryan, com intuito de evitar que as tripulações fossem mortas ou capturadas (Chamayou, 2015). A inovação tornou viável que, no presente, tais dispositivos fossem aprimorados, oferecendo uma perspectiva mais ampla do ambiente operacional. Por consequência, as ARPs são utilizadas em dois processos fundamentais para a segurança e defesa: a coleta de dados por meio de sensores e câmeras e ações com artefatos bélicos, como mísseis explosivos ar-terra (Oliveira, 2018).

Essa tecnologia tem sido empregada tanto por governos quanto por atores não estatais, em particular grupos terroristas, como o Estado Islâmico na Guerra da Síria (2011), consolidando-se como um recurso imprescindível nos conflitos modernos, deixando de ser uma exceção (Andreatta, 2022). Além disso, o emprego de Sistemas Aéreos Remotamente Pilotados (SARP) passou a ser elemento relevante nos debates geopolíticos atuais, especialmente no que se refere à projeção de poder aeroespacial, conforme apontado por Rosa (2023), ao analisar o impacto estratégico dessas tecnologias no reposicionamento militar e nas novas doutrinas operacionais.

1.2 CLASSIFICAÇÃO DE EMPREGO DOS DRONES

As ARPs podem ser divididas em dois tipos principais e são classificadas em relação à sua plataforma, uma delas é a asa fixa (decolagem horizontal), que é projetada para ter maior autonomia e sustentação à medida que se desloca, podendo voar em maior altitude e tem mais resistência às condições climáticas (Sistemas de Armas, 2023). Por outro lado, a asa rotativa (decolagem vertical), que combina diversas hélices para otimizar a sustentação e elevação, requer menor tempo de treinamento operacional (Medeiros, 2007), aspectos que tornam essas aeronaves adequadas para uma variedade de aplicações, que são definidas pelo propósito tático (Rosa; Silva; Ribeiro, 2024).

O modelo de asa fixa, que se assemelha aos aviões convencionais, é utilizado principalmente em missões de longa distância e de período prolongado, em contrapartida os multirotores podem ser subdivididos em tricópteros, quadricópteros, hexacópteros e octocópteros e apresentam uma melhoria na capacidade de manobra (Rosa; Silva; Ribeiro, 2024). Com base nessas características, pode-se organizar as diferentes formas de emprego desse modal aéreo em

três categorias: o sensoriamento remoto; a decapitação de lideranças; e ataque contra alvos (Rosa; Silva; Ribeiro, 2024).

1.2.1 Sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto é o método de coleta de informações sobre a superfície terrestre e de maneira remota, sem exigir contato direto (Kotlyakov; Komarova, 2007). As ARPs podem identificar, inseridos em um Teatro de Operações (TO), forças inimigas em posições fortificadas e áreas urbanas, e obterem tais informações via sensoriamento remoto, ampliando a consciência situacional e influenciando o processo de "inteligência", o qual tem como finalidade de coletar e analisar informações a respeito do adversário que contribuam para tomada de decisões operacionais e estratégicas (Rosa; Silva; Ribeiro, 2024).

Entre as aplicações notáveis nesse método, o RQ-4 Global Hawk (Figura 1), projetado e desenvolvido pelos Estados Unidos, possui a capacidade de operar em elevadas altitudes, por mais de 30 horas, e captura imagens de alta resolução, quase em tempo real, coletando imagens de extensas áreas geográficas no TO, tendo também sua versão "Bloco 30" incorporado por sensores eletro-ópticos, infravermelhos, radar de abertura sintética (SAR) e inteligência de sinais em várias frequências (Força Aérea dos Estados Unidos, 2014).



Figura 1 RQ-4 Global Hawk utilizado para o sensoriamento remoto

Fonte: Recuperado de <https://11nq.com/tcGja>

Outro caso relevante é o drone russo Orlan-10, empregado na operação militar especial na

Ucrânia desde 2022, é projetado para missões de reconhecimento aéreo, observação, monitoramento, busca e salvamento, treinamento de combate, interferência, detecção de sinais de rádio e rastreamento de alvos em áreas de difícil acesso (Airforce Technology, 2023). Este ARP possui uma câmera de luz do dia, câmera térmica, câmera de vídeo e transmissor de rádio em pod giroestabilizado sob sua fuselagem, fornecendo inteligência em tempo real, mapas 3D, vigilância e reconhecimento aéreo de alvos no solo (Airforce Technology, 2023).

No Brasil, a Força Aérea Brasileira (FAB) iniciou suas atividades com aeronaves não tripuladas em 2010, incorporando o modelo israelense RQ-450, capaz de captar imagens diurnas e noturnas e transmitir informações em tempo real para os Centros de Controle, principalmente em missões de sensoriamento remoto, inteligência, vigilância e reconhecimento (Força Aérea Brasileira, 2013). Em 2022, a Marinha do Brasil passou a operar os drones SARP-E Scan Eagle, ampliando suas capacidades de reconhecimento e vigilância ao incorporar novas formas de empregar seus meios aeronavais (Poder Naval, 2022). No mesmo ano, o Exército Brasileiro recebeu seu primeiro drone de vigilância, o NAURU 1000C, que deverá ser equipado com mísseis até 2027 (O Globo, 2024b).

1.2.2 Decapitação de lideranças

A decapitação é o tipo de missão que ARPs podem realizar para eliminar lideranças, geralmente utilizada contra grupos terroristas, gerando um clima de insegurança entre os integrantes que poderiam assumir o comando, enfraquecendo, assim, a estrutura de poder dessas organizações (Rosa; Silva; Ribeiro, 2024). Projetado pelos Estados Unidos para missões de inteligência, vigilância, reconhecimento e eliminação de alvos, o MQ-9 Reaper é equipado com armamentos como o míssil 114 Hellfire, além de sensores visuais avançados para identificação de alvos, adequado para a guerra irregular e para missões de decapitação de lideranças (Força Aérea dos Estados Unidos, 2025).

Uma ação que exemplifica essa tática ocorreu em novembro de 2020, o Mossad, serviço secreto israelense, eliminou Mohsen Fakhrizadeh, principal cientista do programa de armas nucleares iranianas (Mota, 2021). Para essa missão, utilizou-se um drone com softwares de IA, câmeras e uma metralhadora controlada remotamente, fatores que permitiram o disparo preciso e sem a necessidade de operador no local, demonstrando o elevado grau de sofisticação dos sistemas autônomos empregados para eliminação seletiva de alvos em contextos estratégicos (Mota, 2021).

Nos cenários de guerra contemporânea, essa tática ultrapassa o escopo dos embates assimétricos, como o enfrentamento entre Israel e Hamas, e apresenta transformações significativas. Seu uso expandiu-se para a neutralização de combatentes em diferentes contextos, a exemplo do que se observa na atual guerra entre Ucrânia e Rússia.

1.2.3 Ataque a alvos

O ataque a alvos apresenta particularidades que o diferenciam da estratégia de decapitação, uma vez que é considerado que os alvos não se deslocam e, em termos de alcance, os drones de ataque a alvos são capazes de atingir áreas longínquas no território inimigo, ultrapassando a região onde os combates ocorrem na superfície (Rosa; Silva; Ribeiro, 2024).

Na guerra em curso entre Rússia e Ucrânia, observa-se que ambos os lados têm utilizado de forma semelhante as ARPs, operando em missões de inteligência, vigilância e reconhecimento. No entanto, há uma tendência crescente de seu emprego tático em ofensivas a infraestruturas críticas, como exemplificado pelo uso do drone iraniano Shahed 136 pelas forças russas, muito empregado por realizar ataques precisos, inclusive noturnos, impactando o moral das tropas inimigas, indo além de sua aplicação estritamente tática (Eugénio, 2023).

Os elementos discutidos até aqui evidenciam a maximização da eficiência e o fortalecimento das capacidades das ARPs. Na sequência, será explorada a contribuição da IA para as operações militares que utilizam esses meios.

1.3 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM ARPs

1.3.1 Eficiência operacional e coleta de dados

Segundo Cozman, Plonski e Neri (2021), a IA refere-se a qualquer programa capaz de representar conhecimentos e raciocinar a partir de convicção, que aprendam e interajam com o ambiente e tomem decisões, realizando essas atividades, ou pelo menos algumas delas, em um nível elevado de complexidade, conseguindo interpretar de maneira correta informações externas, aprender com elas e empregar esse conhecimento. Sob essa ótica, a IA “É a ciência e a engenharia de fabricação de máquinas inteligentes, especialmente programas de computador inteligentes”

(McCarthy, 2007, p. 2), utilizando-se de sistemas autônomos para compreender a inteligência humana.

Há características que são usuais a todos os sistemas de IA, sendo elas: capacidade de raciocínio; aprendizagem com os erros e acertos para proceder de maneira eficaz no futuro; reconhecimento de padrões visuais, sensoriais e comportamentais; e capacidade de aplicar raciocínios nas situações cotidianas (Intelbras, 2020).

Essa tecnologia pode integrar-se a dispositivos como câmeras e sensores, incluindo-se também ARPs e outros equipamentos. Na conjuntura militar, Marin e Krajcikova (2016) afirmam que a vigilância de países europeus têm empregado drones combinando IA e operação manual. Essas ferramentas vêm sendo implementadas tanto no patrulhamento de fronteiras, utilizando VANTs de asa fixa, quanto no policiamento com maior precisão e detalhe em áreas específicas por meio de quadrópteros, podendo ser empregados múltiplos dispositivos simultaneamente para monitorar diversos pontos de interesse, um método conhecido como *Swarm* (Oliveira, 2018).

Quando combinadas as tecnologias mencionadas, a IA “é capaz de reagir às informações das câmeras e dos sensores, atuando como um vigilante com 100% de atenção e 100% de eficiência a qualquer hora do dia ou da noite.” (Oliveira, 2018, p. 209). A sinergia entre drones, sensores e IA não só tem revolucionado o monitoramento no campo militar, mas consoante Nunes (2021) aponta para um impacto profundo nas relações internacionais.

A IA de uma forma geral e a IA aplicada a equipamentos militares, vai com certeza ter um grande impacto nas relações internacionais, e conseqüentemente no Direito Internacional e no DIH. A competição entre potências militares que têm investido na IA, leva a uma vantagem estratégica significativa, que vai alterar de forma imprevisível a maneira como se desenrolarão os conflitos armados a partir do século XXI (Nunes, 2021, p. 164).

No panorama atual, as nações com destaque econômico e militar têm ampliado significativamente o uso de estratégias baseadas em IA com o objetivo de aperfeiçoar suas capacidades de defesa e segurança. A esse respeito, o Resumo da Estratégia de Inteligência Artificial de Defesa dos Estados Unidos de 2018 ressalta que países como China e Rússia vêm realizando investimentos expressivos em IA para fins militares, suscitando ameaças às vantagens operacionais e tecnológicas vigentes, que fazem a adoção da IA indispensável (Estados Unidos da América, 2018). Esse avanço está diretamente vinculado a dois aspectos essenciais no emprego de sistemas autônomos, como as ARPs, e que serão objeto de análise: a eficiência operacional e a coleta de dados.

A eficiência operacional, segundo o Glossário das Forças Armadas, é o potencial de uma unidade operacional para atender, de maneira eficiente e com economia de meios, todas as missões de confronto predeterminadas em sua base doutrinária (Ministério da Defesa, 2016). Em contraste com os humanos, cujas habilidades podem se deteriorar sem a prática constante e que estão sujeitos à fadiga e limitações cognitivas, podendo comprometer a constância na execução de tarefas, os drones com IA mantêm um desempenho contínuo e eficiente, salientando uma das principais vantagens desse emprego: a consistência operacional. Além de substituir a mão de obra humana, esses sistemas também aprimoram a eficiência das operações (Brock, 2017).

Apoiando-se nessa concepção, no contexto de operações conjuntas, a interação mediante interface homem-máquina permite a gestão eficiente da demanda de trabalho ao longo da missão, otimizando a performance humana na supervisão das atividades e diminuindo a carga de trabalho, aumentando a eficiência operacional (Heard; Adams, 2019), porquanto esses sistemas autônomos irão desempenhar suas atividades sem acompanhamento direto, possibilitando reorientar os recursos humanos para tarefas prioritárias (Horowitz, 2018).

Particularmente, tratando-se da coleta de dados, ARPs integradas a sistemas de IA são capazes de recolher e analisar um enorme volume de dados, provenientes de sensores ópticos e de outros dispositivos embarcados. Uma das abordagens mais sofisticadas nos sistemas de IA é a Aprendizagem Profunda, ou *Deep Learning*, amplamente utilizada em reconhecimento facial e detecção de padrões em dados visuais e auditivos. Em um estudo conduzido por Rohan, Rabah e Kim (2019), utilizou-se Redes Neurais Convolucionais, um modelo de algoritmo de Aprendizagem Profunda, em uma ARP para identificar e acompanhar alvos, demonstrando uma taxa de precisão de 98% na detecção de objetos e 96,5% no rastreamento de alvos.

Dessa maneira, a visão computacional, responsável por capacitar máquinas a compreender informações visuais e aprimorar a captação de dados em ARPs, desempenha como função primordial a análise da cena e a compreensão de situação (McEnroe; Wang; Liyanage, 2022), corroborando com o fato da incorporação dessas tecnologias em aeronaves não tripuladas potencializarem a identificação, a busca e o reconhecimento de objetos.

1.4 EMPREGO DE ARP EM CONFLITOS

1.4.1 Guerra Russo-Ucraniana

A guerra Russo-Ucraniana, iniciada com a invasão da Rússia ao território ucraniano em fevereiro de 2022, resgatou características da Primeira Guerra Mundial (1914-1918) no combate terrestre, marcado pela estagnação no fronte de batalha e o uso de trincheiras, conhecida como guerra de exaustão ou de atrito (Schossler, 2023). Ao mesmo tempo, diferencia-se pela corrida entre os dois países que buscam o desenvolvimento de tecnologias para alcançarem a superioridade aérea e garantirem vantagens estratégicas no TO, de modo que a ARP é a tecnologia mais utilizada para realizar ataques a tropas e instalações militares, pois “o investimento em drones é estratégia de longo prazo, que levou em conta a capacidade da indústria de tecnologia do país em produzir os equipamentos mais baratos que artilharia aérea” (Torralba, 2024).

As ARPs têm sido amplamente empregadas nesse conflito armado moderno, como os conhecidos FPV (*First-Person View*) utilizados pela infantaria ucraniana e russa (Figura 2), oferecendo vigilância, precisão e eficiência nas operações militares (Zafra *et al.*, 2024). Isso se deve à capacidade de não colocar diretamente vidas humanas em risco, além de reduzir os custos na realização de manobras militares, devido à grande concentração de sistemas antiaéreos nas linhas de frente.

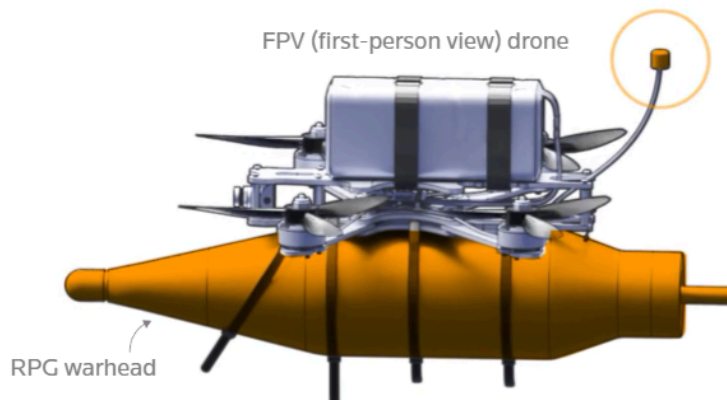


Figura 2 Drone FPV utilizado no conflito entre Rússia e Ucrânia

Fonte: Recuperado de <https://www.reuters.com/graphics/UKRAINE-CRISIS/DRONES/dwpkeyjwkp/>

No Exército ucraniano, a unidade “Código 9.2” é especializada em ataques furtivos com aeronaves não tripuladas, lançando minas sobre inimigos e áreas controladas pelo adversário, reivindicando em 2023 a autoria de ataques a trincheiras e tropas que ali estavam posicionadas, além da destruição de um tanque T-80, um canhão S21 e um veículo MTU-90 em uma única operação, que foi divulgada no Youtube pela própria unidade (O Globo, 2024a). Apesar desses

sucessos, os novos sistemas de guerra eletrônica têm se mostrado a maneira mais eficaz de neutralizar as ARPs, reduzindo a vulnerabilidade a esse vetor, (Zafra *et al.*, 2024).

Para contornar tal situação, alguns países estão desenvolvendo VANTs de última geração equipados com IA, capazes de detectar e travar em seus objetivos sem a necessidade de comunicação com o operador, tornando-os livres de interferência, impulsionando sua utilização autônoma para identificação dos alvos (Figura 3) por russos e ucranianos (Zafra *et al.*, 2024).

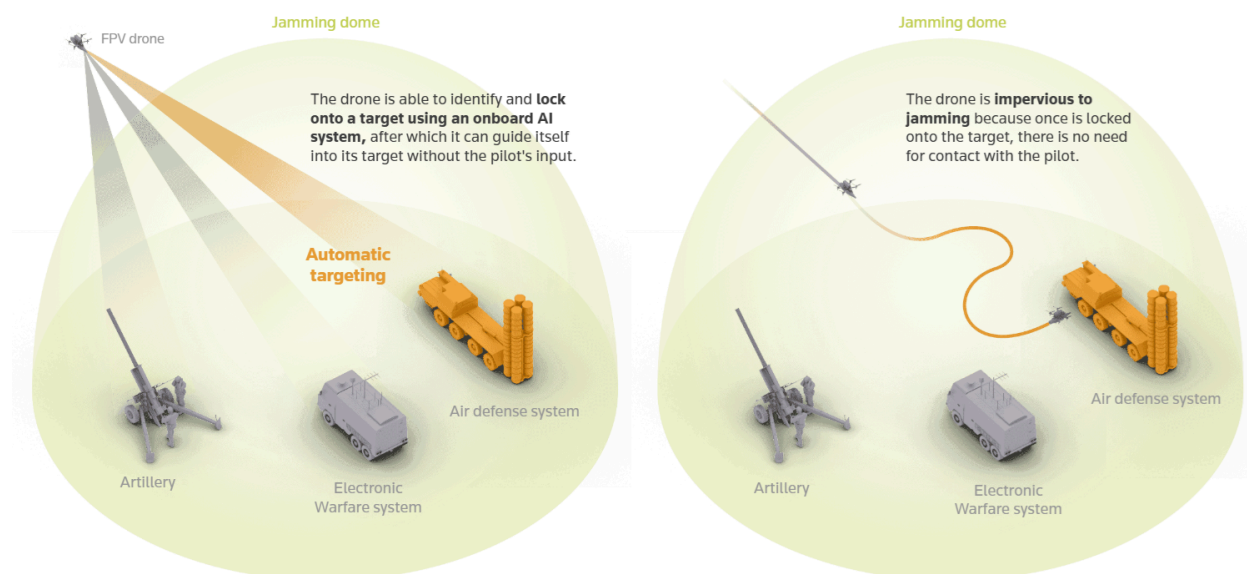


Figura 3 Drone que está sendo desenvolvido para contornar sistemas de Guerra Eletrônica

Fonte: Recuperado de <https://www.reuters.com/graphics/UKRAINE-CRISIS/DRONES/dwpkeyjwqpm/>

Há uma tendência de utilização dessa tecnologia em formações maiores, operando em *Swarm*, permitindo que diversos dispositivos trabalhem em conjunto para realizar manobras militares complexas, como no ataque russo para lançar um ataque sobre a capital ucraniana Kiev (Varghese, 2022). Assim, enquanto os pilotos humanos enfrentam grandes dificuldades no controle simultâneo de drones, o uso de IA possibilita a operação de centenas deles, com cada ARP capaz de planejar seus próprios movimentos e prever as ações dos demais (Varghese, 2022). Essa abordagem foi evidenciada por ataques de longo alcance instaurados pela Ucrânia, utilizando drones equipados com IA, em instalações militares e refinarias de petróleo dentro da Rússia (Hunder, 2024).

Sob esse enfoque, em 2024, um drone ucraniano realizou uma das operações mais profundas no território russo, alvejando uma refinaria a mais de 1.100 quilômetros da fronteira, o que foi possível graças à integração da IA, que identifica a geografia, auxilia a navegação e dispensa comunicação externa, reduzindo as chances de ser bloqueado (Cotovio; Sebastian; Goodwin, 2024).

Como desdobramento, a IA foi inserida por ambos os lados nesse conflito, de maneira que por meio das imagens e gravações realizadas pelos próprios drones, os modelos de IA são treinados para identificar alvos, recursos já são utilizados por milhares de ARPs para se conduzirem aos seus alvos sem ser demandado o guiamento por um operador humano (CNN Brasil, 2024).

1.4.2 Conflito Árabe-Israelense

O conflito árabe-israelense é uma disputa de longa duração que envolve questões territoriais, religiosas e políticas entre israelenses, palestinos e outras nações árabes na região do Oriente Médio que, antes do Estado de Israel ser estabelecido, era conhecida como Palestina (Taublib, 2020). Os enfrentamentos perduram desde a criação do Estado de Israel, com tensões constantes em torno do controle de territórios disputados, como a Cisjordânia, Faixa de Gaza e Jerusalém Oriental. No momento, a violência entre o exército israelense e grupos palestinos armados, como o Hamas, têm gerado grandes perdas civis de ambos os lados, além da instabilidade na região (Silva, 2023).

Os confrontos entre Israel e o Hamas ocorrem predominantemente na região urbana e densamente povoada de Gaza, onde os combates elevam os riscos para a população civil (DW, 2023). Diante disso, as Forças de Defesa de Israel (FDI) têm empregado novas tecnologias, como drones e softwares de IA, para realizar operações mais precisas e reduzir o envolvimento direto de tropas israelenses em áreas de risco, transformando a natureza do conflito. Essas ARPs, integradas à IA e treinadas em milhares de horas para identificar objetos e pessoas, também são utilizadas para localizar áreas de lançamento de foguetes (Newman, 2023).

Parte expressiva do conflito ocorreu na rede de túneis subterrâneos construída pelo Hamas, conhecida como "Metrô de Gaza", usada para armazenar armas e suprimentos, movimentar combatentes, realizar emboscadas e proteger-se dos ataques aéreos, dificultando as operações militares israelenses (Berlinger, 2023). Para mapear esses locais, Israel utilizou drones com IA, incluindo um modelo da startup Robotican, capaz de operar no subterrâneo dentro de uma caixa robótica⁴ os túneis até o limite das comunicações (UOL Notícias, 2024). Além dessas utilizações, Israel empregou drones do modelo Thor, de voo quase silencioso, contra alvos do Hamas, caracterizando possivelmente a primeira vez que foi operada IA em combate contra beligerantes humanos (Garattoni, 2024).

⁴ Refere-se a uma estrutura de proteção que abriga o drone durante sua utilização, é voltado a proteger o equipamento contra impactos e danos, especialmente em operações subterrâneas.

Consolidada a importância das ARPs em conflitos internacionais, é necessário compreender seu emprego no contexto nacional, com ênfase na atuação da FAB e nas práticas e diretrizes adotadas.

1.5 EMPREGO DE ARP NA FAB

A FAB teve suas primeiras experiências com ARPs em 2010 e, já em 2011, incorporou duas unidades do modelo RQ-450 Hermes, de fabricação israelense, que passaram a operar em missões reais (Força Aérea Brasileira, 2013). A partir de 2022, as aeronaves RQ-900, igualmente adquiridas pela FAB, participaram de exercícios operacionais e desempenharam as missões para as quais foram projetadas: inteligência, vigilância e reconhecimento (Wiltgen, 2022).

Visando expandir as capacidades operacionais para preservar e cumprir a missão institucional do COMAER, foi desenvolvido o Plano de Capacidades da Aeronáutica (PCA), que define os programas e projetos estratégicos a serem implementados, dentre os quais se destaca o Projeto SARP (Ministério da Defesa, 2024d). Esse projeto prevê a incorporação dos SARPs no âmbito da FAB, com o propósito de complementar ou substituir aeronaves tripuladas no desempenho das mesmas missões, devido ao seu menor custo operacional e de suas características de penetração e furtividade (Ministério da Defesa, 2024d). Ademais, é estabelecido que esses sistemas devem possuir capacidade de operação e controle em rede, ampla autonomia de ação e capacidade de empregar armamentos inteligentes em cenários de guerra convencional e em conflitos de natureza irregular, como armamentos ar-solo e ar-ar (Ministério da Defesa, 2024d). O uso dessas aeronaves também tem se expandido para outras áreas da FAB, com ênfase nas atividades desenvolvidas pela Infantaria da Aeronáutica, detalhadas a seguir.

1.6 EMPREGO DE ARP NA INFANTARIA DA AERONÁUTICA

Constatou-se que, no Brasil, desde 2013, em razão dos eventos que ocorreriam da Copa do Mundo e das Olimpíadas, as Forças Armadas passaram a adotar aeronaves não tripuladas para exercício de funções policiais, de vigilância de áreas e para levantamento de dados de inteligência, com intuito de prover proteção e segurança para a sociedade (Salles, 2018).

No contexto da FAB, a Diretriz de Comando da Aeronáutica 1-1 (DCA 1-1), que estabelece a doutrina básica da FAB, utiliza como exemplo o amplo uso de ARPs por ambos os lados no

conflito entre Rússia e Ucrânia, intensificando as hostilidades (Ministério da Defesa, 2024c). A Diretriz também ressalta a utilização dessas aeronaves por grupos como Hamas, Estado Islâmico, Houthis e por parte da Jihad Islâmica Palestina em ataques ao território israelense, modificando a dinâmica do confronto e impactado a estabilidade regional (Ministério da Defesa, 2024c).

Com vistas a preservar a soberania nacional, a mesma Diretriz define como Proteção da Força como a tarefa voltada a garantir o resguardo do pessoal, das instalações, do material, das comunicações e das informações, por meio de todas as medidas indispensáveis para proteger a Força de toda ameaça e preservar, assim, o poder de combate da FAB (Ministério da Defesa, 2024c). Nesse viés, a Infantaria da Aeronáutica, no âmbito das atividades operacionais, é co-responsável pela Proteção da Força, atuando em áreas de difícil acesso e envolvendo-se em combate aproximado, com ações ofensivas e defensivas terrestres (Ministério da Defesa, 2024a).

É responsável por proteger o pessoal, os conhecimentos, os equipamentos e as instalações do COMAER de ataques cinéticos terrestres, perpetrados por criminosos comuns, agentes de inteligência, sabotadores, agentes perturbadores da ordem pública (APOP), terroristas, organizações criminosas (OCRIM) e forças militares terrestres, aeroterrestres e anfíbias, por meio do emprego da força (Ministério da Defesa, 2024a, p. 11).

A Infantaria da Aeronáutica, conforme a DCA 125-5, é capaz de realizar ações de Força Aérea, como: Autodefesa de Superfície, Defesa Antiaérea, Busca e Salvamento, Guiamento Aéreo Avançado, Ação Direta, Segurança das Instalações, entre outras essenciais para a segurança e a eficácia das operações militares (Ministério da Defesa, 2024a). Para otimizar a aquisição de equipamentos e capacitação de combatentes, esse quadro foi dividido em quatro áreas de atuação: Operações Especiais; Autodefesa de Superfície; Defesa Antiaérea; e Busca e Salvamento (Ministério da Defesa, 2024a).

Em resposta à necessidade de decisões eficazes no combate e na proteção de diversas áreas, o manual da Força Aérea, DCA 125-26, que regulamenta o uso de aeronaves não tripuladas pela Infantaria da Aeronáutica, enfatiza a importância dessas tecnologias para salvaguardar os militares em operações (Ministério da Defesa, 2024b). A mesma Diretriz também estabelece os procedimentos em atividades específicas da Infantaria da Aeronáutica e os diversos cenários de emprego possíveis, mas podem ser divididos em três principais tipos de ação: Segurança das Instalações (Seg Inst); Polícia da Aeronáutica (PA); e Autodefesa de Superfície (ADS) (Ministério da Defesa, 2024b).

1.6.1 Segurança das Instalações

No âmbito da Segurança das Instalações, a expressiva extensão territorial das OMs e suas diversas características topográficas, hidrográficas e de vegetação podem dificultar ou até inviabilizar as rondas no perímetro das OMs (Ministério da Defesa, 2024b). Quando há indícios de movimentação suspeita em áreas de baixa visibilidade e de difícil acesso, os militares enviados para averiguar o local podem ficar vulneráveis a emboscadas (Ministério da Defesa, 2024b).

Em vista disso, destaca-se a necessidade de utilizar ARPs para coletar imagens em tempo real, possibilitando a execução de atividades operacionais com maior segurança e eficiência dos militares responsáveis pela segurança, complementando os sistemas de vigilância e a Seg Inst (Ministério da Defesa, 2024b). Entre as atividades contempladas pelas ARPs na Seg Inst, destacam-se: vigilância perimetral em áreas distantes; rondas patrimoniais em áreas pouco acessíveis; controle das ações das equipes de reação; e apoio de informação às equipes de reação (Ministério da Defesa, 2024b).

1.6.2 Polícia da Aeronáutica

Na ação de PA, algumas das missões que podem ser realizadas são: Policiamento Ostensivo; Posto de Bloqueio e Controle de Vias (PBCV); Posto de Segurança Estático; Garantia da Lei e da Ordem (GLO); e Operação de Controle de Distúrbios (OCD) (Ministério da Defesa, 2024b). Nessas atividades, as ARPs podem apoiar patrulhas eventuais, patrulhas mobilizadas por outras equipes terrestres ou por sentinelas posicionadas no terreno, contribuindo na verificação de movimentações suspeitas e de eventuais riscos em tempo real (Ministério da Defesa, 2024b). Assim, o registro das imagens captadas contribui como evidência para comprovar a legitimidade do uso da força em procedimentos de repressão, colaborando para a preservação da imagem pública do COMAER (Ministério da Defesa, 2024b).

1.6.3 Autodefesa de Superfície

Sob a ótica da ADS, as aeronaves não tripuladas podem ser utilizadas para vigilância em vias de acesso, regiões estratégicas e locais de interesse que estejam em áreas remotas para fornecer dados sobre tropas inimigas detectadas, incluindo coordenadas geográficas e imagens em tempo

real, superando a velocidade de outros métodos (Ministério da Defesa, 2024b). Esses veículos também podem apoiar o reconhecimento, auxiliando através da coleta de imagens no planejamento das missões de segurança e defesa e reforçando a proteção das forças desdobradas no terreno através do patrulhamento aéreo (Ministério da Defesa, 2024b).

A coleta de dados por meio desses vetores aéreos, principalmente em tempo real, confere aos comandantes de fração a vantagem de informações, permitindo a alocação mais eficiente dos meios para atingir os objetivos da operação e propiciando maior agilidade na realização das missões, além de expandir a capacidade de identificação de ameaças e reduzir a possibilidade de ações inesperadas por parte das forças inimigas (Ministério da Defesa, 2024b).

2 METODOLOGIA

2.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA

O presente trabalho investigou o papel de tecnologias modernas em manobras militares, com enfoque nos drones integrados à IA (embarcada e, ou em solo) e seus reflexos nas operações militares. Para isso, realizou-se uma revisão bibliográfica que analisou o emprego dessas tecnologias nas Forças Armadas, com base em fontes normativas e informativas (Gil, 2017). O estudo baseou-se em artigos científicos, livros, fontes jornalísticas e manuais das FFAA, que compuseram o arcabouço teórico necessário para compreensão do tema.

A investigação abordou os casos recentes de uso de ARPs, com ênfase na guerra Russo-Ucraniana, que evidenciou a rápida adaptação e implementação de novas tecnologias, com base em dados da Reuters e outras fontes jornalísticas. Também foi avaliado o emprego desses sistemas no conflito entre Hamas e Israel, especialmente na identificação e neutralização de ameaças, bem como no mapeamento subterrâneo. Além disso, foram analisados os manuais da FAB, como a DCA 125-5, a MCA 125-26 e a DCA 1-1 (Ministério da Defesa, 2024a, 2024b; 2024c), para compreender as doutrinas da FAB e as normas quanto ao uso dessas tecnologias nas operações militares e compará-las às práticas observadas no cenário internacional em operações com drones integrados à IA.

O método qualitativo foi adotado, utilizando-se da hierarquização da atividade de descrever, compreender, explicar e relatar de modo preciso a relação global e local de determinado evento (Gerhardt; Silveira, 2009). Foram elaborados quadros comparativos para organizar e identificar

tendências relevantes para a pesquisa.

Como parte da organização e compreensão dos aspectos relacionados ao uso de ARPs integradas à IA no contexto da FAB, foi aplicada a Matriz SWOT, acrônimo formado pelas iniciais dos termos em inglês *Strengths* (Forças), *Weaknesses* (Fraquezas), *Opportunities* (Oportunidades) e *Threats* (Ameaças), que possibilitou organizar, avaliar e estruturar forças, fraquezas, oportunidades e ameaças, permitindo a identificação de fatores internos e externos que impactam o emprego de ARPs com IA (Lobato *et al.*, 2009).

Ao final da análise qualitativa, foi aplicado o estudo de Ferreira (2023), que empregou um algoritmo de IA para identificar elementos visuais a partir de imagens aéreas coletadas, contribuindo para a validação da pesquisa documental. A aplicação se alinha ao tema do estudo, pois demonstrou a capacidade da IA em interpretar informações visuais em tempo real e ampliou a eficiência da análise de dados em operações militares. Tratou-se de uma investigação prática, com abordagem interpretativa e viés exploratório-experimental, ao utilizar um modelo computacional para analisar um problema concreto no contexto castrense (Gil, 2017).

Desta feita, iniciou-se a coleta de imagens com registros audiovisuais do 1º COMARP, captados pela aeronave DJI Mini 3, nas dependências da Base Aérea de Canoas (Figura 4). Sequencialmente, o vídeo foi fragmentado em frames, utilizando códigos na linguagem Python no ambiente de desenvolvimento PyCharm.



Figura 4 Frame coletado do registro audiovisual realizado durante 1º COMARP

Fonte: Recuperado do acervo pessoal do 1º Tenente SED Gustavo de Souza Morales, do GSD-SJ

Posteriormente, foi procedida a rotulação manual dos elementos visuais em cada frame, com o software Labellmg para atribuição das classes de interesse com as coordenadas (Figura 5).

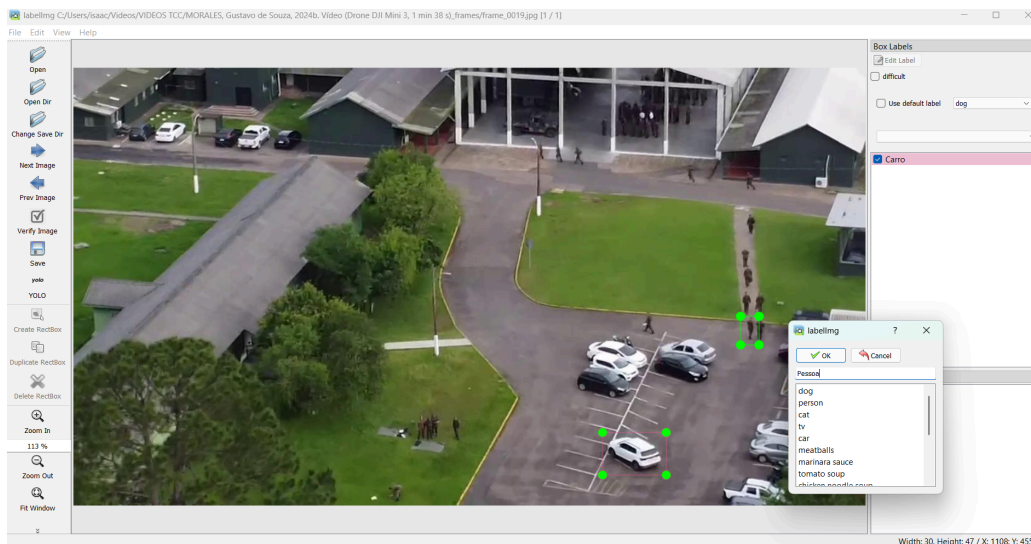


Figura 5 rotulação feita no Labellmg do registro audiovisual realizado durante 1º COMARP

Fonte: Recuperado de rotulação realizada pelo autor

Após isso, os dados rotulados foram utilizados para treinamento da YOLO-v8, que a partir do melhor treinamento encontrado, permitiu ao modelo reconhecer padrões e associá-los às classes previamente definidas. Por último, foi realizada a generalização, que se utilizou de registros capturados por drones, tanto do 1º COMARP, como também de um encontro de veículos realizado em Petrópolis-RJ (MJA Drone, 2017) devido a sua similaridade com as gravações do 1º COMARP, que permitiram a análise da acurácia do sistema.

2.1 METODOLOGIA APLICADA NO CENÁRIO DA FORÇA AÉREA BRASILEIRA

Com a finalidade de evidenciar o potencial da IA no apoio às operações militares, esta pesquisa aplicou um modelo voltado à identificação automática de elementos de interesse, na análise de imagens aéreas. A proposta explorou a capacidade de um sistema de IA processar grandes volumes de informações visuais com precisão e eficiência, utilizando registros obtidos em contexto operacional. A aplicação seguiu a metodologia de Ferreira (2023), que demonstrou a eficácia da rede *You Only Look Once* (YOLO) na identificação de alvos, a partir de imagens SAR, validando a confiabilidade do modelo.

Nesse escopo, a YOLO integra o conjunto de tecnologias atribuídas aos sistemas de IA, ao interpretar informações visuais, aprender com dados do ambiente e gerar respostas autônomas (Cozman; Plonski; Neri, 2021), sendo uma rede neural convolucional desenvolvida para detecção rápida e precisa de objetos, permitindo reconhecer padrões em imagens com elevado grau de precisão, além da acessibilidade, visto que o modelo possui código aberto e disponibiliza modelos pré-treinados, facilitando sua aplicação (Redmon *et al.*, 2016). Ademais, ela é capaz de processar em tempo real a 45 quadros por segundo e chegar a 155 na versão otimizada, com latência inferior a 25 milissegundos, atingindo mais que o dobro da precisão média frente a outros detectores, consolidando-se como relevante na detecção de objetos (Redmon *et al.*, 2016).

Utilizando a metodologia de reconhecimento automático, fez-se uso de um software, com base na oitava versão do modelo YOLO (YOLO-v8) para identificar alvos em registros audiovisuais do 1º Curso de Operador Militar de Aeronave Remotamente Pilotada (1º COMARP), realizado pelo Grupo de Segurança e Defesa de Canoas (GSD-CO) entre os dias 30 de setembro e 18 de outubro de 2024, nas instalações da Base Aérea de Canoas (BACO). Esses registros pertencem ao acervo do 1º Tenente SED Gustavo de Souza Morales (Morales, 2024a; 2024b), captando momentos da fase final de voo com o DJI Mini 3. O primeiro vídeo (Morales, 2024a) registrou uma sequência operacional simulada e o segundo (Morales, 2024b) destacou os aspectos técnicos da pilotagem. A análise da IA no tratamento dessas imagens evidencia a aplicação prática dos conceitos discutidos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 ALINHAMENTO COM AS DIRETRIZES DA FAB

De maneira a organizar, expor e comparar os dados obtidos na pesquisa com os manuais do COMAER, principalmente o MCA 125-26 (Ministério da Defesa, 2024b), foi elaborado um quadro comparativo, que sintetiza o emprego de ARPs com ou sem IA em diferentes tipos de missão: ataque a alvos; sensoriamento remoto; e decapitação de lideranças. Também se relacionou esses aspectos ao manual da FAB, MCA 125-26 (Ministério da Defesa, 2024b), e aos dois conflitos analisados na pesquisa (Quadro 1):

Quadro 1 Quadro comparativo entre emprego das ARPs, tipo de missão e presença de IA

Tipo de Missão	Ataque a Alvos	Sensoriamento Remoto	Decapitação de Lideranças
Emprego de ARPs presente em manuais da FAB/COMAER	Não especificado o alvo a ser realizado o ataque.	Uso de drone previsto como apoio à Seg Inst, PA, ADS e para o IVR.	Não especificado o alvo a ser realizado o ataque.
IA integrada aos ARPs prevista nos manuais da FAB/COMAER	Não prevê.	Não prevê.	Não prevê.
Emprego de ARPs - Conflito Russo-Ucraniano	Uso de drones FPV e Shahed 136 para ataques a alvos fixos e infraestrutura crítica.	Uso do ARP Orlan-10 para reconhecimento e coleta de imagens.	Uso de Drones para eliminar combatentes em trincheiras e posições inimigas.
Emprego de ARPs - Conflito Árabe-Israelense	Uso de drones com voo silencioso (modelo Thor) para ataques em áreas urbanas densas.	Uso de drones com IA mapeando túneis subterrâneos e localizando lançamentos de foguetes.	Uso de enxame de drones Thor com IA para neutralizar lideranças do Hamas.
IA integrada aos ARPs - Conflito Russo-Ucraniano	Uso de drones com IA para ataques autônomos e em enxames.	Uso de drones com IA para reconhecimento automático, navegação e coleta de dados.	Uso de drones com IA usada para identificação e eliminação de combatentes em trincheiras.
IA integrada aos ARPs - Conflito Árabe-Israelense	Uso de drones com IA utilizados para identificar e atingir alvos com precisão.	Uso de drones com IA para mapear túneis e vigilância em áreas urbanas.	Uso de drones do modelo Thor com IA para rastrear e atacar lideranças inimigas.

Fonte: elaboração própria com base em dados coletados na pesquisa.

Ao se comparar os dados do quadro acima, percebe-se que a doutrina da FAB contempla o emprego de ARPs, prioritariamente na Aviação e na Infantaria da Aeronáutica, nas áreas de Seg Inst, PA e ADS como também o emprego na Aviação para realizar ataques ar-ar e ar-solo, porém, não há menção ou previsão do emprego da IA integrada aos drones para controle autônomo ou para a coleta automatizada de dados.

O quadro evidencia que, embora as missões previstas nos manuais do COMAER estejam alinhadas às capacidades operacionais das ARPs integradas à IA, os documentos normativos não contemplam a integração da IA nesses sistemas. Observa-se que a convergência ocorre em relação ao emprego operacional, como inteligência, reconhecimento, vigilância e ataque, mas sem previsão específica do emprego da IA. Além disso, não são especificados os tipos de alvos nos quais serão empregados os armamentos ar-solo e ar-ar, seja contra tropas, decapitação de lideranças ou alvos

fixos, mas somente o sensoriamento remoto estaria em conformidade com as diretrizes vigentes atualmente.

Diante das não previsibilidades ou especificações identificadas nos documentos da FAB sobre a integração da IA ao emprego de ARPs, foi aplicada a matriz SWOT para organizar e estruturar os fatores envolvidos. A ferramenta permitiu mapear as principais forças e fraquezas (fatores internos), bem como as oportunidades e ameaças (fatores externos), alinhando essa tecnologia às diretrizes, manuais e diretrizes estabelecidas pelo COMAER (Quadro 2).

Quadro 2 Matriz SWOT do emprego das ARPs integradas à IA, consoante manuais do COMAER

Forças (<i>Strength</i>)	Fraquezas (<i>Weaknesses</i>)
<p>Maior eficiência operacional ao retirar limitações humanas e fadiga.</p> <p>Coleta e análise de grandes volumes de dados em tempo real, ampliando a consciência situacional.</p> <p>Apoio às missões de Seg Inst, PA, ADS e IVR.</p> <p>Redução da exposição das tropas em ambientes hostis.</p>	<p>Ausência de previsão doutrinária do COMAER para integração da IA aos ARPs.</p> <p>Falta de definição dos tipos de alvos para ataque com armamentos ar-ar e ar-solo.</p> <p>Necessidade de desenvolvimento de procedimentos específicos e documentos complementares.</p>
Oportunidades (<i>Opportunities</i>)	Ameaças (<i>Threats</i>)
<p>Modernização das operações militares alinhadas aos conflitos contemporâneos.</p> <p>Potencial para fortalecer a capacidade de defesa da FAB.</p> <p>Aplicação para reconhecimento, vigilância e segurança de áreas sensíveis.</p>	<p>Evolução de sistemas de guerra eletrônica que podem neutralizar ARPs.</p> <p>Corrida tecnológica de potências militares estrangeiras (ameaça à vantagem estratégica).</p> <p>Uso crescente de ARPs com IA por atores não estatais em conflitos.</p>

Fonte: elaboração própria com base nas fontes jornalísticas, na DCA 1-1 e MCA 125-26.

A partir da exposição da matriz SWOT, que organizou de maneira estruturada os principais elementos internos e externos relacionados ao emprego de ARPs equipados com IA e seu alinhamento com as diretrizes e manuais do COMAER, avançou-se para o diagnóstico SWOT (Quadro 3). Nesse quadro, é possível avaliar a capacidade de potencializar as oportunidades identificadas, sinalizar vulnerabilidades, identificar as forças que podem conter as ameaças do ambiente externo e identificar as debilidades que não permitem ou dificultam aproveitar as oportunidades (Lobato *et al.*, 2009).

A seguir, apresenta-se o diagnóstico resultante da matriz apresentada anteriormente, elaborado com base nas informações contidas no presente estudo, de forma a permitir a reflexão quanto ao alinhamento da tecnologia empregada às atuais diretrizes, instruções e normas do COMAER, que destaca os caminhos possíveis para o fortalecimento da doutrina e da capacidade operacional da instituição:

Quadro 3 Diagnóstico SWOT para análise do emprego das ARPs integradas à IA alinhadas aos manuais do COMAER

Cruzamento Estratégico	Diagnóstico
Forças X Oportunidades	O aumento da eficiência operacional, a coleta de dados em tempo real e a redução da exposição de tropas podem ser explorados como vantagens táticas e estratégicas em um cenário de modernização doutrinária, permitindo que a FAB atualize seus manuais e regulamentos para contemplar o emprego da IA em ARPs.
Fraquezas X Oportunidades	A ausência de previsão normativa para IA em ARPs nos manuais do COMAER pode ser enfrentada com a oportunidade de rever e complementar a MCA 125-26, a fim de integrar as novas capacidades tecnológicas às funções já previstas como IVR, Seg Inst e ADS.
Forças X Ameaças	As funcionalidades dos ARPs com IA, como vigilância contínua, operação em enxame (swarm) e visão computacional, podem ser decisivas frente à ameaça crescente de sistemas de guerra eletrônica e avanço tecnológico de potências militares rivais, que contribuem para mitigar riscos de inferioridade operacional.
Fraquezas X Ameaças	A inexistência de diretrizes específicas para o uso de IA, combinada com o avanço de adversários no emprego autônomo de drones, representa um risco estratégico para a FAB. Isso evidencia a necessidade de atualização da doutrina para evitar desvantagens operacionais em cenários reais de combate.

Fonte: elaboração própria com base nas fontes jornalísticas, na DCA 1-1 e MCA 125-26.

A análise até aqui desenvolvida evidencia que, por mais que a doutrina da FAB ainda não preveja a integração da IA aos veículos aéreos autônomos, através de uma atualização seria possível haver um claro alinhamento entre as capacidades oferecidas pelas ARPs com IA e a forma de emprego prevista em documentos do COMAER. Com base no estudo apresentado, no quadro comparativo entre emprego das ARPs, tipo de missão e presença de IA, na exposição da matriz SWOT e no diagnóstico SWOT, torna-se oportuno apresentar os impactos do emprego de ARPs

com IA nas operações militares que se relacionam diretamente com as diretrizes e normas do COMAER, conforme analisado nesta pesquisa. Dessa maneira, o quadro a seguir sintetiza os principais impactos:

Quadro 4 Impactos do Emprego de ARPs com IA que se alinham com as Diretrizes e Manuais do COMAER

Impacto do Emprego de ARPs com IA	Alinhamento às Diretrizes e Manuais do COMAER
Coleta e análise de dados em tempo real com IA, ampliando a consciência situacional e apoiando decisões operacionais.	Apoio às missões de Inteligência, Vigilância e Reconhecimento (IVR), PA, ADS e Seg Inst.
Operação autônoma para vigilância de perímetros e áreas estratégicas.	Apoio às atividades de Seg Inst e ADS.
Monitoramento autônomo e contínuo de áreas estratégicas com maior precisão e sem fadiga.	Seg Inst, ADS, PA e IVR.
Redução da exposição de militares em áreas de risco e ambientes hostis.	Seg Inst, ADS, PA.
Apoio ao planejamento tático por meio da coleta automatizada e interpretação de dados georreferenciados.	ADS e IVR.
Aprimoramento da capacidade de reconhecimento de terrenos de difícil acesso.	Seg Inst e ADS.
Redução da carga de trabalho humano e otimização da supervisão por meio da interface homem-máquina.	Alinhada ao conceito de Proteção da Força.

Fonte: elaboração própria com base nas fontes jornalísticas, na DCA 1-1 e MCA 125-26.

Após a análise dos elementos apresentados (Quadros 1 a 4), com ênfase no Quadro 4, observou-se que o emprego de drones com IA produz impactos significativos e compatíveis com as atuais diretrizes e manuais do COMAER. Nessa linha, por meio da IA, a coleta e análise de dados em tempo real seria capaz de ampliar a consciência situacional e oferecer suporte às missões de IVR, Seg Inst, ADS e PA. Destaca-se também a capacidade de operação autônoma para vigilância de perímetros e áreas estratégicas que contribui para a Seg das Inst e ADS, reduzindo a exposição de militares em ambientes hostis. Outro aspecto evidenciado é o apoio ao planejamento tático, possibilitado pela coleta automatizada e interpretação de dados georreferenciados, em consonância com as atividades previstas na ADS.

Além disso, a melhoria da capacidade de reconhecimento em terrenos de difícil acesso reforça ainda mais o emprego operacional da tecnologia analisada e a redução da carga de trabalho humano, por meio da interface homem-máquina, e evidencia o alinhamento com o conceito de Proteção da Força delineado nos documentos doutrinários analisados.

Assim, embora os documentos oficiais da FAB não prevejam de forma explícita o emprego da IA integrada aos ARPs, os resultados obtidos sugerem que as capacidades proporcionadas por esse emprego são compatíveis com as missões vigentes no cenário atual.

3.2 COLETA E TRATAMENTO DE IMAGENS COM IA

3.2.1 Análise dos Treinamentos e Escolha do Melhor Treinamento com IA

Este trabalho propôs a aplicação de um software experimental com base na arquitetura YOLO-v8 com objetivo de viabilizar a identificação de alvos e objetos de interesse em vídeos captados por ARPs. A iniciativa corrobora com a ideia de que a integração de IA e ARPs pode elevar a eficiência operacional e a acurácia na coleta e interpretação de dados, especialmente em cenários sensíveis. Para isso, os vídeos do acervo pessoal do 1º Ten SED Gustavo de Souza Morales (Morales, 2024a; 2024b), gravados durante a fase final do 1º COMARP, como também do encontro de carros em Petrópolis-RJ (MJA Drone, 2017), foram fragmentados, sendo cada frame rotulado por meio do software LabelImg, a fim de fornecer os dados necessários para as fases de treinamento, validação e generalização, com exemplo de rotulações expressas no Apêndice A — Visualização das Rotulações.

Realizou-se uma sequência de treinamentos utilizando o modelo YOLO-v8, passando pela técnica de validação cruzada K-Fold (Bishop, 2006), a qual consistia em dividir o total de imagens em diferentes partes, alternando esse total para um conjunto de validação, de generalização e as demais para um conjunto de treinamento (Ferreira, 2023). As etapas de treinamento, validação e generalização contaram, respectivamente, com: 1956; 587; e 692 alvos classificados como “Pessoa”. Para a classe “Carro”, os conjuntos contaram respectivamente com 1418, 500 e 508 alvos. Embora tenha sido utilizado o mesmo banco de dados para todas as etapas, as imagens utilizadas foram exclusivas para cada, ou seja, nenhuma imagem foi compartilhada entre os conjuntos, primordial para impossibilitar qualquer viés nos resultados do software. O processo de treinamento foi repetido quatro vezes e gerou quatro treinamentos diferentes, denominados: Primeiro

Treinamento (IA1); Segundo Treinamento (IA2); Terceiro Treinamento (IA3); e Quarto Treinamento (IA4). Todos eles foram treinados com conjuntos de imagens variadas e rotuladas, contendo as classes “Pessoa” e “Carro”.

Os treinamentos acima descritos foram avaliados com base no *mean Average Precision at Intersection over Union $\geq 50\%$* (mAP@50), métrica padrão que avalia a qualidade de detecção de objetos (Lin *et al.*, 2014). Os resultados dessa avaliação dos treinamentos (IA1, IA2, IA3, IA4) foram, respectivamente: 86,8%; 90,7%; 85,6%; e 84,2%. Dessa forma, o modelo IA2 foi selecionado para as etapas seguintes, pois apresentou o melhor desempenho na detecção dos alvos propostos.

Para complementar a avaliação, foi analisado o gráfico da Matriz de Confusão, apresentado no Apêndice B — Matriz de Confusão do Modelo IA2. Nessa matriz, os valores apresentados na diagonal principal correspondem aos casos corretamente classificados, associando corretamente 80,66% das ocorrências da classe "Pessoa" e 77,15% da classe "Carro", o que indica alto índice de acerto nas categorias de interesse. Por outro lado, os números dispostos fora dessa diagonal revelam os erros cometidos, como por exemplo os casos em que 12,37% das pessoas e 10,72% dos carros não foram detectados, além de 6,97% dos alvos que o software identificou erroneamente como “Pessoa” e 12,13% como “Carro”.

3.2.2 Generalização

A continuidade da aplicação do software prosseguiu para a etapa de generalização, fase fundamental para verificar se o modelo anterior é capaz de manter seu desempenho ao ser experimentado quando exposto a novos dados que não integraram as fases de treinamento e validação. Assim, o modelo foi apresentado a imagens diferentes daquelas utilizadas em outras etapas, possibilitando avaliar sua competência em aplicar o conhecimento desenvolvido para situações inéditas. Nesse contexto, é importante ressaltar que o processo de detecção e validação utilizados é o mesmo empregado na capacitação do software, gerando resultados através da matriz de confusão, permitindo avaliar o desempenho do modelo e indicando se a rede está apropriada ou se é necessário ajustes no treinamento ou ampliar a base de dados. Por meio da YOLOv8, foi possível observar o desempenho na detecção de alvos e a aplicação prática no contexto militar proposto. As matrizes e imagens resultantes estão dispostas nos apêndices da pesquisa.

Por meio da Matriz de Confusão, apresentada no Apêndice C — Matriz de Confusão da Generalização — observou-se que, do total de ocorrências, foram reconhecidas em 80,35% da classe "Pessoa" corretamente e em 66,67% da classe "Carro". Em contrapartida, houve também a detecção de falsos negativos, apresentando 12,79% de casos na classe "Pessoa" como fundo e 26,37% na classe "Carro", além de 6,86% em predições equivocadas em reconhecer o *background* como a classe "Pessoa" e 6,96% da classe "Carro". Essas ocorrências podem ter ocorrido devido a possíveis causas, como o limiar de confiança definido ter sido extremamente alto, levando o software a descartar detecções válidas por não ter atingido o mínimo de segurança.

Ademais, o desempenho do modelo pode ter sido prejudicado também pela limitação na diversidade de dados, o qual apresentou desequilíbrios, tanto em quantidade como na diversificação de amostras. Outro aspecto que precisa ser levado em consideração é se os objetos analisados no treinamento e os apresentados na generalização são semelhantes visualmente, como ângulos que estão dispostos e suas dimensões nas imagens, podendo, assim, apresentar desempenho inferior em cenários que sejam muito complexos ou com maior sobreposição de objetos.

Essa etapa apresentou um mAP@50 de 84%, resultado considerado como um desempenho satisfatório para um modelo experimental. A classe "Pessoa", quando avaliada separadamente, apresentou um mAP@50 superior ao da classe "Carro", atingindo, respectivamente, 91,8% e 76,2%. Para avaliar o modelo, utilizou-se de duas imagens de exemplo, provenientes dos resultados da generalização. A primeira imagem expressou a eficiência do modelo em detectar corretamente todos os alvos presentes e com índices de confiança elevados, resultado visível no Apêndice D — Visualização das Predições Corretas da Generalização. Esse resultado demonstrou a capacidade do software em realizar detecções precisas, principalmente quando as condições são favoráveis para a visualização dos elementos. No entanto, na segunda imagem analisada, dois alvos não foram detectados, embora a maioria dos elementos tenham sido identificados corretamente, conforme ilustrado no Apêndice E — Visualização das Predições Imprecisas da Generalização.

Essa situação expôs que o método ainda possui limitações e pode apresentar falhas em algumas ocasiões, como o caso da imagem analisada, a qual apresentava sobreposição de alvos. Dessa maneira, ambas as imagens apresentaram detecções coerentes e esperadas, embora alguns elementos não tenham sido identificados.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O emprego de ARPs integradas a IA tem recebido destaque no cenário militar internacional devido aos seus impactos, como a segurança de tropas, precisão de ações e aumento da eficiência operacional, especialmente no conflito russo-ucraniano e no Oriente Médio, situação que demonstra grande relevância no contexto das operações militares, uma vez que são testadas no Teatro de Operações, aperfeiçoando-se as estratégias de guerra e de segurança.

O trabalho investigou o emprego de ARPs integradas à IA em operações militares, com ênfase na compatibilidade com os documentos da FAB. A pesquisa partiu da seguinte problemática: "Quais são os impactos do emprego de ARPs equipadas com câmeras, integradas à IA, que podem se alinhar às atuais diretrizes, instruções, manuais e normas de segurança do COMAER para apoio às operações militares?". A partir desse questionamento, o objetivo geral definido foi de analisar o emprego de ARPs equipadas com câmeras, integradas à IA, que podem se alinhar às atuais diretrizes, manuais e normas de segurança do COMAER para apoio às operações militares, de onde foram delimitados também os objetivos específicos que nortearam o progresso da pesquisa.

Seguindo esse direcionamento, o estudo reuniu informações a partir de documentos normativos, livros especializados e fontes jornalísticas, que registraram o uso prático dessa tecnologia nos conflitos contemporâneos, como as guerras entre Rússia e Ucrânia e também entre Israel e Hamas. Foram analisadas a DCA 125-5, o MCA 125-26 e a DCA 1-1 (Ministério da Defesa, 2024a; 2024b; 2024c), objetivando confirmar os aspectos doutrinários e identificar as previsões normativas que orientam a aplicação dessas aeronaves no contexto operacional da FAB.

Nessa abordagem, verificou-se que as ARPs integradas à IA aumentam a eficiência operacional por meio da coleta e interpretação de dados em tempo real e do potencial de atuar com autonomia em ambientes hostis. O estudo também destacou que o emprego desse vetor ocorreu em três principais maneiras: sensoriamento remoto; ataque a alvos fixos; e decapitação de lideranças.

As informações foram sistematizadas em um quadro comparativo (Quadro 1), recurso metodológico que permitiu identificar a lacuna doutrinária existente, pois, embora o potencial de aplicação da IA esteja em consonância com as necessidades operacionais da FAB, ainda não há previsão ou diretriz específica para a integração da IA às ARPs utilizadas em nenhuma das áreas, atributo que limita seu aproveitamento em operações reais. Além disso, a matriz e diagnóstico SWOT (Quadro 2 e 3) evidenciaram vantagens táticas e estratégicas desse meio, o risco de obsolescência ou vulnerabilidade operacional e o alinhamento entre a doutrina da FAB e o emprego

real dessa tecnologia, tendo ainda espaço para desenvolvimento doutrinário e operacional.

A aplicação da rede YOLO-v8 nesta pesquisa apresentou, para um modelo experimental, um desempenho satisfatório devido à sua funcionalidade, pois identificou autonomamente os objetos de interesse nas imagens disponibilizadas. Essa prática demonstrou sua competência em reconhecer alvos apresentados em imagens desconhecidas, confirmando sua viabilidade no contexto operacional. Os resultados apresentados, tanto pelas imagens como por meio do gráfico, indicam que o modelo possui potencial, porém precisa ser aprimorado no quesito eficiência para que seja possível minimizar as ocorrências de falha na detecção, tendo margem para evolução.

Apesar das limitações, o método mostrou-se aplicável e operacionalmente consistente, evidenciando que é viável empregar essa solução para complementar as operações militares, comprovando sua empregabilidade no contexto analisado. Como recomendação para aplicações futuras em situações reais, é importante expandir o banco de dados e aprimorar as rotulações para reduzir os falsos negativos e maximizar seus resultados, além de ser dada continuidade à pesquisa, aplicando o modelo em ambientes variados e mais complexos, a fim de aumentar sua eficiência.

Em decorrência do cumprimento do objetivo principal e dos resultados alcançados, conclui-se que o emprego de ARPs integradas à IA apresenta impactos relevantes e alinhados às atuais diretrizes e manuais do COMAER. Entre os principais efeitos identificados, podemos destacar (Quadro 4): a coleta e análise de dados em tempo real, ampliando a consciência situacional e apoiando decisões operacionais; a operação autônoma para vigilância de perímetros e áreas estratégicas; o monitoramento contínuo e preciso sem a limitação da fadiga humana; a redução da exposição de militares em ambientes hostis; o apoio ao planejamento tático por meio da coleta automatizada e interpretação de dados georreferenciados; a otimização da capacidade de reconhecimento de terrenos de difícil acesso; e a redução da carga de trabalho humano mediante a melhoria da supervisão mediante o uso da interface homem-máquina.

Por fim, embora não exista previsão explícita para a integração da IA às ARPs nos manuais analisados, os resultados apontam que as capacidades dessa tecnologia são compatíveis com as missões de IVR, Seg Inst, ADS e PA. Verifica-se, contudo, uma lacuna doutrinária quanto à sua aplicação, sendo recomendável, em pesquisas futuras, que se dê continuidade ao tema, para definir missões e ações em diferentes cenários, formular procedimentos específicos e gerais e a atualização da MCA 125-26 (Ministério da Defesa, 2024b), com o intuito de se revisar e ajustar a doutrina vigente, fortalecer a mesma e alinhar a realidade dos conflitos contemporâneos às necessidades operacionais do COMAER.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho foi enriquecida pelo auxílio, pela orientação e pelo exemplo de diversas pessoas, às quais expresso minha sincera gratidão. Primeiramente à Deus, autor da minha fé, que me guiou e sustentou até aqui. Agradeço aos meus pais e à minha noiva por estarem sempre presentes, pelo incentivo e apoio incondicionais. Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Guilherme Augusto Spiegel Gualazzi, por me apoiar constantemente e por compartilhar seu conhecimento e experiências ao longo de todo o processo. Agradeço também ao meu coorientador, 1º Tenente Wellington Resende Ferreira, por todo o suporte e pelas contribuições fundamentais que enriqueceram essa empreitada. Agradeço ao 1º Tenente Gustavo de Souza Morales pela colaboração na disponibilização de imagens audiovisuais de seu acervo pessoal, que foram essenciais para o desenvolvimento e enriquecimento desta pesquisa. Por fim, sou grato a todos que, de alguma forma, colaboraram para a realização deste projeto.

REFERÊNCIAS

AIRFORCE TECHNOLOGY (Estados Unidos da América). **Veículo Aéreo Não Tripulado (UAV) Orlan-10**. 2023. Distribuído por Veredict. Disponível em:

<https://www.airforce-technology.com/projects/orlan-10-unmanned-aerial-vehicle-uav/?cf-view&cf-closed>. Acesso em: 21 jan. 2025.

ANDREATTA, André Luis Parodi. **A utilização do drone como Arma de Guerra**. 2022.

Publicada pela Revista Relações Exteriores. Disponível em:

<https://relacoesexteriores.com.br/o-drone-como-arma-de-guerra/#:~:text=Em%20outubro%20de%202020%2C%20tornou,de%20proced%C3%Aancia%20israelense%20e%20turca>. Acesso em: 11 set. 2024.

BAGLEY, Bruce. **Drug trafficking and organized crime in the Americas: major trends in the twenty-first century**. Washington: Woodrow Wilson International Center For Scholars, 2012. 22 p. Smithsonian Institution.

BERLINGER, Joshua. “ **Metrô de Gaza** ”: entenda a misteriosa rede de túneis subterrâneos usada pelo Hamas. entenda a misteriosa rede de túneis subterrâneos usada pelo Hamas. 2023. CNN Brasil. Disponível em:

<https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/metro-de-gaza-entenda-a-misteriosa-rede-de-tuneis-subterraneos-usada-pelo-hamas/>. Acesso em: 26 set. 2024.

BROCK, John W.; Army Command and General Staff College Fort Leavenworth Ks Fort Leavenworth United States. Why the United States must adopt lethal autonomous weapons systems. **US Army Command and General Staff College**, 2017.

BISHOP, Christopher M. **Pattern Recognition and Machine Learning**. [New York]: Springer, 2006. 738 p.

CHAMAYOU, Gregoire. **Teoria do Drone**. São Paulo: Cosac Naify, 2015. 288 p.

CNN Brasil. CNN. **Ucrânia coleta dados de guerra para treinar modelos de inteligência artificial**. 2024. Elaborado pela Reuters. Disponível em:

<https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/ucrania-coleta-dados-de-guerra-para-treinar-modelos-de-inteligencia-artificial/>. Acesso em: 17 fev. 2025.

COTOVIO, Vasco; SEBASTIAN, Clare; GOODWIN, Allegra. **Drones ucranianos treinados por IA perturbam a indústria energética da Rússia**. 2024. Elaborada por CNN Brasil. Disponível em:

<https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/drones-ucranianos-treinados-por-ia-perturbam-a-industria-energetica-da-russia/>. Acesso em: 17 fev. 2025.

COZMAN, Fabio G.; PLONSKI, Guilherme Ary; NERI, Hugo (org.). **Inteligência Artificial: avanços e tendências**. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados, 2021. 414 p.

DW. **Guerra Israel-Hamas** : tropas israelenses avançam para a Cidade de Gaza. 2023. Elaborado por DW. Disponível em: <https://www.dw.com/en/israel-hamas-war-israeli-troops-push-further-into-gaza-city/live-67280397#liveblog-post-67290720>. Acesso em: 27 set. 2024.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. U. S. Department Of Defense. **Summary of the 2018 Department Of Defense Artificial Intelligence Strategy**. []: U. S. Department Of Defense, 2018. 17 p. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmninnibpcapjpcglclefindmkaj/https://media.defense.gov/2019/feb/12/2002088963/-1/-1/1/summary-of-dod-ai-strategy.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2025.

EUGÊNIO, António. Soberania Tecnológica: o Exemplo da Ucrânia. **Nação e Defesa** , Lisboa, v. [1], n. 165, p. 63-79, ago. 2023. Quadrimestral. Propriedade, Edição e Sede da Redação: Instituto da Defesa Nacional. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/nacao/issue/view/1710/498>. Acesso em: 03 jan. 2025.

FERREIRA, Wellington. **Deteção automática de aeronaves em solo utilizando aprendizado profundo em imagens SAR**. 2023. - 182f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Lato Sensu) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

FORÇA AÉREA BRASILEIRA. **Reaparelhamento**: FAB recebe mais dois VANTs. 2013. Fonte: Agência Força Aérea. Disponível em: <https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/14101/REAPARELHAMENTO---FAB-recebe-mais-dois-VANTs>. Acesso em: 27 jan. 2025.

FORÇA AÉREA DOS ESTADOS UNIDOS. Departamento de Defesa dos Estados Unidos. **MQ-9 Ceifador**. 2025. Disponível em: <https://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104470/mq-9-reaper/>. Acesso em: 30 jan. 2025.

FORÇA AÉREA DOS ESTADOS UNIDOS. Departamento de Defesa dos Estados Unidos. **RQ-4 Global Hawk** . 2014. Disponível em: <https://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104516/rq-4-global-hawk/>. Acesso em: 20 jan. 2025.

GARATTONI, Bruno. **Israel usou enxame de drones autônomos para atacar alvos em Gaza** . 2024. Publicado por Super Interessante. Disponível em: <https://super.abril.com.br/coluna/bruno-garatttoni/israel-usou-enxame-de-drones-autonomos-para-atacar-alvos-em-gaza>. Acesso em: 13 set. 2024.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo (org.). **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. 114 p. Coordenado pela Universidade Aberta do Brasil – UAB/UFRGS e pelo Curso de Graduação Tecnológica – Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural da SEAD/UFRGS.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa** . 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

HEARD, Jamison; ADAMS, Julie A.. Multi-dimensional Human Workload Assessment for Supervisory Human–Machine Teams. **Journal Of Cognitive Engineering And Decision Making**, Thousand Oaks, Califórnia, v. 13, n. 3, p. 146-170, set. 2019. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/epub/10.1177/1555343419847906>. Acesso em: 25 fev. 2025.

HOROWITZ, Michael C.. Artificial Intelligence, International Competition, and the Balance of Power. **Texas National Security Review**, Austin, Texas, v. 1, n. 3, p. 36-57, maio 2018. Coordenada pelo Clements Center for National Security - University of Texas at Austin. Disponível em: <https://tnsr.org/2018/05/artificial-intelligence-international-competition-and-the-balance-of-power/>. Acesso em: 25 fev. 2025.

HUNDER, Max. **Ucrânia corre para criar drones de guerra com IA**. 2024. Reuters. Disponível em: <https://www.reuters.com/technology/artificial-intelligence/ukraine-rushes-create-ai-enabled-war-drones-2024-07-18/>. Acesso em: 03 set. 2024.

INTELBRAS ([São José]). **Vantagens de utilizar a Inteligência Artificial em Sistemas de CFTV IP**. 2020. Disponível em: <https://blog.intelbras.com.br/vantagens-de-utilizar-a-inteligencia-artificial-em-sistemas-de-cftv-ip/>. Acesso em: 15 ago. 2024.

KOTLYAKOV, V. M.; KOMAROVA, A. I.. **Dicionário de Geografia da Elsevier**: em inglês, russo, francês, espanhol e alemão. Moscou: North Holland, 2007. 5255 p.

LIN, Tsung-Yi *et al.* Microsoft COCO: Common Objects in Context. In: **EUROPEAN CONFERENCE ON COMPUTER VISION**, 13., 2014, Zurich. Lecture Notes in Computer Science. Cham: Springer, 2014. p. 740–755.

LOBATO, David Meneses *et al.* **Estratégia de empresas**. 9.ed. Rio de Janeiro: FGV, 2009.

MARIN, L.; KRAJCIKOVA, K.. **Deploying Drones in Policing Southern European Borders: Constraints and Challenges for Data Protection and Human Rights**, in Drones and Unmanned Aerial Systems: Legal and Social Implications for Security and Surveillance. Nova York: Springer, 2016.

MCCARTHY, John. **WHAT IS ARTIFICIAL INTELLIGENCE?** 2007. Stanford University. Disponível em: <http://jmc.stanford.edu/articles/whatisai/whatisai.pdf>. Acesso em: 02 set. 2024.

MCENROE, Patrick; WANG, Shen; LIYANAGE, Madhusanka. A Survey on the Convergence of Edge Computing and AI for UAVs: opportunities and challenges. **IEEE Internet Of Things Journal**, Piscataway, New Jersey, v. 9, n. 17, p. 15435-15459, 01 set. 2022. Bimestral. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9778241>. Acesso em: 05 mar. 2025.

MEDEIROS, F. A. **Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para aplicação em agricultura de precisão**. 2007. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

MINISTÉRIO DA DEFESA. Comando da Aeronáutica. Comando de Preparo. Diretriz do Comando da Aeronáutica nº 125-5, de 10 de setembro de 2024. **Conceito de Emprego da Infantaria da Aeronáutica**. [Brasília], 2024a. p. 7-26.

MINISTÉRIO DA DEFESA. Comando da Aeronáutica. Comando de Preparo. Manual do Comando da Aeronáutica nº 125-26, de 04 de março de 2024. **Emprego dos Sistemas de Aeronave Remotamente Pilotada em Proveito da Infantaria da Aeronáutica**. [Brasília], 2024b. p. 9-87.

MINISTÉRIO DA DEFESA. Comando da Aeronáutica. Estado-Maior da Aeronáutica. Diretriz do Comando da Aeronáutica nº 1-1, de 23 de dezembro de 2024. **Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira**. [Brasília], 2024c. p. 5-57.

MINISTÉRIO DA DEFESA. Comando da Aeronáutica. Plano Estratégico Militar da Aeronáutica nº 11-47, de 05 de junho de 2024. **Plano Estratégico Militar da Aeronáutica 2024 – 2033**. [Brasília], 2024d. p. 10-49.

MINISTÉRIO DA DEFESA. Estado-Maior Conjunto das Forças Armadas. Portaria Normativa no 9/GAP/MD, de 13 de janeiro de 2016. **Glossário das Forças Armadas**. 5. ed. Brasília, 21 jan. 2016. p. 13-288.

MJA DRONE. **Phantom filmando encontro de carros em Itaipava – Petrópolis – RJ**. Petrópolis, 2017. Vídeo (Drone DJI Phantom, 7 min 24 s), formato MP4; resolução 1280×720, 29.97 fps, colorido. 3º Encontro de Veículos Antigos em Petrópolis, Itaipava, Parque Municipal Prefeito Paulo Rattes, RJ. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=EF_2qv6yxaY. Acesso em: 26 abr. 2025.

MORALES, Gustavo de Souza. **1º COMARP (Curso de Operador Militar de Aeronave Remotamente Pilotada) – Voo Avançado Final**. Canoas, 2024a. Vídeo (Drone DJI Mini 3, 2 min 56 s), formato MP4; resolução 4K, colorido. Acervo pessoal do 1º Tenente SED Gustavo de Souza Morales, do GSD-SJ. Curso realizado no período de 30 de setembro a 18 de outubro de 2024 pelo Grupo de Segurança e Defesa de Canoas (GSD-CO), subordinado ao Comando de Preparo (COMPREP), nas instalações da Base Aérea de Canoas (BACO).

MORALES, Gustavo de Souza. **1º COMARP (Curso de Operador Militar de Aeronave Remotamente Pilotada) – Voo Avançado Final**. Canoas, 2024b. Vídeo (Drone DJI Mini 3, 1 min 38 s), formato MP4; resolução 4K, colorido. Acervo pessoal do 1º Tenente SED Gustavo de Souza Morales, do GSD-SJ. Curso realizado no período de 30 de setembro a 18 de outubro de 2024 pelo Grupo de Segurança e Defesa de Canoas (GSD-CO), subordinado ao Comando de Preparo (COMPREP), nas instalações da Base Aérea de Canoas (BACO).

MOTA, Renato. **Israel teria usado drone com inteligência artificial para assassinar cientista iraniano**. Olhar Digital, São Paulo, 19 set. 2021. Seção: Veículos e Tecnologia. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2021/09/19/carros-e-tecnologia/israel-usou-drone-com-inteligencia-artificial-para-assassinar-cientista-iraniano/>. Acesso em: 03 jun. 2025.

NEWMAN, Marissa. **Israel incorpora silenciosamente sistemas de IA em operações militares**. 2023. Bloomberg Línea. Disponível em:

<https://www.bloomberglinea.com.br/internacional/israel-incorpora-silenciosamente-sistemas-de-ia-e-m-operacoes-militares/>. Acesso em: 13 set. 2024.

NUNES, Ana Paula. A utilização de Drones armados e o Direito Internacional Humanitário. **Revista Jurídica Luso-Brasileira**, Ano, v. 7, n. 6, p. 147-180, 2021.

O GLOBO. '**Código 9.2**': Como uma unidade do Exército da Ucrânia usa drones para lançar bombas dentro da Rússia. 2024a. Por O Globo e agências internacionais. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/mundo/noticia/2024/05/22/codigo-92-como-uma-unidade-do-exercito-da-ucrania-usa-drones-para-lancar-bombas-dentro-da-russia.ghtml>. Acesso em: 05 fev. 2025.

O GLOBO. **Exército Brasileiro deverá ter drones equipados com mísseis até 2027**. 2024b. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/brasil/noticia/2024/07/09/exercito-brasileiro-devera-ter-drones-equipados-com-misseis-ate-2027.ghtml>. Acesso em: 28 jan. 2025.

OLIVEIRA, Ruy Flávio de. **Tecnologias aplicadas ao sistema de segurança**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S. A., 2018. 224 p.

PIMENTEL, Gabriel S.; MEDEIROS, Cristina A. de; LIMA, Thiago A.; FERREIRA, Andressa B.. DIMPE: Uma Proposta de um Drone Inteligente para Auxiliar no Monitoramento de Perímetro em Áreas de Segurança. In: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO, 20., 2024, Juiz de Fora. **Anais Estendidos**. [Porto Alegre]: Sociedade Brasileira de Computação – SBC, 2024. p. 226-229.

PODER NAVAL. **Marinha do Brasil recebe sistema de aeronaves remotamente pilotadas ScanEagle**. 2022. Redação Forças de Defesa. Disponível em: <https://www.naval.com.br/blog/2022/03/29/marinha-do-brasil-recebe-sistema-de-aeronaves-remotamente-pilotadas-scanegale/>. Acesso em: 27 jan. 2025.

REDMON, Joseph; DIVVALA, Santosh; GIRSHICK, Ross; FARHADI, Ali. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. In: **IEEE CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION (CVPR)**, 2016, Las Vegas. Anais [...]. Piscataway, NJ: IEEE, 2016. p. 779–788. Disponível em: https://www.cv-foundation.org/openaccess/content_cvpr_2016/html/Redmon_You_Only_Look_CVPR_2016_paper.html. Acesso em: 26 abr. 2025.

ROHAN, Ali; RABAH, Mohammed; KIM, Sung-Ho. Convolutional Neural Network-Based Real-Time Object Detection and Tracking for Parrot AR Drone 2. **IEEE Access**, Piscataway, New Jersey, v. 7, n. [], p. 69575-69584, 27 maio 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8723347>. Acesso em: 25 fev. 2025.

ROSA, Carlos Eduardo Valle (org.). **A Geopolítica Aplicada ao Poder Aeroespacial na Atualidade**. Rio de Janeiro: EDUNIFA, 2023. 78 p. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/377307548>. Acesso em: 03 fev. 2025.

ROSA, Carlos Eduardo Valle; SILVA, Eduardo Araújo da; RIBEIRO, Pedro Barbezani Carvalho e. A Geoestratégia dos Drones Aéreos. **Revista de Geopolítica**, Natal, v. 15, n. 1, p. 1-21, 15 abr. 2024. Trimestral. Departamento de Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Disponível em:

<http://www.revistageopolitica.com.br/index.php/revistageopolitica/article/view/487>. Acesso em: 10 set. 2024.

SALLES, Eduardo Baldissera Carvalho. A Incorporação de Drones Para Vigilância De Espaços Urbanos Brasileiros: o uso pelas forças armadas e órgãos de segurança pública da união e do estado de santa catarina. **Revista de Direito, Governança e Novas Tecnologias**, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 83-103, dez. 2018. Semestral. PUCRS.

SCHOSSLER, Alexandre. **Por que o front na Ucrânia lembra a Primeira Guerra Mundial**.

2023. Elaborado por DW. Disponível em:

<https://www.dw.com/pt-br/por-que-o-front-na-ucr%C3%A2nia-lembra-a-primeira-guerra-mundial/a-65054191>. Acesso em: 27 set. 2024.

SILVA, Bruno Fabricio Alcebino da. **Israel e Palestina**: uma guerra sem fim. 2023. Brasil de Fato.

Disponível em: <https://www.brasildefato.com.br/2023/10/09/israel-e-palestina-uma-guerra-sem-fim>. Acesso em: 26 set. 2024.

SISTEMAS DE ARMAS (ed.). **Drones Táticos**. 2023. Disponível em:

<http://sistemasdearmas.com.br/drone/drone2tatico.html>. Acesso em: 26 set. 2024.

TAUBLIB, Elissa Griner. Guerra de discursos: um estudo comparado da cobertura jornalística do conflito árabe-israelense. **Revista Miguel**, Rio de Janeiro, v. [1], n. 2, p. 37-54, jun. 2020. Semestral. Departamento de Comunicação – PUC-Rio.

TORRALBA, Carlos. **Guerra (eletrônica) da Ucrânia**: entenda por que a Rússia está interferindo no sinal de GPS no Norte da Europa. Entenda por que a Rússia está interferindo no sinal de GPS no norte da Europa. 2024. O Globo. Disponível em:

<https://oglobo.globo.com/mundo/noticia/2024/05/04/guerra-eletronica-da-ucrania-entenda-por-que-a-russia-esta-interferindo-no-sinal-de-gps-no-norte-da-europa.ghtml>. Acesso em: 04 set. 2024.

UOL NOTÍCIAS (Brasil) (ed.). **Como a inteligência artificial já ajuda Israel a combater o Hamas em Gaza**. 2024. Com informações da AFP. Disponível em:

<https://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/rfi/2024/02/10/como-a-inteligencia-artificial-ja-ajuda-israel-a-combater-o-hamas-em-gaza.htm>. Acesso em: 13 set. 2024.

VARGHESE, Sanjana. **Ataques em massa de drones na Ucrânia prenunciam o "futuro da guerra"**. 2022. Fonte : Al Jazeera. Disponível em:

<https://www.aljazeera.com/news/2022/10/20/mass-drones-are-a-worry-for-the-future-of-warfare>. Acesso em: 27 set. 2024.

WILTGEN, Guilherme. **FAB realiza Exercício Operacional de Inteligência, Vigilância e Reconhecimento**. 2022. Publicado pela Defesa Aérea & Naval. Disponível em:

<https://www.defesaareanaval.com.br/aviacao/fab-realiza-exercicio-operacional-de-inteligencia-vigilancia-e-reconhecimento>. Acesso em: 20 abr. 2025.

ZAFRA, Mariano; HUNDER, Max; RAO, Anurag; KIYADA, Sudev. **Como o combate com drones na Ucrânia está mudando a guerra. 2024**. Reuters. Disponível em: <https://www.reuters.com/graphics/UKRAINE-CRISIS/DRONES/dwpkeyjwkpm/>. Acesso em: 03 set. 2024.

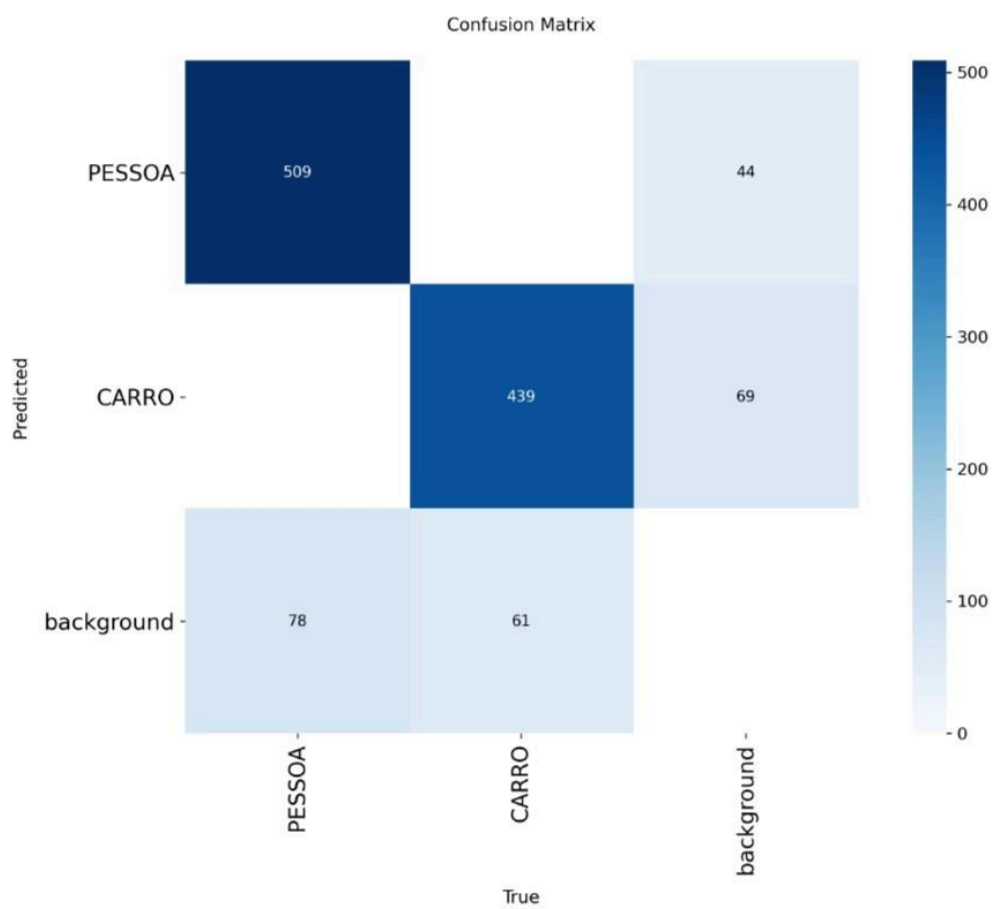
APÊNDICE A – VISUALIZAÇÃO DAS ROTULAÇÕES

As imagens apresentam as rotulações, marcadas manualmente e realizadas antes do treinamento da IA, representando a base de dados, as quais foram comparadas para avaliação do desempenho nas predições do modelo.



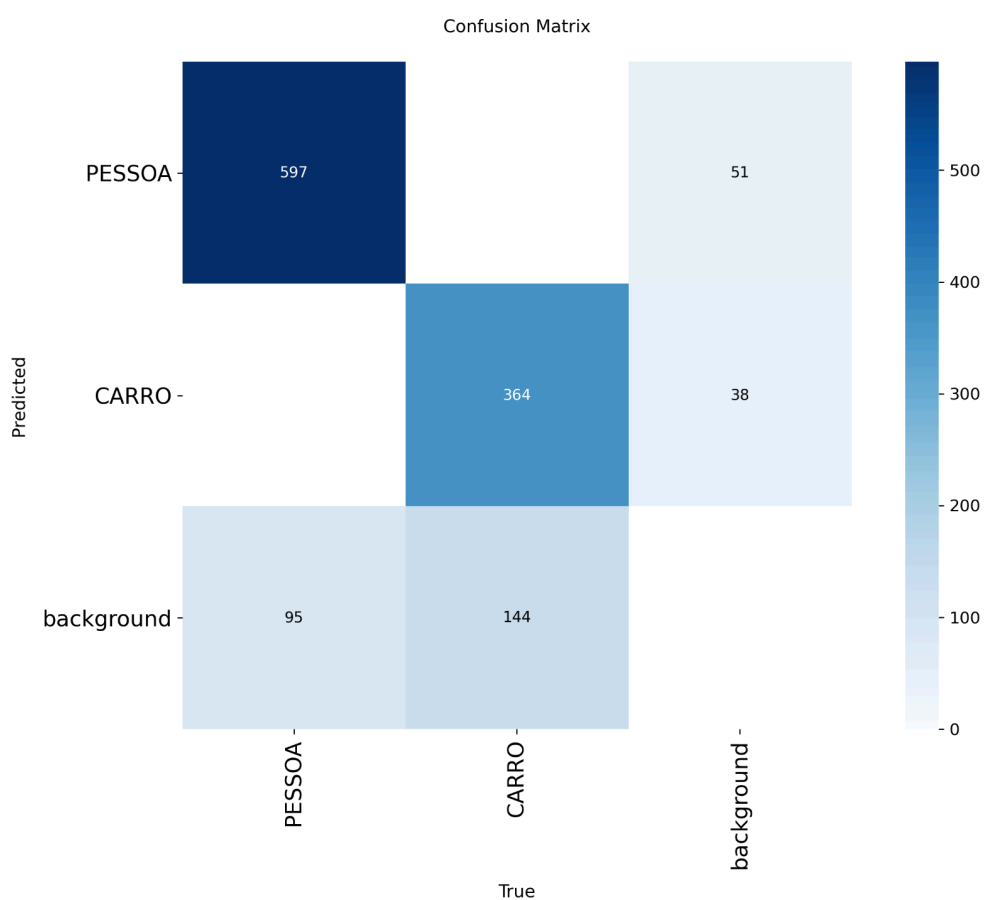
APÊNDICE B – MATRIZ DE CONFUSÃO DO MODELO IA2

A matriz permite uma análise qualitativa do desempenho e apresenta a comparação entre os rótulos reais (classes verdadeiras) e as previsões feitas pelo modelo, evidenciando tanto os acertos quanto os erros de classificação.



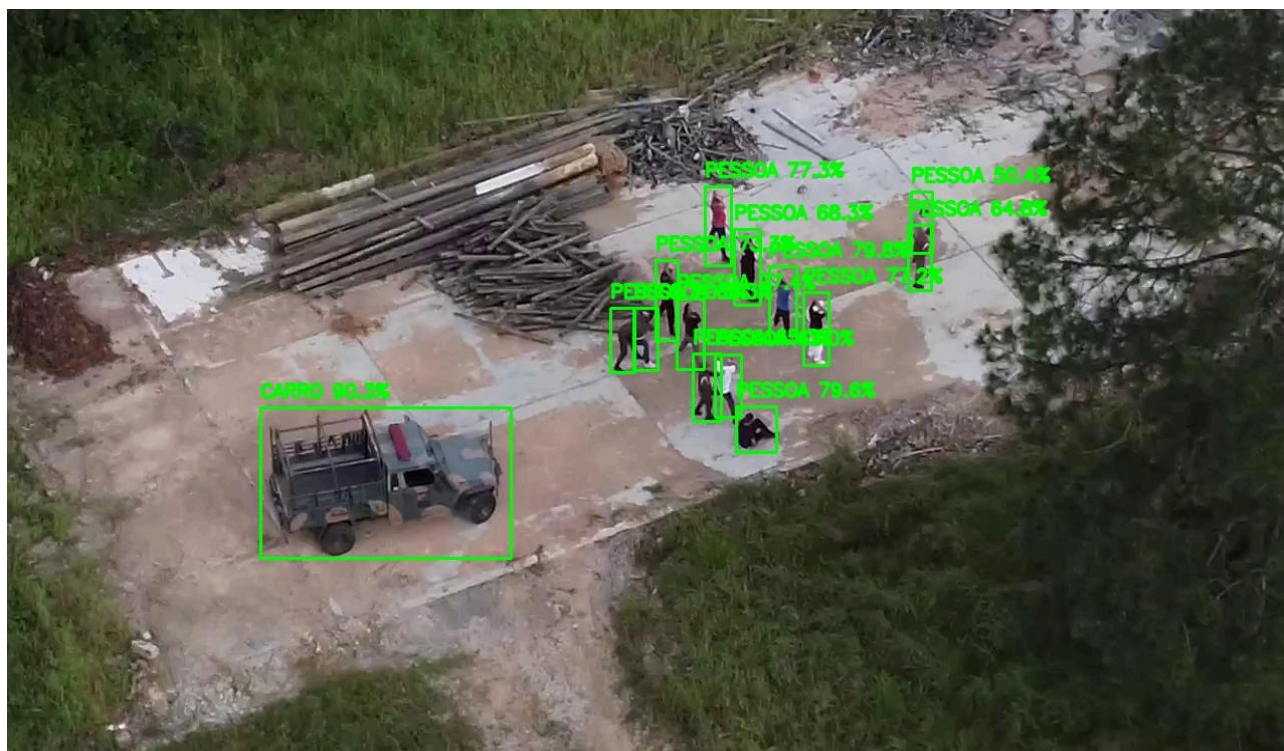
APÊNDICE C – MATRIZ DE CONFUSÃO DA GENERALIZAÇÃO

A matriz, utilizada também no treinamento do modelo, permite uma análise qualitativa do desempenho realizado na generalização, apresentando a comparação entre os rótulos reais (classes verdadeiras) e as previsões feitas pelo modelo, evidenciando tanto os acertos quanto os erros de classificação.



APÊNDICE D – VISUALIZAÇÃO DAS PREDIÇÕES CORRETAS DA GENERALIZAÇÃO

A imagem apresenta as predições e níveis de confiança atribuídos a cada predição das detecções realizadas, identificando corretamente os elementos na imagem apresentada.



APÊNDICE E – VISUALIZAÇÃO DAS PREDIÇÕES IMPRECISAS DA GENERALIZAÇÃO

A imagem apresenta as predições e níveis de confiança atribuídos a cada predição das detecções realizadas, porém verifica-se alguns elementos destacados em vermelho na imagem que não foram detectados.

