UFSM

InterAção

ISSN 2357-7975
ACESSO ABERTO

IA., Santa Maria, v. 17, n. 3, e98513, p. 1-30, 2026 • https://dx.doi.org/10.5902/2357797598513
Submissão: 29/08/2026 • Aprovação: 14/09/2026 • Publicação: 02/10/2026

Artigos Dossiê

Avaliação meteorológica com aeronaves remotamente pilotadas na Academia da Força Aérea

Meteorological assessment using remotely piloted aircraft at the Air Force Academy

Thiago Henrique Gomes Souto[I]
Gills Lopes Macedo Souza[I]

[I]Universidade da Força Aérea, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Resumo

Este artigo analisa a contribuição dos Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARP) para a segurança de voo na instrução aérea sob Regras de Voo Visual (VFR) na Academia da Força Aérea (AFA), visando prevenir a entrada inadvertida em condições meteorológicas por instrumentos (VFR2IMC). A pesquisa, de natureza aplicada e abordagem indutiva, examinou casos internacionais e ocorrências de VFR2IMC na AFA entre 2016 e 2025. Identificou-se um padrão de deterioração progressiva das condições visuais durante missões iniciadas sob regras visuais. Para mitigar esse risco e superar as limitações pontuais do METAR, propõe-se o parâmetro da Visibilidade Oblíqua Operacional (VOO), definido como a distância máxima perceptível em perspectiva oblíqua a partir da altura do tráfego VFR (1.000 ft AGL). A VOO é operacionalizada por uma escala ordinal de cinco níveis ancorada em imagens-padrão do aeródromo da AFA e estruturada no Boletim de Visibilidade Oblíqua Operacional (BVOO), alinhado ao Manual de Procedimentos do 1º Esquadrão de Instrução Aérea. Além disso, o estudo consolidou o arcabouço normativo e institucional necessário para operar SARP em aeródromo militar ativo, mediante a elaboração de Carta de Acordo Operacional (CAOp) baseada na MCA 56-5, a criação da Seção de SARP e o registro das aeronaves no SARPAS do DECEA. Conclui-se que o uso de SARP na avaliação meteorológica pré-voo é tecnicamente viável, normativamente amparado e integrável à rotina da AFA, aumentando a consciência situacional e reduzindo a exposição a riscos operacionais.

Palavras-chave: Aeronave remotamente pilotada; Visibilidade oblíqua operacional; Segurança de voo; Avaliação meteorológica

Artigo publicado por InterAção sob uma licença CC BY-NC-SA 4.0.

ABSTRACT

This article analyzes the contribution of Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) to flight safety in Visual Flight Rules (VFR) instruction at the Brazilian Air Force Academy (AFA), aiming to prevent inadvertent entry into instrument meteorological conditions (VFR2IMC). The applied, inductive research examined international case studies and VFR2IMC occurrences at AFA between 2016 and 2025. A pattern of progressive visual degradation was identified during missions initially started under visual rules. To mitigate this risk and address the point limitations of METAR reports, the study proposes the Operational Oblique Visibility (VOO) parameter, defined as the maximum distance perceptible from an oblique perspective at standard VFR pattern altitude (1,000 ft AGL). VOO is operationalized through a five-level ordinal scale iconographically anchored in reference images of AFA's aerodrome and structured within the Operational Oblique Visibility Bulletin (BVOO), aligned with the 1st Air Instruction Squadron Procedures Manual. Furthermore, the study consolidated the regulatory and institutional framework required to operate RPAS in an active military aerodrome through the establishment of an Operational Agreement Letter (CAOp) based on MCA 56-5, the creation of an RPAS Section, and aircraft registration in DECEA's SARPAS system. The study concludes that integrating RPAS into pre-flight meteorological assessments is technically feasible, regulatorily supported, and operationally integrable into AFA's routine, enhancing situational awareness and reducing exposure to operational risks.

Keywords: Remotely piloted aircraft; Operational oblique visibility; Flight safety; Meteorological assessment

1 INTRODUÇÃO

A Academia da Força Aérea (AFA) é a instituição de ensino superior da Força Aérea Brasileira (FAB) responsável pela formação dos Oficiais Aviadores, Intendentes e de Infantaria da Aeronáutica. No âmbito do Curso de Formação de Oficiais Aviadores (CFOAv), a maior parte das missões aéreas é conduzida sob Regras de Voo Visual (VFR), cuja execução se condiciona à apresentação das condições meteorológicas no aeródromo a partir dos requisitos mínimos de visibilidade e teto estabelecidos na Instrução do Comando da Aeronáutica ICA 100-12 – Regras do Ar (Brasil, 2024). Para a instrução aérea na AFA, esses parâmetros são complementados por critérios meteorológicos locais, tais como a definição de horizonte e o acúmulo de nuvens nas áreas de instrução, conforme disciplinado no Manual de Procedimentos do 1º Esquadrão de Instrução Aérea da AFA (MAPRO) (Brasil, 2026).

A segurança operacional da instrução aérea depende, dentre outros fatores, de uma avaliação meteorológica precisa, tempestiva e representativa das condições

específicas da área de operação. No caso da AFA, situada em Pirassununga-SP, o microclima regional apresenta significativa variabilidade nos períodos de outono e inverno, marcados pela presença de nevoeiros causados por névoa úmida, decorrente da proximidade com o Rio Mogi-Guaçu, e por névoa seca, associada a queimadas e à inversão térmica (Czarnecka; Nidzgorska-Lencewicz, 2017). Essas variáveis impõem dificuldades adicionais à avaliação prévia das condições meteorológicas locais.

Atualmente, essa avaliação é realizada pelos instrutores de voo com base em dados da Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica (REDEMET), de plataformas digitais de avaliação meteorológica e das informações fornecidas pela Torre de Controle do Destacamento de Controle do Espaço Aéreo de Pirassununga (DTCEA-YS). Em determinadas ocasiões, quando as condições apresentadas estão dentro dos limites mínimos para o voo VFR segundo a ICA 100-12, os instrutores recorrem à observação direta *in loco*, como estratégia complementar para verificar a continuidade segura da missão. Essa conduta, adotada sob condições meteorológicas marginais, pode expor tripulantes e aeronave a riscos operacionais.

Entre os riscos mais críticos associados a esse cenário destaca-se a entrada inadvertida em condições meteorológicas por instrumentos (*Instrument Meteorological Conditions* – IMC), evento conhecido como VFR2IMC (Ayiei; Murray; Wild, 2020). Tal situação ocorre quando o piloto, operando sob regras visuais, penetra inadvertidamente em áreas de nuvens, nevoeiro ou baixa visibilidade sem planejamento ou preparo para o voo por instrumentos. A literatura aponta esses eventos entre os mais letais da aviação, em razão da elevada probabilidade de desorientação espacial, perda de controle da aeronave e ocorrência de acidentes do tipo *Controlled Flight Into Terrain* (CFIT).

Paralelamente, cresce o interesse dos profissionais da aviação e da meteorologia pelo uso de tecnologias emergentes que ampliem a capacidade de observação atmosférica de forma segura, eficiente e de baixo custo. Entre elas destacam-se os Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARP), popularmente conhecidos

como drones, já empregados internacionalmente na coleta de dados meteorológicos, a exemplo dos Meteodrones (Meteomatics, 2025), do *Black Swift S0 Research UAS* e do *Black Swift S2 Data Collection UAS* (Black Swift Technologies, 2024) e do MetSprite, desenvolvido para o *National Centre for Atmospheric Science* (NCAS) do Reino Unido (Menapia, 2026). No caso da AFA, levantamentos preliminares com drones demonstraram a viabilidade técnica da captação de imagens aéreas em setores estratégicos do circuito de tráfego, com o objetivo de subsidiar análises meteorológicas visuais prévias ao voo, sem expor aeronaves e tripulações a riscos desnecessários.

A relevância desse desenvolvimento alinha-se às diretrizes do Planejamento Estratégico Setorial de Defesa (PESD) 2024-2035, aprovado pela Resolução CONSUG-MD nº 20/2024, notadamente ao Objetivo Setorial de Defesa 8, voltado a estimular o desenvolvimento científico, tecnológico e de inovação de interesse da defesa e a integração da tríplice hélice governo-indústria-academia (Brasil, 2024).

A partir dessa finalidade formula-se o problema de pesquisa: em que medida a utilização de SARP para avaliação meteorológica pode contribuir para a segurança de voo na instrução aérea da AFA? Em outras palavras, essa tecnologia traria contribuições positivas e consistentes para a tomada de decisão no contexto operacional do CFOAv?

O objetivo geral consiste em analisar como o emprego de SARP pode contribuir para a avaliação meteorológica do tráfego e das áreas de instrução aérea da AFA, ampliando a capacidade de observação e interpretação das condições meteorológicas locais e reduzindo a exposição das tripulações a riscos operacionais decorrentes de situações meteorológicas adversas. Como objetivos específicos, definiram-se:

a) estudar projetos internacionais sobre o uso de SARP na avaliação meteorológica;

b) analisar as ocorrências de VFR2IMC na aviação geral internacional e na AFA entre 2016 e 2025, com destaque para as condições meteorológicas e fatores contribuintes;

c) propor um protocolo técnico-operacional, instituído por Norma Padrão de Ação (NPA), para o uso de SARP no auxílio à avaliação meteorológica; e

d) avaliar os desafios para a implementação da tecnologia no contexto da instrução aérea militar.

Metodologicamente, a pesquisa é de natureza aplicada e abordagem indutiva. Segundo Marconi e Lakatos (2021, p. 108), no método indutivo “a aproximação dos fenômenos caminha geralmente para planos cada vez mais abrangentes, indo das constatações mais particulares às leis e teorias”. A investigação não parte de modelo teórico previamente estabelecido, mas elabora solução a partir da análise crítica da prática atual, da identificação de lacunas e da observação de boas práticas em contextos correlatos, reunindo observações empíricas, experiências operacionais e percepções institucionais para formular proposta aplicável, juridicamente segura e economicamente viável.

O artigo está estruturado em três seções de desenvolvimento, em que a primeira caracteriza o problema das ocorrências VFR2IMC, no panorama internacional e na AFA, e examina a literatura internacional sobre SARP aplicados à meteorologia. A segunda apresenta a fundamentação física e psicofísica da Visibilidade Oblíqua Operacional (VOO) e sua operacionalização por meio de escala ordinal ancorada iconograficamente. A terceira descreve o protocolo de coleta com SARP, o Boletim de Visibilidade Oblíqua Operacional (BVOO) e o arcabouço normativo-institucional construído para viabilizar a pesquisa de campo em aeródromo militar ativo, com destaque para a Carta de Acordo Operacional (CAOp).

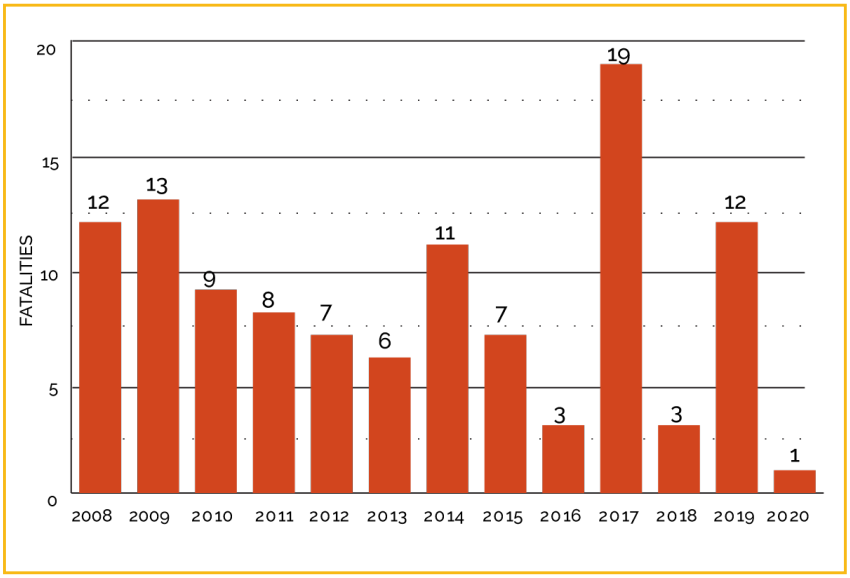
2 O PROBLEMA DAS OCORRÊNCIAS VFR2IMC E O USO DE SARP NA METEOROLOGIA

2.1 Ocorrências de entrada inadvertida em condições IMC (VFR2IMC): panorama internacional e o caso da AFA

A entrada inadvertida em condições meteorológicas por instrumentos durante operações VFR é amplamente reconhecida como um dos cenários operacionais de

maior criticidade na aviação. Embora represente parcela relativamente reduzida do conjunto total de ocorrências, esse tipo de evento apresenta elevada taxa de letalidade, associando-se de forma desproporcional a acidentes fatais (AOPA, 2023). Estudos do *Air Safety Institute* [1]demonstram que acidentes relacionados ao VFR2IMC apresentam índices de fatalidade significativamente superiores à média da aviação geral: a transição abrupta de condições visuais (VMC – *Visual Meteorological Conditions*) para um cenário que exige referências exclusivamente por instrumentos, sem preparo técnico ou cognitivo adequado, tende a resultar em rápida degradação da consciência situacional, desorientação espacial e perda de controle da aeronave (AOPA, 2023). Levantamentos estatísticos indicam que parcela substancial dessas ocorrências se desenvolve em condições meteorológicas marginais, próximas aos mínimos regulamentares (NTSB, 2021), com tendência recorrente de continuidade da missão sob expectativa de melhora localizada, decisão frequentemente influenciada por excesso de confiança, pressão operacional e subestimação da velocidade de degradação das condições (AOPA, 2023; Skybrary, [202-]).

Figura 1 – VFR e acidentes fatais em condições IMC por ano (EUA)



Fonte: AOPA (2026)

[1] Divisão de pesquisa e prevenção de acidentes da *Aircraft Owners and Pilots Association* (AOPA), maior organização de aviação geral do mundo. O *Air Safety Institute* (ASI) é reconhecido internacionalmente por suas análises estatísticas rigorosas sobre fatores contribuintes e causas primárias de ocorrências aeronáuticas na aviação geral.

Segundo Ayiei, Murray e Wild (2020), na análise de 26 ocorrências formalizadas de VFR2IMC entre 2003 e 2019 na Austrália, constantes no banco de dados da *Australian Transport Safety Bureau* (ATSB), 14 tiveram consequências fatais após a decisão do piloto de continuar o voo. Dados do *National Transportation Safety Board* (NTSB) norte-americano, entre 1990 e 1997, mostram que, dos 14 mil acidentes analisados, 2,5% envolveram o fator VFR2IMC, mas este contribuiu com 11% das fatalidades do período; no Canadá, entre 1975 e 1985, o VFR2IMC esteve presente em 6% dos acidentes e em 26% das fatalidades - números que evidenciam a constante presença e a desproporcional letalidade desse fator nos acidentes aéreos.

No âmbito da AFA, a análise das ocorrências aeronáuticas e dos Relatos de Prevenção (RELPREV) registrados entre 2016 e 2025, conforme levantamento da Seção de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (SIPAA), evidencia a presença de eventos associados à degradação das condições meteorológicas, perda de referências visuais e exposição a cenários compatíveis com VFR2IMC. Na maioria dos casos, as missões tiveram início sob condições consideradas compatíveis com o voo visual, ao longo da execução, sobretudo nas áreas de instrução ou durante o retorno ao aeródromo, verificou-se deterioração progressiva caracterizada por formação de nuvens baixas, precipitação localizada e redução de visibilidade horizontal, gatilhos típicos para cenários VFR2IMC já descritos na literatura (AOPA, 2023; Skybrary, [202-]). Em menor frequência, mas com risco igualmente relevante, foram identificados episódios de perda momentânea de contato visual com o solo, dificuldades no enquadramento da pista com necessidade de arremetidas não programadas e dificuldade de observação do horizonte logo após a decolagem. O acidente ocorrido em 4 de novembro de 2022, durante missão de navegação com cadete e instrutor a bordo, culminou em colisão com o terreno (CFIT) em região de relevo elevado, ilustrando o potencial de gravidade do fator VFR2IMC associado à perda de controle em ambiente meteorológico adverso (AFA, 2025).

A análise integrada das ocorrências registradas e da literatura internacional permite identificar fatores contribuintes convergentes: a elevada variabilidade das condições meteorológicas locais, a limitação das informações disponíveis em representar fielmente as condições específicas das áreas de instrução e a necessidade, em certas circunstâncias, de complementação da avaliação por observação direta em voo (Skybrary, [202-]). A esses somam-se fatores humanos amplamente documentados: a expectativa de melhoria das condições, a confiança excessiva na experiência operacional e o viés de continuidade - tendência a prosseguir a missão após investimento significativo de recursos. Estudos da *Federal Aviation Administration* (FAA) indicam que a avaliação incorreta de cenários meteorológicos degradantes constitui um dos principais fatores associados à tomada de decisão inadequada em voos VFR próximos aos limites operacionais (FAA, 2019). Goh e Wiegmann (apud Ayiei; Murray; Wild, 2020) observaram que pilotos que continuaram o voo em IMC apresentavam habilidade e julgamento elevados, o que indicava alta autoconfiança, mas cometeram erros primários na avaliação da visibilidade, possivelmente por falta de experiência em perceber mudanças graduais das condições. Na AFA, a significativa experiência operacional de muitos instrutores, embora positiva para a formação de cadetes, também pode favorecer maior exposição a condições marginais para o voo VFR.

O fator motivação foi estudado por Woods et al. (2020) como elemento que afeta o desejo de prosseguir o voo VFR sob condições que se aproximam de IMC, interagindo de forma ainda mais intensa quando combinado a condições meteorológicas marginais - achado alinhado à teoria da tomada de decisão baseada no objetivo de Higgins (2000), segundo a qual os indivíduos são motivados a decisões que tragam altos benefícios com baixos custos. O desejo de continuar associa-se a uma falta de vontade de revisar o plano apesar da rápida junção de sinais de perigo, o que reforça a necessidade de programas de educação para pilotos voltados à redução de acidentes relacionados à meteorologia. No ambiente da AFA, onde o cumprimento de cronogramas de instrução

integra a prioridade institucional, a motivação do instrutor para realizar o voo, mesmo em condições limítrofes, por vezes conduz à decisão de decolar apenas para avaliar a situação meteorológica em voo, expondo-o a cenário potencialmente de alto risco.

As evidências indicam que a prevenção de eventos VFR2IMC não depende exclusivamente do cumprimento formal dos mínimos meteorológicos, mas também da qualidade, representatividade e atualidade das informações disponíveis para a tomada de decisão (NTSB, 2021), tornando evidente a necessidade de ferramentas capazes de ampliar a consciência situacional sobre as condições reinantes antes do início das missões. A comparação entre os cenários internacional e institucional evidencia um encadeamento causal recorrente: as missões tendem a iniciar sob condições visualmente satisfatórias, mas variações atmosféricas rápidas e localizadas - redução de visibilidade, formação de nuvens baixas, perda de definição do horizonte - degradam progressivamente as referências externas disponíveis ao piloto. Fatores cognitivos como viés de continuidade, excesso de confiança e motivação por pressões operacionais percebidas podem então influenciar a decisão de prosseguir mesmo diante de sinais de deterioração, o que resulta em redução da consciência situacional, aumento da carga cognitiva e, em casos extremos, desorientação espacial e perda de controle em voo. A principal distinção entre os cenários analisados refere-se ao desfecho, significativamente mais severo na aviação geral, o que evidencia a eficácia relativa das defesas operacionais presentes na instrução aérea militar, sem, contudo, tornar esse ambiente imune ao risco, sobretudo diante de condições meteorológicas dinâmicas e espacialmente heterogêneas. Diante desse quadro, a utilização de SARP como ferramenta complementar de avaliação meteorológica apresenta-se como alternativa tecnicamente promissora, por possibilitar observação localizada, direta e atualizada das condições atmosféricas em áreas críticas de operação, ampliando a qualidade da informação disponível aos tomadores de decisão antes do início das missões e limitando a influência de fatores humanos como a motivação.

2.2 O emprego internacional de sarp na observação atmosférica

A utilização de SARP em múltiplos domínios já se encontra amplamente difundida, de atividades comerciais e industriais - infraestrutura, mídia, telecomunicações, agricultura, segurança, busca e salvamento e mineração (Brasil, 2020) - a investigações científicas especializadas. No campo da meteorologia, esses sistemas vêm se consolidando como ferramentas observacionais de elevada relevância, por sua capacidade de coletar dados atmosféricos *in situ* com alta resolução espacial e temporal, especialmente em regiões de difícil acesso ou elevada variabilidade ambiental. No cenário nacional, pesquisa conduzida em São Carlos-SP demonstrou que drones equipados com sensores meteorológicos coletam perfis verticais de temperatura e umidade com boa concordância em relação a métodos convencionais, evidenciando a viabilidade dessas plataformas como ferramentas complementares de monitoramento atmosférico em baixa altitude (Brússolo et al., 2018).

No plano internacional, pesquisas nos Estados Unidos descrevem como *Unmanned Aircraft Systems* (UAS) podem preencher lacunas observacionais tradicionais, particularmente na camada limite atmosférica, em que as medições convencionais de temperatura, umidade, pressão e vento ainda deixam incertezas relevantes para o início de convecção e os modelos numéricos de previsão (O'Sullivan et al., 2021). Campanhas de campo conduzidas por laboratórios como o *National Severe Storms Laboratory* (NSSL) empregam aeronaves não tripuladas para coletar dados próximos a tempestades severas, fornecendo perfis atmosféricos de alta resolução (NOAA NSSL, [2022?]). Na Europa, revisões sobre a classificação e aplicabilidade de UAVs em meteorologia apresentam panorama das plataformas disponíveis - fixas, multirrotoras e híbridas - e dos sensores que medem temperatura, umidade, pressão e vento, demonstrando versatilidade mesmo em ambientes regulatórios desafiadores, como áreas urbanas densas (Mourgelas et al., 2023). No Japão, testes com drones equipados com sensores meteorológicos investigam a viabilidade de observações diárias em

centros urbanos, com qualidade adequada frente a medições tradicionais como radiossondas (Inoue et al., 2024).

Nos Estados Unidos, iniciativas do Laboratório de Transporte e Dispersão Atmosférica da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) empregam aeronaves não tripuladas para medir variações de temperatura, umidade e vento com a altura, apoiando a análise de fenômenos de pequena escala. Campanhas como a EPIC (*Environmental Profiling and Initiation of Convection*) demonstraram que SARP de asa fixa e multirrotores podem fornecer medições detalhadas e frequentes da camada limite, relevantes para determinar a probabilidade de início de convecção (Koch et al., 2018). Já o Projeto TORUS (*Targeted Observation by Radars and UAS of Supercells*), consórcio de universidades e centros de pesquisa norte-americanos, integra radares móveis, radiossondagens, sensores de superfície, aeronaves de pesquisa e SARP para coletar dados in situ próximos a supercélulas, ampliando a análise da estrutura tridimensional de tempestades severas (*University of Nebraska-Lincoln*, 2026).

A análise conjunta desses estudos evidencia que a integração de SARP à coleta de dados atmosféricos representa evolução substancial nos métodos contemporâneos de observação, por sua capacidade de coletar dados de alta resolução em camadas atmosféricas pouco exploradas, aliada ao processamento automatizado das informações. No contexto da segurança de voo, essa característica assume relevância particular, pois eventos de entrada inadvertida em condições por instrumentos estão frequentemente associados à insuficiência de dados observacionais atualizados ou à limitação espacial das medições disponíveis. A adoção de plataformas SARP pode, assim, contribuir para a redução desse tipo de ocorrência, ampliando a consciência situacional e fornecendo suporte mais robusto à tomada de decisão de pilotos e órgãos de controle de tráfego aéreo, conclusão que sustenta a hipótese central de que a incorporação dessas tecnologias ao ambiente de instrução aérea é coerente com as tendências internacionais de modernização da meteorologia aeronáutica e com os princípios contemporâneos de gestão de risco operacional.

3 A VISIBILIDADE OBLÍQUA OPERACIONAL (VOO): FUNDAMENTAÇÃO E OPERACIONALIZAÇÃO

3.1 Da comparação entre o metar e a percepção visual em voo à proposição do parâmetro de visibilidade oblíqua operacional (voo)

O METAR (*Meteorological Aerodrome Report*) constitui relatório meteorológico aeronáutico padronizado, utilizado para transmissão de informações observadas em aeródromos, fornecendo aos pilotos dados essenciais à segurança do voo, como visibilidade horizontal predominante, cobertura de nuvens, altura de base de nuvens, vento, temperatura e pressão atmosférica, conforme a ICA 105-16/2025 (Brasil, 2025) e o Anexo 3 da Organização da Aviação Civil Internacional (OACI, 2022). Embora represente fonte objetiva e consolidada de informação, o METAR é produzido em intervalos regulares a cada hora e reflete as condições predominantes na estação meteorológica do aeródromo. Por sua natureza pontual e padronizada, a visibilidade horizontal por ele reportada pode não captar variações espaciais e temporais localizadas que influenciam a percepção do piloto em voo, especialmente voos sob regras VFR, quando a manutenção de referências visuais externas é condição essencial à segurança operacional. Mensagens complementares, como o SPECI (*Special Meteorological Report*), emitido diante de mudanças abruptas relevantes, e o TAF (*Terminal Aerodrome Forecast*), previsão probabilística emitida quatro vezes ao dia, mitigam parcialmente essa limitação, mas não eliminam a lacuna entre o dado padronizado e a realidade operacional imediata, sobretudo em regiões de microclimas ou de variação meteorológica rápida.

Sob a ótica da física atmosférica, a visibilidade está diretamente associada à atenuação da luz ao longo de sua propagação, fenômeno decorrente da combinação entre espalhamento (*scattering*) e absorção por moléculas e partículas suspensas. O espalhamento pode ser classificado, conforme o tamanho das partículas em relação ao comprimento de onda da luz incidente, principalmente em espalhamento de

Rayleigh e de Mie (Teixeira; Santos, 2002; Kerr, 2006). O espalhamento de Rayleigh predomina quando as partículas são muito menores que o comprimento de onda da luz, como as moléculas do ar atmosférico, sendo característico de atmosferas limpas e associado à preservação do contraste visual. Já o espalhamento de Mie ocorre quando as partículas possuem dimensões comparáveis ou superiores ao comprimento de onda, como gotículas de névoa, poeira ou aerossóis, produzindo dispersão mais difusa da luz, redução progressiva do contraste e perda de definição de objetos distantes, fenômeno particularmente relevante para a operação VFR, na qual o piloto depende da nitidez do horizonte natural e da clara distinção entre céu e superfície para manter orientação espacial adequada.

Do ponto de vista psicofísico, a percepção de visibilidade não é determinada apenas pela distância geométrica observável, mas pelo contraste luminância-objeto/fundo, pela adaptação visual e pelas condições de iluminação ambiente (Palmer, 1999). Estudos em fatores humanos demonstram que a degradação gradual do contraste atmosférico pode reduzir a capacidade do piloto de manter referências externas confiáveis, aumentando a carga cognitiva e o risco de transição inadvertida para IMC (Wickens; Mavor, 1997). Gradientes verticais de umidade e temperatura também contribuem para discrepâncias entre a visibilidade ao nível da superfície e a percebida em altitude, a exemplo das camadas rasas de névoa ou aerossóis podem concentrar-se entre 300 e 1.500 pés AGL (*Above Ground Level* – Acima do nível do Solo), preservando visibilidade satisfatória no solo, mas reduzindo significativamente o alcance visual oblíquo na altura típica do tráfego VFR (Wallace; Hobbs, 2006), reforçando a necessidade de distinguir entre visibilidade horizontal padronizada e visibilidade funcional percebida em voo.

À luz dessas bases teóricas e das observações empíricas obtidas por meio do emprego de SARP com captação de imagens georreferenciadas, propõe-se o parâmetro denominado Visibilidade Oblíqua Operacional (VOO), definido como a distância máxima perceptível em perspectiva horizontal ou levemente descendente a partir da

altura típica do tráfego VFR (1.000 ft AGL), considerando a manutenção contínua de referências visuais adequadas à condução segura do voo visual. A VOO fundamenta-se na noção de contraste atmosférico funcional e na perspectiva geométrica do observador em altura. Diferentemente da visibilidade meteorológica tradicional, incorpora o componente perceptivo-operacional, considerando a qualidade efetiva das referências visuais sob ângulo oblíquo. Sua proposição não busca substituir o parâmetro oficial reportado no METAR, mas complementar sua interpretação no contexto decisório pré-voo, convertendo, por meio de registros visuais estruturados e classificados por escala ordinal, a percepção subjetiva em variável analisável, aproximando o fenômeno físico-atmosférico da modelagem quantitativa.

3.2 Método de coleta e escala de avaliação ordinal da voo

A mensuração operacional da VOO é viabilizada pelo emprego de SARP configurado para operar a aproximadamente 1.000 ft AGL sobre o aeródromo de referência, altura correspondente ao padrão do circuito de tráfego VFR para aeronaves a hélice, conforme a ICA 100-37 (Brasil, 2025). A escolha dessa plataforma decorre de sua capacidade de posicionamento estável em altura definida, georreferenciamento contínuo e captação de imagens com campo visual amplo, sem as limitações operacionais e de custo associadas ao uso de aeronaves tripuladas exclusivamente para fins de observação meteorológica. O campo visual captado é organizado em quatro setores cardeais de 90° de azimute cada, Norte, Leste, Sul e Oeste, o que permite identificar assimetrias de visibilidade entre quadrantes, fenômeno frequente em condições de neblina direcional, fumaça de fonte localizada ou iluminação solar oblíqua, fornecendo ao piloto informação espacialmente discriminada, superior à visibilidade predominante horizontal geralmente reportada de forma isotrópica pelo METAR. Em cada setor são registradas imagens em perspectiva oblíqua a partir do ponto de estacionamento do SARP, com referências visuais previamente identificadas e georreferenciadas no plano do solo (edificações, torres, linhas de transmissão, rodovias ou marcos naturais), cujas distâncias são conhecidas e tabeladas.

Cabe observar que a distância percebida nas imagens capturadas a 1.000 ft AGL corresponde geometricamente à hipotenusa do triângulo retângulo formado pela altitude de operação (cateto vertical de aproximadamente 305 m) e pela distância horizontal até cada referência de solo (cateto horizontal). Considerando que as referências adotadas para o contexto da AFA situam-se entre 2,1 km e 31,7 km do ponto de decolagem, o acréscimo oblíquo máximo verificado - aproximadamente 22 m na referência mais próxima (2,1 km) - representa variação inferior a 1,1% da distância horizontal correspondente, decrescendo para valores abaixo de 0,2% nas demais referências, com ângulo de depressão máximo de aproximadamente 8,25° na referência mais próxima, reduzindo-se a menos de 2° além de 10 km. Conclui-se, portanto, que a diferença entre distância oblíqua e distância horizontal é operacionalmente desprezível para fins de mensuração da VOO, sendo as distâncias horizontais tabeladas adequadas para uso direto na avaliação, sem necessidade de correção geométrica.

A conversão da percepção visual em variável analisável é realizada por meio de escala de avaliação ordinal de tipo Likert com cinco níveis (Likert, 1932), ancorada em imagens de referência com distâncias conhecidas. Diferentemente de escalas ordinais genéricas, a escala proposta é iconograficamente ancorada, cada nível corresponde a uma imagem-padrão capturada previamente nas mesmas condições geométricas e de câmera, permitindo ao avaliador realizar julgamento comparativo direto em vez de estimativa absoluta. Este mecanismo de ancoragem formalizado por Smith e Kendall (1963), sob a denominação de *Behaviorally Anchored Rating Scales* (BARS), reduz a variabilidade interavaliador e confere maior reprodutibilidade ao instrumento. Os cinco níveis são assim definidos:

N1 - visibilidade muito reduzida, com referências próximas (até aproximadamente 1.500 m) não discerníveis ou severamente degradadas, horizonte indistinto e operação VFR inviável;

Figura 2 – Imagem de ancoragem de Avaliação da Visibilidade Oblíqua Operacional – N1



Fonte: Autor (2026)

N2 - visibilidade reduzida, com referências próximas parcialmente visíveis, referências médias (até aproximadamente 3.000 m) indistintas e horizonte difuso;

Figura 3 – Imagem de ancoragem de Avaliação da Visibilidade Oblíqua Operacional – N2



Fonte: Autor (2026)

N3 - visibilidade moderada, com referências próximas discerníveis, referências médias com contraste reduzido e referências distantes (acima de 5.000 m) indistintas;

Figura 4 – Imagem de ancoragem de Avaliação da Visibilidade Oblíqua Operacional – N3



Fonte: Autor (2026)

N4 - visibilidade boa, com referências médias claramente visíveis e referências distantes discerníveis com redução moderada de contraste; e

Figura 5 – Imagem de ancoragem de Avaliação da Visibilidade Oblíqua Operacional – N4



Fonte: Autor (2026)

N5 - visibilidade excelente, com todas as referências discerníveis com nitidez, horizonte natural definido e contraste atmosférico sem degradação perceptível.

Figura 6 – Imagem de ancoragem de Avaliação da Visibilidade Oblíqua Operacional – N5



Fonte: Autor (2026)

A aplicação da escala é conduzida por avaliador habilitado, que compara a imagem capturada pelo SARP em cada setor com as imagens-padrão correspondentes, atribuindo o nível que melhor representa a condição observada. O resultado é registrado por setor (N, S, E, W), gerando perfil direcional de VOO com quatro valores ordinais, cuja síntese pode ser expressa pelo valor mínimo setorial - representando a condição mais restritiva para a operação - ou pela mediana dos quatro setores, conforme a finalidade analítica. Para cada setor cardinal, foram identificadas referências visuais com coordenadas conhecidas e distâncias mensuradas a partir do ponto de decolagem no aeródromo da AFA, cobrindo espectro métrico de 2,1 km a 25,0 km no setor Norte, de 4,2 km a 16,6 km no setor Leste, de 3,9 km a 21,0 km no setor Sul e de 3,4 km a 31,7 km no setor Oeste, conferindo à avaliação ancoragem métrica concreta e diretamente vinculada à perspectiva do operador em condições reais de uso. A variabilidade entre avaliadores, embora mitigada por esse ancoramento iconográfico, não é inteiramente eliminada e deve ser considerada na interpretação dos resultados, especialmente em

condições limítrofes entre níveis consecutivos. Essa variabilidade reforça a natureza ordinal do instrumento, que expressa ordenação de condições visuais, e não grandeza física contínua em sentido estritamente metrológico, limitação substancialmente mitigada pela estrutura de referências georreferenciadas adotada.

4 O PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO METEOROLÓGICA, O BOLETIM DE VISIBILIDADE OBLÍQUA OPERACIONAL E A CONSOLIDAÇÃO NORMATIVO-INSTITUCIONAL

4.1 Articulação entre a voo, o protocolo e o boletim de visibilidade oblíqua operacional

A VOO, enquanto parâmetro teórico-conceitual, adquire operacionalidade instrumental por meio do Protocolo de Avaliação Meteorológica com o Uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas, formalizado como Norma Padrão de Ação (NPA), documento interno do Comando da Aeronáutica. A relação entre os dois elementos é bidirecional: a VOO fornece o referencial conceitual e a definição do parâmetro que o Protocolo busca mensurar. O Protocolo especifica os procedimentos, equipamentos, critérios de qualificação de pessoal, condições de acionamento e fluxo decisório que tornam a coleta da VOO reprodutível, rastreável e operacionalmente utilizável. Nessa arquitetura, o SARP opera como instrumento de observação atmosférica de baixo custo e alta flexibilidade, posicionado na altura de interesse operacional, e a imagem georreferenciada por ele capturada constitui o dado primário a partir do qual a VOO é avaliada. O resultado, expresso na escala ordinal de cinco níveis por setor, compõe o Boletim de Visibilidade Oblíqua Operacional (BVOO), documento padronizado que pode ser disponibilizado ao piloto na fase de planejamento de voo como informação complementar ao METAR.

O BVOO foi estruturado em alinhamento direto com o item 1.3 do MAPRO do 1º Esquadrão de Instrução Aérea (Brasil, 2026), que organiza os critérios meteorológicos

operacionais em cinco dimensões: condições das áreas de instrução, condições do aeródromo, procedimentos em condições degradadas, temperatura em voo e limites de vento. O ponto de articulação mais direto entre a VOO e o MAPRO encontra-se na Tabela de Cores das Áreas de Instrução, que classifica as condições meteorológicas em cinco categorias cromáticas - Azul, Verde, Amarelo, Âmbar e Vermelho - com base em critérios de visibilidade, definição de horizonte e cobertura de nuvens.

Figura 7 – Tabelas de definição de cores para as Áreas de Instrução e para o Aeródromo

1.3.1. TABELA DE CORES DAS ÁREAS DE INSTRUÇÃO

COR	VISIBILIDADE	HORIZONTE	NUVENS
AZUL	Ilimitada (≥ 10km)	Bem definido	Sem nuvens
VERDE	Ligeiramente prejudicada (entre 5 e 10km)	Parcialmente definido	Poucas e esparsas (1/8 a 4/8)
AMARELO	< 5km	Pouco definido	Muitas nuvens (5/8 a 7/8)
ÂMBAR	Névoa intensa	Observável a grande altitude	Encoberto (8/8)
VERMELHO	Fechado por nebulosidade	Não observável	

1.3.2. TABELA DE CORES DO AERÓDROMO

COR	TETO	VISIBILIDADE	CAMPO	OPERAÇÃO
VERDE	TETO ≥ 1.500 ft	VIS ≥ 5.000 m	VFR	VFR
AMARELO	1.000 ft ≤ TETO < 1.500 ft	3.000 m ≤ VIS < 5.000 m	IFR	VFR Especial
	600 ft ≤ TETO < 1.000 ft	1.500 m ≤ VIS < 3.000 m		IFR
VERMELHO	TETO < 600 ft	VIS < 1.500 m	FECHADO	FECHADO

Fonte: Manual de Procedimentos do 1º Esquadrão de Instrução Aérea da AFA (2026)

A escala ordinal da VOO correlaciona-se diretamente com essas categorias: o nível N5 corresponde às condições Azul (visibilidade igual ou superior a 10 km, horizonte bem definido); o N4, às condições Verde (5 a 10 km, horizonte parcialmente definido); o N3, às condições Amarelo (inferior a 5 km, horizonte pouco definido); o N2, às condições Âmbar (névoa intensa, horizonte observável apenas em grande altitude); e o N1, às condições Vermelho (campo fechado por nebulosidade, horizonte não observável). Essa correspondência decorre da construção empírica da escala a partir de imagens coletadas no próprio aeródromo, tornando a avaliação diretamente interpretável pelo

Oficial de Permanência Operacional (OPO) nos termos do MAPRO vigente, sem que o Protocolo precise prescrever limiares decisórios que permanecem sob a competência exclusiva do Esquadrão. Cada avaliação registra, assim, dois critérios complementares no BVOO: o nível ordinal (N1 a N5), atribuído por comparação iconográfica, e a distância métrica da última referência georreferenciada identificável em cada setor, conjugação que confere à avaliação dupla dimensão analítica, ao permitir classificação rápida, padronizada e comparável entre coletas e avaliadores, e ancorar essa classificação em grandeza física concreta.

A proposição da VOO está sujeita a limitações de natureza metodológica, regulatória e operacional. Do ponto de vista regulatório, a operação do SARP a 1.000ft AGL em aeródromos está sujeita ao RBAC-E nº 94 (Brasil, 2022) e à ICA 100-40 (Brasil, 2023), que regem, respectivamente, a qualificação do piloto remoto e o acesso de aeronaves não tripuladas ao espaço aéreo brasileiro. No caso da AFA, o fundamento que viabilizou diretamente a integração operacional foi a MCA 56-5 (Brasil, 2023). Do ponto de vista operacional, a VOO é observação pontual no tempo, que retrata as condições no momento da coleta e não substitui a capacidade preditiva de um serviço meteorológico estruturado, sendo sua utilidade maximizada quando a coleta ocorre em janela temporal próxima ao voo planejado. A validade da avaliação depende diretamente da capacitação do Piloto Remoto em Comando (PRC) para interpretar as imagens à luz do Protocolo e das imagens-padrão de ancoragem, razão pela qual se prevê treinamento específico e reciclagem periódica como medida de controle. Por fim, a VOO é delimitada ao ambiente de tráfego de circuito em aeródromos VFR e áreas próximas, não sendo extensível, sem adaptação metodológica, a operações de rota, voos IFR ou avaliações de visibilidade em pista (RVR).

4.2 A consolidação normativo-institucional: da carta de acordo operacional à seção de aeronaves remotamente pilotadas

O emprego de SARP em aeródromos militares apresenta complexidade adicional, por envolver a convivência com aeronaves tripuladas no circuito de tráfego e a coordenação permanente com os setores responsáveis pela segurança de voo. Nesse

cenário, a regularização das operações não representa mera formalidade administrativa, mas elemento estruturante da mitigação de riscos, da segregação do espaço aéreo e da rastreabilidade das missões. Tornou-se evidente que a sustentabilidade do emprego de SARP na AFA dependeria da formalização de instrumentos normativos e organizacionais específicos, dos quais resultaram a elaboração da Carta de Acordo Operacional (CAOp), fundamentada no Manual do Comando da Aeronáutica (MCA) 56-5 (Brasil, 2023) e na Circular Normativa de Controle do Espaço Aéreo (CIRCEA) 63-5 (Brasil, 2014), publicada no Boletim Interno do Grupo de Apoio do Distrito Federal (GAP-DF), a alteração do organograma institucional, com a criação da Seção de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARP) no Regimento Interno 2026, a publicação da respectiva Norma Padrão de Ação, que regulamenta as atribuições da nova seção, e a criação de conta institucional da AFA no Sistema SARPAS do DECEA, com o registro formal de quatro SARP como aeronaves de matrícula militar. Essas ações consolidaram a inserção das operações com SARP no arcabouço normativo vigente, especialmente a ICA 100-40 e a MCA 56-5, e asseguraram alinhamento aos princípios de gerenciamento de risco operacional do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB).

A CAOp, elaborada no âmbito desta pesquisa, constitui o instrumento normativo por meio do qual se formalizou, entre os órgãos de Serviço de Tráfego Aéreo (ATS) e as Organizações Militares envolvidas, a coordenação necessária à realização dos voos de SARP nos entornos do aeródromo. Firmada entre a Divisão de Operações Aéreas da AFA (DOA), o Esquadrão de Demonstração Aérea (EDA) e o Destacamento de Controle do Espaço Aéreo de Pirassununga (DTCEA-YS) - representado por seu Controle de Aproximação (APP-YS) e por sua Torre de Controle (TWR-YS), a CAOp satisfaz simultaneamente as exigências da CIRCEA 63-5, que regula a forma e o procedimento de elaboração do instrumento, e da MCA 56-5, que condiciona as operações de aeronaves não tripuladas das Forças Armadas acima de 400ft à existência de espaço aéreo segregado e de Acordo Operacional previamente estabelecido (MCA 56-5, item 6.1.15). Sem esse acordo, a operação do SARP a 1.000ft AGL, altitude que excede em mais do dobro o limiar de 400ft fixado pela ICA 100-40, não encontraria respaldo regulatório suficiente, tornando inviável, do ponto de vista do SISCEAB, a própria pesquisa de campo.

Estruturada em sete seções, a CAOp define a área DRONE como área circular com 3,0 NM (5,5 km) de raio a partir do VOR PIR e altura de 1.500 ft, subdividida em três subáreas, destinada aos voos de RPA da AFA e do EDA. A operação de SARP não possui prioridade sobre a aviação tripulada, devendo ocorrer em janelas de oportunidade coordenadas com a TWR-YS, mediante possibilidade permanente de contato via telefone ou contato bilateral permanente em frequência de solo dedicada e fraseologia padronizada, com a expressão “RPA” antecedendo o indicativo de chamada - padronização que funciona como barreira de mitigação de ambiguidade de comunicação, conforme a ICA 100-40 e a literatura de fatores humanos (Wickens; Mavor, 1997). A distribuição de competências delega à TWR-YS a autorização pontual do voo e a coordenação com o APP-YS, ao passo que a DOA e o EDA respondem pela capacitação dos pilotos remotos, pelo cadastramento das licenças no SARPAS e pela Análise de Risco Operacional prévia a cada campanha, uma arquitetura de responsabilidade distribuída e consistente com o gerenciamento de risco do SISCEAB.

Os procedimentos de contingência operacional determinam que, em caso de perda de comunicação entre a TWR-YS e o piloto, o voo deve ser interrompido e a aeronave pousada de imediato no ponto de retorno (RTH) planejado. De modo semelhante, em caso de ativação do Plano de Terminação de Voo ou de retorno automático por perda de enlace, o Piloto Remoto em Comando deve notificar imediatamente altitude, velocidade, autonomia remanescente e rota de retorno. Essa lógica de decisões pré-estabelecidas para cenários de degradação reduz a necessidade de deliberação sob pressão temporal e guarda relação direta com um dos principais achados desta pesquisa. Ao fixar de antemão o gatilho objetivo e a ação decorrente, a CAOp elimina, para a operação de SARP, a margem de ambiguidade decisória apontada pela literatura como fator contribuinte recorrente em ocorrências de degradação progressiva na aviação tripulada (Ayiei; Murray; Wild, 2020), aplicando ao domínio da operação de SARP o mesmo princípio de antecipação decisória que fundamenta a proposta da VOO. Por fim, a CAOp faculta a suspensão das operações

a qualquer tempo por ordem de qualquer autoridade do SISCEAB, sempre que estas comprometerem a segurança da circulação aérea, e registra a subscrição do instrumento pelos Comandantes do EDA e do DTCEA-YS, pelo Chefe da DOA e, em última instância, pelo Comandante da AFA. Esta formalidade, além de satisfazer o requisito da MCA 56-5, evidencia o endosso hierárquico em todos os níveis de comando envolvidos na atividade aérea da Academia.

Em conjunto, a arquitetura normativa consolidada por esta pesquisa, quais sejam a CAOp, a Seção de Aeronaves Remotamente Pilotadas e sua NPA, e registro no SARPAS, constitui a infraestrutura que tornou juridicamente exequível, do ponto de vista do SISCEAB, a própria pesquisa de campo que sustenta a proposição da VOO e do BVOO, permitindo que a coleta sistemática de imagens em altura operacional fosse realizada em ambiente de aeródromo militar ativo, sem prejuízo à segurança da circulação aérea geral e da circulação operacional militar. Esse conjunto de instrumentos produziu efeitos institucionais que extrapolam o escopo acadêmico inicial e permanecem incorporados, de modo permanente, à governança operacional da AFA.

5 CONCLUSÃO

Este artigo partiu do problema de pesquisa relativo à contribuição que o emprego de Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas poderia oferecer à segurança de voo na instrução aérea conduzida sob Regras de Voo Visual na Academia da Força Aérea. A investigação, de natureza aplicada e abordagem indutiva, percorreu trajetória que partiu da observação de ocorrências concretas de entrada inadvertida em condições meteorológicas por instrumentos, fenômeno reconhecido na literatura internacional como uma das causas mais letais de acidentes aeronáuticos, até a formulação de proposta técnico-operacional fundamentada empiricamente.

O estudo de casos internacionais demonstrou que o emprego de SARP na observação atmosférica de baixa altitude já constitui prática consolidada em diferentes

contextos científicos e operacionais, desde campanhas sobre a camada limite atmosférica até projetos voltados ao estudo de tempestades severas, evidenciando a viabilidade técnica e a pertinência de transpor essa abordagem para o contexto específico da instrução aérea militar, no qual a degradação localizada e rápida das condições meteorológicas representa risco recorrente. A análise das ocorrências VFR2IMC, tanto no panorama internacional quanto nos registros da AFA entre 2016 e 2025, confirmou que a antecipação da percepção de cenários meteorológicos degradados constitui fator decisivo para a prevenção desses eventos, revelando padrão recorrente de missões que se iniciam sob condições aparentemente compatíveis com o voo visual, mas que se deterioram progressivamente ao longo da execução, em encadeamento que combina fatores meteorológicos e cognitivos (viés de continuidade, excesso de confiança e motivação operacional) culminando, em casos extremos, em perda de referências visuais e colisão controlada com o terreno.

No núcleo teórico-metodológico, este artigo propôs o parâmetro da Visibilidade Oblíqua Operacional, definido como a distância máxima perceptível em perspectiva oblíqua a partir da altura típica do tráfego VFR, fundamentado na física da atenuação atmosférica (espalhamentos de Rayleigh e de Mie) e na psicofísica da percepção visual, articulando-se como conceito complementar, e não substitutivo, ao METAR. A operacionalização desse parâmetro foi viabilizada por escala ordinal de cinco níveis, ancorada iconograficamente em imagens-padrão captadas nos quatro setores cardinais do aeródromo da AFA, com referências georreferenciadas cujas distâncias variam de 2,1 km a 31,7 km conforme o setor. A análise geométrica demonstrou que a diferença entre a distância oblíqua percebida pelo SARP a 1.000ft AGL e a distância horizontal tabelada é operacionalmente desprezível, validando o uso direto das referências cadastradas. A articulação entre a VOO e o Protocolo de Avaliação Meteorológica materializou-se no Boletim de Visibilidade Oblíqua Operacional, estruturado em correspondência direta com o item 1.3 do MAPRO do 1º Esquadrão de Instrução Aérea, cuja correlação entre os cinco níveis da VOO e as cinco categorias

cromáticas da Tabela de Cores das Áreas de Instrução permite que o resultado da avaliação seja diretamente interpretável pelo Oficial de Permanência Operacional, sem que o Protocolo prescreva limiares decisórios, que permanecem sob a competência exclusiva do Esquadrão.

A pesquisa de campo aqui relatada produziu, ainda, resultados que extrapolaram o escopo acadêmico inicialmente delineado. A necessidade de viabilizar operações de SARP em ambiente de aeródromo militar ativo exigiu processo de consolidação normativa e institucional que passou a integrar a governança operacional permanente da Academia, materializado na Carta de Acordo Operacional fundamentada na MCA 56-5, na criação da Seção de Aeronaves Remotamente Pilotadas, na respectiva Norma Padrão de Ação e no registro formal dos equipamentos no SARPAS do DECEA, resultados alinhados ao Planejamento Estratégico Setorial de Defesa (PESD) 2024-2035 e que, uma vez formalizados, permanecem, independentemente da conclusão deste trabalho.

Em síntese, este artigo demonstra que a incorporação de SARP à rotina de avaliação meteorológica pré-voo da AFA é tecnicamente viável, normativamente respaldada e operacionalmente integrável aos critérios já estabelecidos no MAPRO do Esquadrão de Instrução Aérea. Ao propor a Visibilidade Oblíqua Operacional como parâmetro complementar ao METAR e ao estruturar o Boletim de Visibilidade Oblíqua Operacional como instrumento de apoio à decisão do Oficial de Permanência Operacional, a pesquisa oferece resposta concreta ao problema formulado: o emprego de SARP amplia a consciência situacional sobre as condições meteorológicas reinantes no tráfego do aeródromo e nas áreas de instrução, contribuindo para a redução da exposição de tripulações e aeronaves a cenários VFR2IMC, sem substituir, mas complementando as fontes tradicionais de informação meteorológica. Como agenda para investigações futuras, sugere-se a calibração empírica da relação entre os níveis ordinais da VOO e estimativas métricas de visibilidade, a ampliação do conjunto de imagens-padrão de ancoragem ao longo de diferentes estações do ano e a avaliação, em estudos longitudinais, da efetividade do BVOO na redução da incidência de ocorrências VFR2IMC após sua implementação operacional plena.

REFERÊNCIAS

AIR SAFETY INSTITUTE. Accident report: VFR into IMC – Go beyond the textbook with insightful research and recommendations on general aviation's most fatal weather-related accident category. **Aircraft Owners and Pilots Association**, 2023. Disponível em: https://www.aopa.org/training-and-safety/air-safety-institute/accident-analysis/vfr-into-imc. Acesso em: 05 set. 2025.

AYIEI, A.; MURRAY, J.; WILD, G. **Visual flight into Instrument Meteorological Condition**: A Post Accident Analysis. [S. l.], 2020.

BLACK SWIFT TECHNOLOGIES. **Black Swift S0 Research UAS**. Boulder: Black Swift Technologies, 2024. Disponível em: https://www.unmannedsystemstechnology.com/company/black-swift-technologies. Acesso em: 25 maio 2026.

BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil. **RBAC-E nº 94**: Requisitos Gerais para Aeronaves Não Tripuladas de Uso Civil. Brasília: ANAC, 2022.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Comando Geral do Pessoal. **Portaria AFA Nº 813/1EIA, de 19 de dezembro de 2025**. Aprova a reedição do Manual de Procedimentos do 1º Esquadrão de Instrução Aérea da Academia da Força Aérea para o ano de 2026. Boletim Interno Ostensivo. Pirassununga, n. 232, 23 dez. 2025.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Portaria DECEA Nº 1948/DNOR3, de 17 de novembro de 2025**. Aprova a edição da Instrução que dispõe sobre Códigos Meteorológicos (ICA 105-16). Boletim do Comando da Aeronáutica. Rio de Janeiro, n. 222, 26 nov. 2025.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Portaria DECEA/DNOR1 Nº 1537, de 04 de novembro de 2024**. Aprova a reedição da Instrução que dispõe sobre os Serviços de Tráfego Aéreo (ICA 100-37). Boletim do Comando da Aeronáutica. Rio de Janeiro, n. 211, 25 nov. 2024.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Portaria DECEA nº 928/DNOR8, de 15 de maio de 2023**. Aprova a reedição da ICA 100-40, Instrução sobre Aeronaves Não Tripuladas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro. Boletim do Comando da Aeronáutica. Rio de Janeiro, n. 103, 06 jun. 2023.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Portaria DECEA/DNOR nº 1.536, de 31 de outubro de 2024**. Aprova a edição da Instrução que dispõe sobre as Regras do Ar (ICA 100-12). Boletim do Comando da Aeronáutica. Rio de Janeiro, n. 206, 14 nov. 2024.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo**. Portaria DECEA nº 05/SDOP, de 30 de janeiro de 2014**. Aprova a edição da CIRCEA 63-5 "Orientações para Elaboração de Carta de Acordo Operacional". Boletim Interno Ostensivo do DECEA, Rio de Janeiro, n. 26, 07 fev. 2014.

BRASIL. Ministério da Defesa. Gabinete do Ministro. **Resolução CONSUG-MD nº 20, de 27 de novembro de 2024**. Aprova o Planejamento Estratégico Setorial de Defesa – PESD 2024-2035. Diário Oficial da União, edição 230, seção 1, p. 32, 29 nov. 2024.

BRÚSSOLO, R. G. et al. **Comparação termohigrométrica de sub-altitude em área urbana e rural em São Carlos, Brasil, por meio de VANT/Drone**. São Carlos, 2018.

CZARNECKA, M.; NIDZGORSKA-LENCEWICZ, J. The impact of thermal inversion on the variability of PM10 concentration in winter seasons in Tricity. **Environment Protection Engineering**, v. 43, n. 2, p. 157-172, 2017.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). **Estudos sobre avaliação de risco em voos VFR próximos a condições meteorológicas degradadas**. Washington, D.C., 2019.

HIGGINS, E. T. **Making a good decision**: Value from fit. [S. l.], 2000.

INOUE, J. et al. Operational capability of drone-based meteorological profiling in an urban area. **Journal of Geophysical Research**: Atmospheres, 2024.

JOSHI, A.; KALE, S.; CHANDEL, S.; PAL, D. Likert Scale: Explored and Explained. **Current Journal of Applied Science and Technology**, v. 7, n. 4, p. 396-403, 2015.

KERR, A. S. **Espalhamento de luz na atmosfera**. São Paulo: Instituto de Física, Universidade de São Paulo, 2006.

KOCH, S. E.; FENGLER, M.; CHILSON, P. B.; ELMORE, K. L.; ARGROW, B. M.; ANDRA, D. L.; LINDLEY, T. On the use of unmanned aircraft for sampling mesoscale phenomena in the preconvective boundary layer. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 35, n. 11, p. 2265-2288, 2018.

LIKERT, R. A technique for the measurement of attitudes. **Archives of Psychology**, v. 22, n. 140, 1932.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia do trabalho científico**. 9. ed. atual. São Paulo: Atlas, 2021.

MENAPIA. **Advanced Drone Services for Atmospheric Science & Operational Meteorology**. Menapia, 2026. Disponível em: https://www.menapia.tech/home-1. Acesso em: 22 jul. 2026.

METEOMATICS. **Meteodrones – tecnologia de drones meteorológicos**. Disponível em: https://www.meteomatics.com/en/meteodrones-weather-drones/. Acesso em: 11 jul. 2025.

MOURGELAS, C. et al. Classification of unmanned aerial vehicles in meteorology: a survey. **Environmental Sciences Proceedings**, 2023.

NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD (NTSB). **Safety spotlight**: VFR into IMC. In: AIR SAFETY INSTITUTE. Aircraft Owners and Pilots Association, 2021.

NOAA NSSL. **Research Tools**: Uncrewed Aircraft @ NSSL. NOAA, [2022?]. Disponível em: https://www.nssl.noaa.gov/tools/uas/. Acesso em: 01 maio 2026.

ORGANIZAÇÃO DA AVIAÇÃO CIVIL INTERNACIONAL (OACI). **Annex 3 – Meteorological Service for International Air Navigation**. Montreal: International Civil Aviation Organization, 2022.

O'SULLIVAN, D. et al. The status and future of small uncrewed aircraft systems (UAS) in operational meteorology. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 2021.

PALMER, S. E. **Vision Science:** Photons to Phenomenology. Cambridge, MA: MIT Press, 1999.

SKYBRARY. **Inadvertent VFR flight into IMC**. [S. l.]: Skybrary Aviation Safety, n.d. Disponível em: https://skybrary.aero/articles/inadvertent-vfr-flight-imc. Acesso em: 22 fev. 2026.

SMITH, P. C.; KENDALL, L. M. Retranslation of expectations: an approach to the construction of unambiguous anchors for rating scales. **Journal of Applied Psychology**, Washington, v. 47, n. 2, p. 149-155, 1963.

TEIXEIRA, S. K.; SANTOS, P. A. M. dos. Modelagem do espalhamento Rayleigh da luz com propósitos de ensino e de aprendizagem. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, n. 3, p. 341-350, 2002.

UNIVERSITY OF NEBRASKA-LINCOLN. **TORUS – Targeted Observation by Radars and UAS of Supercells**. Lincoln, 2026. Disponível em: https://torus.unl.edu/. Acesso em: 21 fev. 2026.

WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. **Atmospheric Science**: An Introductory Survey. 2. ed. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2006.

WICKENS, C. D.; MAVOR, A. S. **Flight to the Future**: Human Factors in Air Traffic Control. Washington, DC: National Academy Press, 1997.

WOODS, S. et al. **The Impact of Motivation on Continued VFR into IMC**: Another Perspective to an On-Going Problem. [S. l.], 2020.

Autoria

1 Thiago Henrique Gomes Souto

Graduação de nível superior pelo Curso de Formação de Oficiais Aviadores pela Academia da Força Aérea; Bacharel em Ciências Aeronáuticas pela Academia da Força Aérea; Bacharel em Administração de Empresas com ênfase em Gestão Pública pela Academia da Força Aérea; Oficial da Força Aérea
https://orcid.org/0009-0001-5248-9042 • souto.afa@gmail.com

2 Gills Lopes Macedo Souza

Cientista político; Doutor pela Universidade Federal de Pernambuco; Especializado em Defesa, Segurança Internacional e Relações Internacionais; Professor,
https://orcid.org/0000-0003-3597-2152 • gillslopes@gmail.com

Como citar este artigo

SOUTO, T. H. G.; SOUZA, G. L. M. Avaliação meteorológica com aeronaves remotamente pilotadas na Academia da Força Aérea. **InterAção**, Santa Maria, v. 17, n. 3, e98513, p. 1-30, 2026. DOI 10.5902/2357797598513. Disponível em: https://dx.doi.org/10.5902/2357797598513. Acesso em: dia mês abreviado. ano.