DESAFIOS NO COMPARTILHAMENTO DO ESPAÇO AÉREO DE BAIXA ALTURA ENTRE DRONES E AERONAVES TRIPULADAS

Mateus de Oliveira Pereira[1], Mirela Ponce Biaseto[1], Elara Soares Vieira[1] Níssia Carvalho Rosa Bergiante[1]
1. Aeronautics Institute of Technology

PAPER ID: SITXXX

ABSTRACT

The increasing density of low-altitude air traffic—driven by the growing use of remotely piloted aircraft systems (RPAS)—has raised new safety concerns, especially in uncontrolled airspace also used by manned aviation. This paper investigates the systemic risks of shared low-altitude airspace through a human factors lens. Using the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS), we analyze the contributing factors in a documented mid-air collision between a drone and a manned aircraft in Toronto, Canada. In parallel, we examine current regulatory frameworks and highlight structural limitations in airspace governance. The results reveal latent failures across supervisory and organizational levels, suggesting the need for integrated management approaches and context-adapted risk mitigation strategies.

Keywords: Low-altitude airspace, Human factors, RPAS integration, Airspace regulation, Accident Analysis.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

DECLARAÇÃO DE USO DE IA GENERATIVA

Os autores declaram que o uso de ferramentas de inteligência artificial generativa foi restrito a atividades de apoio técnico, sem comprometer a originalidade, as análises e as conclusões apresentadas no trabalho. Todas as informações obtidas por meio desses recursos foram cuidadosamente avaliadas e integradas ao estudo, garantindo o rigor metodológico e a integridade acadêmica. O. ElicitAI foi utilizado para pesquisa automatizada, aprimorando a busca por referências relacionadas aos temas do estudo, e o ChatGPT foi utilizado para revisão gramatical do texto.

PAPER ID: SITXXX

DESAFIOS NO COMPARTILHAMENTO DO ESPAÇO AÉREO DE BAIXA ALTURA ENTRE DRONES E AERONAVES TRIPULADAS

1 INTRODUÇÃO

O emprego de sistemas de aeronaves remotamente pilotadas (RPAS), popularmente chamados de drones, expande-se a taxas elevadas em aplicações recreativas, comerciais e industriais. Somente no Brasil, o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) registrou um aumento de 22% nas solicitações de voos com drones apenas no primeiro trimestre de 2025, indicando um crescimento acelerado da atividade no espaço aéreo de baixa altitude (Portal DECEA, 2025). Essa mesma faixa de altitude é intensamente utilizada por aeronaves tripuladas de aviação geral, especialmente por aviões de pequeno porte, que operam sob regras de voo visual durante as fases de aproximação, decolagem e, principalmente, em voos de instrução com circuitos repetidos de toque e arremetida (Andreeva-Mori et al., 2022; Weinert e Barrera, 2020). Essas operações apresentam desafios para a integração do espaço aéreo e o monitoramento da segurança devido à sua flexibilidade e imprevisibilidade (Weinert e Barrera, 2020).

A superposição dessas atividades cria um ambiente operacional onde falhas em barreiras tradicionais, como a detecção visual, a comunicação por rádio e a separação vertical, podem resultar em conflitos potencialmente catastróficos. Essa preocupação é reforçada por estudos que modelam a probabilidade de colisão em áreas restritas de tráfego intenso, utilizando simulações de trajetórias convergentes para estimar riscos de encontro entre aeronaves comerciais e drones intrusos (Zhang et. al 2020).

Dentre os estudos que contribuem para a caracterização desse cenário, destaca-se a revisão realizada por Weinert e Barrera (2020), que compila dados sobre operações de aeronaves tripuladas em baixa altitude. Os autores apontam que essas operações são marcadas por grande diversidade de aeronaves e perfis operacionais, pouca cobertura radar, ausência de transponder em muitas aeronaves leves e lacunas significativas nos dados estatísticos disponíveis, fatores que dificultam tanto a modelagem quanto a regulação do espaço aéreo de baixa altura.

Com a intensificação das operações com drones, a expansão de serviços logísticos e a futura introdução de veículos eVTOL, cresce a urgência de entender não apenas os aspectos técnicos do compartilhamento do espaço aéreo, mas também os fatores humanos e organizacionais envolvidos. A entrada de novos atores operacionais exige adaptações nos sistemas de gerenciamento de tráfego aéreo e desafia a capacidade regulatória e tecnológica dos órgãos responsáveis (Pongsakornsathien et. al 2025).

Este trabalho analisa os riscos do compartilhamento do espaço aéreo de baixa altitude a partir de uma abordagem sistêmica, baseada no modelo HFACS (Human Factors Analysis and Classification System), visando identificar falhas ativas, latentes e influências contextuais que contribuem para eventos de risco.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

Informações recentes fornecidas pelo setor de coordenação e controle de UAS do Subdepartamento de Operações do DECEA revelam que, no início de dezembro de 2024, o número de solicitações já ultrapassava 375 mil. A projeção é de que até o final do ano o total alcance a marca de 400 mil registros. Apesar de esse crescimento representar um avanço importante para o setor aeronáutico e para a economia como um todo, especialistas como Silva e Rosa (2023, p. 516) alertam para os

riscos associados a operações fora da legalidade, muitas vezes motivadas pela falta de conhecimento das normas vigentes ou pelo não cumprimento das exigências legais relacionadas ao cadastro de aeronaves, habilitação de pilotos e regras de acesso ao espaço aéreo.

Casos divulgados por meios de comunicação e documentados por órgãos de segurança pública indicam um aumento nas ocorrências de uso indevido de drones (Tabela 1). Esses incidentes envolvem áreas sensíveis como aeroportos e instituições prisionais, além de episódios em eventos públicos, operações de tráfico de entorpecentes, invasão de privacidade, lesões corporais e danos materiais e morais.

A partir da promulgação da Lei nº 11.182/2005, a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) passou a exercer a função de autoridade reguladora da aviação civil no Brasil. Desde então, a responsabilidade pelo cadastro de aeronaves, pela certificação de equipamentos e pela emissão de licenças para pilotos remotos passou a ser da ANAC. Conforme estabelecido no artigo 8º, inciso XVII, da referida lei, cabe à Agência "proceder à homologação e emitir certificados, atestados, aprovações e autorizações relativos às atividades de competência do sistema de segurança de voo da aviação civil, bem como licenças de tripulantes e certificados de habilitação técnica e de capacidade física e mental, observados os padrões e normas por ela estabelecidos" (BRASIL, 2005).

Por outro lado, a atribuição de gerenciar o uso efetivo do espaço aéreo por drones é incumbência do DECEA, na qualidade de autoridade aeronáutica. O Código Brasileiro de Aeronáutica, por sua vez, autoriza essa autoridade a solicitar o apoio das forças policiais para fiscalizar eventuais violações às regras de uso do espaço aéreo, reforçando assim a necessidade de integração entre órgãos civis e de segurança na gestão dessa nova realidade aérea.

3 REGULAMENTAÇÃO

No contexto brasileiro, a regulamentação das operações com aeronaves não tripuladas envolve a atuação conjunta de três órgãos principais. A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) é responsável por normatizar e fiscalizar a formação e habilitação de operadores, além de conduzir o processo de certificação das aeronaves. Já o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) tem como atribuição o gerenciamento do uso do espaço aéreo nacional, zelando pela segurança das operações. Complementarmente, a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) atua na supervisão e controle das frequências de rádio utilizadas por esses equipamentos, garantindo que sua operação não interfira em sistemas de comunicação essenciais.

Com o objetivo de estabelecer diretrizes claras para o uso seguro e ordenado dos drones no espaço aéreo brasileiro, o DECEA lançou, em 2015, a primeira edição da ICA 100-40, intitulada "Sistema de Aeronaves Remotamente Pilotadas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro" (DECEA, 2015, p. 8). O documento, que marcou um avanço na regulamentação nacional sobre o tema, apresenta logo em seu prefácio as bases conceituais e operacionais para a integração segura dos sistemas remotamente pilotados ao ambiente aéreo do país:

> "Portanto, um dos objetivos dessa instrução é ter um forte apelo educacional, contribuindo para que se evitem violações e se fortaleça a consciência de Segurança Operacional em todos os envolvidos na operação do RPAS.

No que diz respeito às medidas voltadas à segurança das operações com drones, destaca-se o RBAC-E nº 94 – Requisitos Gerais para Aeronaves Não Tripuladas de Uso Civil (BRASIL, 2017, p. 3). Em seu preâmbulo, o regulamento ressalta que seu propósito é definir as condições para a operação desses equipamentos no Brasil, considerando o nível atual de desenvolvimento tecnológico do setor. O documento tem como objetivo central garantir uma evolução segura e sustentável da atividade, motivo pelo qual estabelece, desde já, algumas limitações operacionais,

especialmente aquelas relacionadas à proximidade de pessoas não envolvidas na operação.

A fim de atender às exigências previstas no RBAC-E nº 94, que determina o cadastro obrigatório de aeronaves não tripuladas, a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) implementou o Sistema de Aeronaves Não Tripuladas (SISANT). Esse sistema é voltado ao registro de drones utilizados para fins recreativos com peso máximo de decolagem superior a 250 gramas, bem como para aeronaves da classe 3, que correspondem a equipamentos com peso acima de 250 gramas e até 25 quilos, empregados em atividades não recreativas. Para ambos os casos, as operações devem ocorrer em linha de visada visual, respeitando o limite de altitude de até 400 pés acima do solo, conforme estabelecido pelas normas vigentes.

4 ESPAÇO AÉREO (ATM E INSERÇÃO DAS AERONAVES NÃO TRIPULADAS)

No Brasil, o Sistema de Solicitação de Acesso ao Espaço Aéreo – Nova Geração (SARPAS NG) foi desenvolvido pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) com a finalidade de permitir o gerenciamento e a autorização formal do uso do espaço aéreo por drones. Essa nova plataforma, que substituiu o sistema anterior, apresenta uma interface mais atualizada, maior nível de automação e integração direta com mapas e informações aeronáuticas em tempo real. Através do SARPAS NG, operadores de drones devidamente registrados na ANAC, seja pelo SISANT, para operadores recreativos, ou pelo CANAC (Código ANAC), no caso de pilotos profissionais podem solicitar autorização para voar em áreas controladas, consultar zonas com restrições, programar parâmetros de missão e obter aprovações automáticas ou condicionais, conforme a natureza da operação, a altitude pretendida, a localização e o horário. A utilização do sistema é obrigatória para voos realizados acima de 120 metros de altura ou em áreas urbanas e próximas a aeródromos, conforme ilustra a Figura 1.

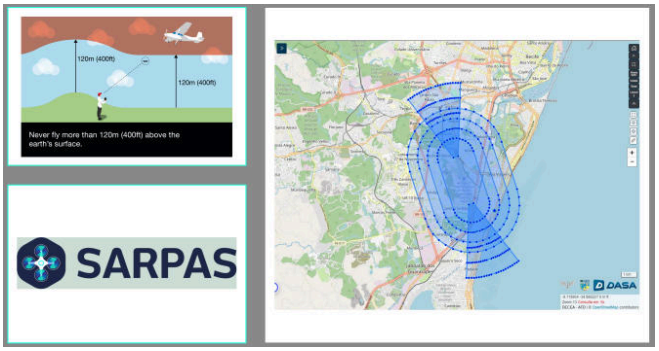


Figura 1 - Sistema de gerenciamento e proteção de voo por geofencing - Cap Robson, Projeto BR-UTM - ICEA 2023

Paralelamente, o gerenciamento do tráfego aéreo de aeronaves tripuladas no Brasil é responsabilidade do sistema conhecido como *Air Traffic Management (ATM)*, também sob a coordenação do DECEA. Esse sistema é estruturado conforme os padrões da Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO), adaptados à realidade brasileira. Detalhado pela Figura 2, o ATM integra diversos serviços, como o controle de tráfego aéreo (ATC), informações de voo (FIS), serviços de alerta, gerenciamento do fluxo de tráfego aéreo (ATFM) com foco na prevenção de congestionamentos e o gerenciamento do espaço aéreo (ASM), que define zonas segregadas, restritas, proibidas ou controladas.

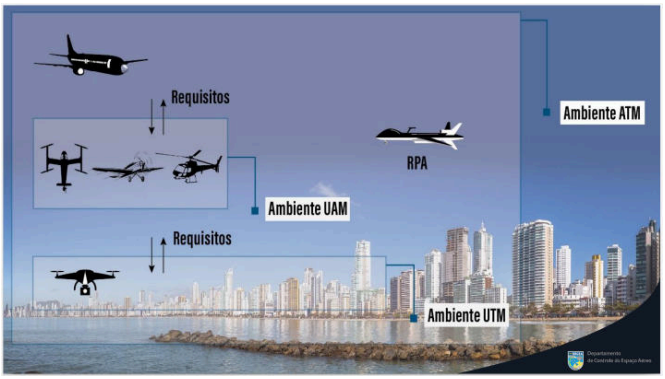


Figura 2 - Estrutura do Espaço Aéreo - Ten. Rennó, Mobilidade Aérea Urbana UAM - ICEA 2023

O espaço aéreo do país é segmentado em diferentes porções, como as regiões de informação de voo (FIRs), zonas de controle terminal (TMAs), zonas de controle (CTRs), áreas de tráfego aéreo (ATZs) e as classificações de espaço aéreo inferior e superior. Cada uma dessas divisões possui regras específicas, limites de altitude e requisitos próprios para o envio de planos de voo e para a comunicação entre aeronaves e os centros de controle.

Para operar legalmente no espaço aéreo controlado, as aeronaves devem estar registradas na ANAC por meio do Registro Aeronáutico Brasileiro (RAB), e os pilotos devem possuir licenças válidas e habilitações técnicas, conforme os registros mantidos no CANAC (Código ANAC). É obrigatório o envio de um plano de voo antes da realização de qualquer operação em áreas controladas, e as comunicações com os órgãos de controle são realizadas via rádios aeronáuticos, em conformidade com os procedimentos descritos no ICA 100-12, além dos regulamentos RBAC 91 e RBAC 61, que tratam, respectivamente, das regras gerais de operação e das exigências para habilitação de pilotos.

Além desses, circulares de informação aeronáutica (AICs) e avisos aos navegantes (NOTAMs), emitidos pelo DECEA, complementam o conjunto normativo, trazendo atualizações e restrições temporárias ou permanentes que impactam o tráfego aéreo. O sistema ATM, atualmente, passa por um processo de modernização e expansão com o objetivo de incorporar tecnologias voltadas à gestão de tráfego aéreo não tripulado (UTM). Esse novo modelo funcionará de forma paralela, porém integrada ao ATM convencional, com vistas à convivência segura e coordenada entre aeronaves tripuladas e não tripuladas no espaço aéreo compartilhado.

5 REFERENCIAL TEÓRICO

5.1 Sistemas Complexos

Sistemas complexos são arranjos técnicos e organizacionais compostos por múltiplos componentes interdependentes, cuja interação não pode ser completamente prevista ou controlada por meio de abordagens lineares ou determinísticas. De forma oposta a cenários lineares e com relações de causalidade simples, esses sistemas operam sob condições de alta variabilidade, com múltiplas camadas de controle e adaptação. Desse modo, o risco não resulta de falhas isoladas de componentes, mas sim de interações dinâmicas entre elementos técnicos e humanos, exigindo abordagens de gestão integradas e sociotécnicas.

Sistemas sociotécnicos complexos devem ser compreendidos a partir da interação contínua entre pessoas, processos, softwares, hardware e estruturas organizacionais (Leveson, 2011). Essas interações geram comportamentos emergentes que podem comprometer a segurança mesmo quando todos os componentes funcionam conforme projetado.

As principais características de sistemas complexos (Leveson, 2011) incluem interações não lineares, acoplamento estreito entre elementos, variabilidade no desempenho humano, múltiplos níveis de decisão e operação sob incerteza. Essas condições dificultam a previsão de consequências

e a contenção de falhas. A complexidade exige, portanto, abordagens analíticas que considerem o sistema como um todo, indo além da simples atribuição de culpa a falhas humanas isoladas.

5.2 HFACS

O *Human Factors Analysis and Classification System* (HFACS) é uma estrutura analítica desenvolvida por Shappell e Wiegmann (2000) para identificar e classificar falhas humanas que contribuem para acidentes em sistemas complexos (HFACS Inc., 2025). Baseado no modelo conhecido como queijo-suíço (Reason, 1990) sobre falhas latentes e defesas em profundidade, o HFACS organiza os fatores contribuintes em quatro níveis hierárquicos, abrangendo desde ações operacionais até influências organizacionais de alto nível: atos inseguros envolvem erros ou violações cometidos pelos operadores. As pré-condições incluem fatores ambientais, psicológicos ou de equipe que afetam o desempenho. A supervisão inadequada refere-se a falhas no planejamento, na imposição de normas ou na prevenção de práticas inseguras. Já as influências organizacionais abrangem aspectos estruturais e culturais que afetam indiretamente todos os demais níveis.

O HFACS foi originalmente desenvolvido para investigar acidentes militares da Marinha dos Estados Unidos, mas desde então tem sido amplamente empregado em investigações civis, sistemas de transporte e operações complexas envolvendo automação e múltiplos agentes. Sua aplicação em cenários de tráfego aéreo de baixa altitude permite mapear, de forma estruturada, os pontos de falha, tanto imediatos quanto sistêmicos, que contribuem para a degradação da segurança operacional em ambientes com alta variabilidade, como os que envolvem aeronaves tripuladas e drones em espaço aéreo não controlado.

6 ESTUDO DE CASO

O acidente ocorrido em 10 de agosto de 2021, envolvendo um Cessna 172N (matrícula C-GKWL) e um drone DJI Matrice M210 operado pela York Regional Police (YRP), nas imediações do Aeroporto de Buttonville (Canadá), representa um caso emblemático para analisar esses desafios sob a perspectiva de fatores humanos.

O Cessna 172N estava em um voo de treinamento VFR com um aluno e instrutor a bordo, quando impactou algo na final para aproximação na pista 15. Inicialmente acreditaram ser um pássaro, mas após pousar, identificaram que o dano na carenagem dianteira esquerda apresentava outra origem. O drone envolvido era um DJI Matrice M210 da York Regional Police, que estava pairando a 400 pés AGL para suporte operacional. Ele foi completamente destruído no impacto. (TSB Canadá, 2021). A Figura 3 apresenta o estado final após a colisão entre as aeronaves.



Figura 3 - Colisão com drone e aeronave - TSB Canadá, 2021

Para compreender como múltiplos fatores contribuíram para o acidente, foi aplicado o modelo Human Factors Analysis and Classification System (HFACS), desenvolvido por , que organiza os fatores contributivos em quatro níveis hierárquicos: atos inseguros, condições precursoras, supervisão inadequada e influências organizacionais.

3.1) Análise pelo HFACS

Nível 1: Atos inseguros, ilustrado pela Figura 4.

No núcleo do acidente encontram-se ações diretas dos operadores. Os pilotos do Cessna 172N, durante a aproximação final para a pista 15, realizaram uma varredura visual ineficaz, não detectando a presença do drone a tempo de evitar a colisão, erro de percepção potencialmente influenciado pela expectativa de operar em espaço aéreo livre de drones.

Por parte da equipe da YRP, o piloto remoto acumulou tarefas críticas de pilotagem, operação de câmera e comunicação, levando a sobrecarga cognitiva que reduziu sua capacidade de vigilância ativa. Além disso, a decisão de não coordenar previamente com o controle de tráfego aéreo (ATC) configura um erro de decisão importante, considerando a proximidade da operação ao setor crítico do final de pista.

No âmbito das violações, constatou-se que a operação realizada pela equipe da YRP se deu em local proibido. Foi também observado que a facilidade em operar o equipamento remoto através das câmeras embarcadas induz o piloto remoto a não manter o contato visual com o drone. No entanto, a análise restrita apenas ao relatório impossibilita a classificação deste fator como erro ou violação.

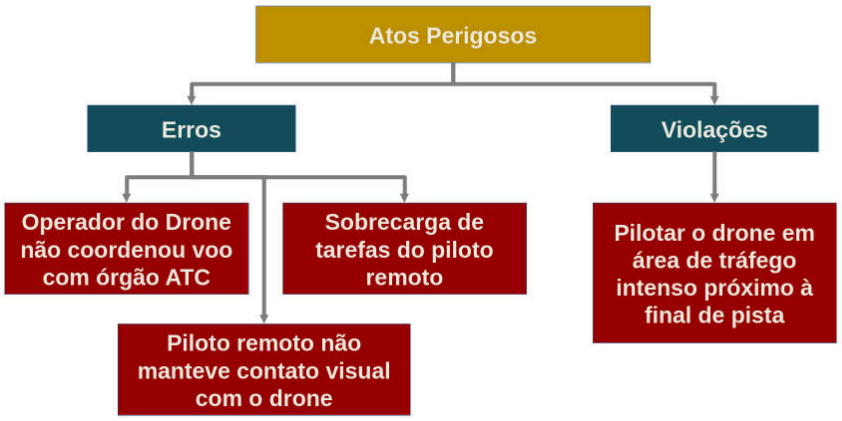


Figura 4 - Análise HFACS - Nível 1

Nível 2: Condições precursoras, ilustrado pela Figura 5

Entre as condições imediatas que favoreceram esses atos inseguros, destacam-se aspectos individuais e contextuais. Os pilotos do Cessna 172N mantinham expectativa de operar apenas com tráfego conhecido, subestimando o risco representado por drones, cuja presença não foi comunicada.

No caso da equipe do drone, a ausência de treinamento formal para observadores visuais compromete a eficácia da vigilância do espaço aéreo. A operação dependia exclusivamente da detecção visual, sem apoio tecnológico como sistemas de "*detect and avoi*d" (DAA) ou transponder ADS-B Out, aumentando a vulnerabilidade para erros humanos (ICAO, 2018). Além disso, a escolha de posicionar o drone próximo à trajetória de aproximação elevou substancialmente o risco de conflito.

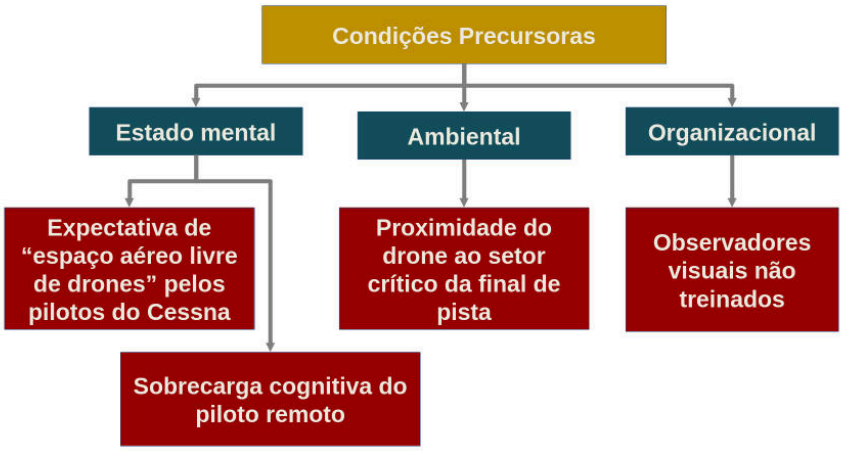


Figura 5 - Análise HFACS - Nível 2

Nível 3: Supervisão inadequada, ilustrado pela Figura 6.

A análise revela falhas importantes no planejamento e supervisão da missão da YRP. Não haviam procedimentos robustos para a designação de observadores visuais treinados, tampouco exigência formal de realização de avaliação de risco pré-missão (Shappell e Wiegmann, 2000).

A ausência de *briefing* detalhado sobre o tráfego local e a permissão para que o piloto remoto acumulasse funções críticas sem apoio adequado configuram supervisão inadequada. Além disso, a operação foi conduzida sem notificação ao ATC, contrariando boas práticas previstas em operações de drones em espaço aéreo controlado (ICAO, 2018).

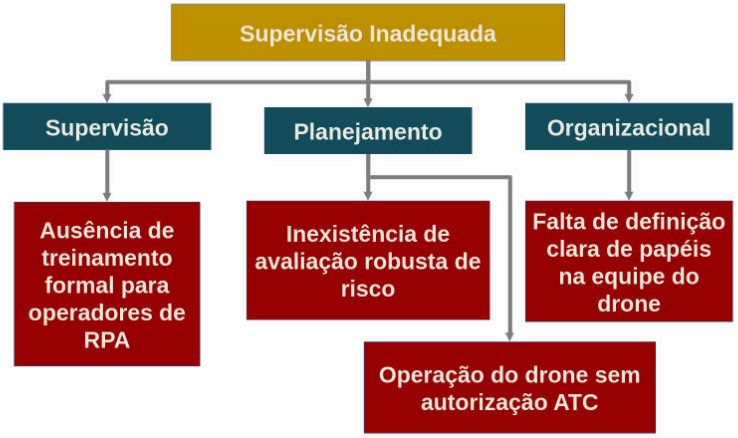


Figura 6 - Análise HFACS - Nível 3

Nível 4: Influências organizacionais, ilustrado pela Figura 7.

No nível mais profundo, estão fatores relacionados à política, cultura e processos da organização. A YRP não dispunha de procedimentos estruturados para garantir a coordenação com o ATC antes de operar próximo ao final da pista, nem de política clara de análise de risco para operações em áreas críticas.

A cultura organizacional parece ter priorizado o cumprimento da missão policial em detrimento de uma abordagem sistemática de segurança aérea. Além disso, não foram disponibilizados recursos tecnológicos ou treinamento suficiente para mitigar riscos operacionais, mantendo a operação fortemente dependente de vigilância visual, reconhecidamente sujeita a limitações humanas.



Figura 7 - Análise HFACS - Nível 4

A análise do acidente entre o Cessna 172N e o drone da YRP, estruturada pelo modelo HFACS evidencia como acidentes não resultam apenas de erros individuais, mas de uma combinação complexa de falhas latentes na organização, supervisão inadequada, condições precursoras e atos inseguros.

Esse estudo reforça a necessidade de políticas claras, treinamento contínuo, avaliação rigorosa de risco e adoção de tecnologias para mitigar limitações humanas, especialmente em operações de drones em áreas de espaço aéreo controlado. A integração segura entre aviação tripulada e não tripulada exige abordagens sistêmicas que considerem fatores humanos e organizacionais de forma ampla (ICAO, 2018; Shappell & Wiegmann, 2000; Reason, 1997).

7 CONCLUSÃO

As análises realizadas evidenciam que mitigar os riscos do compartilhamento do espaço aéreo entre aeronaves tripuladas e drones requer uma abordagem integrada, combinando medidas regulatórias, educacionais e operacionais. Destaca-se o fortalecimento da regulação, com a criação ou ampliação de zonas de exclusão bem delimitadas e tecnicamente bloqueadas ao redor de áreas sensíveis, reduzindo a dependência do comportamento voluntário dos operadores. Tecnologias como identificação remota (remote ID) também podem ser exigidas em regiões críticas, viabilizando monitoramento em tempo real e resposta preventiva.

Paralelamente, é essencial investir na capacitação de operadores, visando fatores humanos identificados pela análise HFACS, como julgamentos inadequados, percepção de risco deficiente e violações motivadas por pressões externas. Campanhas educativas, materiais didáticos contextualizados e atualizações periódicas para operadores profissionais podem fomentar uma cultura de segurança baseada na compreensão das consequências de comportamentos inseguros.

Também se destaca a necessidade de maior integração entre ANAC, DECEA, operadores locais, escolas de aviação e associações de pilotos, por meio de protocolos operacionais conjuntos, comunicação em tempo real sobre missões críticas e sistemas colaborativos de gestão de tráfego (UTM). Trabalhos futuros podem explorar plataformas digitais que centralizem dados de diversos agentes para subsidiar decisões dinâmicas e prevenir conflitos.

Em síntese, propõe-se uma abordagem sistêmica e multidisciplinar, que supere soluções pontuais e incorpore dimensões técnicas, humanas, organizacionais e regulatórias. Como aprimoramentos, recomendam-se estudos empíricos sobre a eficácia das medidas, mapeamento de barreiras regionais e aprofundamento por métodos sistêmicos, como FRAM ou STAMP, para antecipar riscos emergentes e fortalecer a segurança em baixa altura.

8 REFERÊNCIAS

A. Andreeva-Mori, K. Ohga, K. Kobayashi, A. Yoshida and N. Takeichi, "Manned Aircraft Situation Awareness Technology for Low-altitude Predicted Trajectory Conformance," *2022 IEEE/AIAA 41st Digital Avionics Systems Conference (DASC)*, Portsmouth, VA, USA, 2022, pp. 1-6, https://doi.org/10.1109/DASC55683.2022.9925866

Aerospace Sciences, v. 154, 2025, 101085. ISSN 0376-0421. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2025.101085. Acesso em: 11 jul. 2025.

Clothier, R. A., Greer, D. A., Greer, D. G., & Mehta, A. M. (2015). Risk perception and the public acceptance of drones. Risk Analysis, 35(6), 1167–1183.

DECEA – Departamento de Controle do Espaço Aéreo. *Solicitações de voos de drones aumentam 22% no primeiro trimestre de 2025*. Disponível em: https://www.decea.mil.br/?i=midia-e-informacao&p=pg_noticia&materia=solicitacoes-de-voos-de-drones-aumentam-22-no-primeiro-trimestre-de-2025. Acesso em: 11 jul. 2025.

HFACS Inc. *HFACS Framework*. Disponível em: https://www.hfacs.com/hfacs-framework.html. Acesso em: 11 jul. 2025.

ICAO – International Civil Aviation Organization. (2018). Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) (Doc 10019).

LEVESON, N. G. *Engineering a Safer World: Systems Thinking Applied to Safety*. Cambridge: MIT Press, 2011.

PONGSAKORNSATHIEN, N.; SAFWAT, N. E.-D.; XIE, Y.; GARDI, A.; SABATINI, R. *Advances in low-altitude airspace management for uncrewed aircraft and advanced air mobility*. Progress in Aerospace Sciences, v. 154, 2025, 101085. ISSN 0376-0421. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2025.101085.

Reason, J. (1997). Managing the Risks of Organizational Accidents. Ashgate.

ROSA, Carlos Eduardo Valle (org.). A geopolítica aplicada ao poder aeroespacial na atualidade. Rio de Janeiro: EDUNIFA, 2024. 80 p. (v. 2). ISBN 978-65-89535-23-2.

Shappell, S. A., & Wiegmann, D. A. (2000). The Human Factors Analysis and Classification System – HFACS. Office of Aviation Medicine Report.

SILVA, R.S.; SILVA, R.S.M.; REGIS, J.A.A.; TEIXEIRA, J.R.Acessoao espaço aéreo brasileiro por aeronaves não tripuladas. Revista do CIAAR,Lagoa Santa, v. 1, n.1, p. 23-40,out. 2020

Transportation Safety Board of Canadá (2021). DIsponível em: https://www.tsb.gc.ca/eng/rapports-reports/aviation/2021/a21o0069/a21o0069.html Acesso em Junho/2025.

WEINERT, A.; BARRERA, G. *A Review of Low Altitude Manned Aviation Operations*. MIT Lincoln Laboratory, 2020. Preprint. Disponível em: https://doi.org/10.20944/preprints202007.0522.v1.

ZHANG, N.; LIU, H.; NG, B. F.; LOW, K. H. *Collision probability between intruding drone and commercial aircraft in airport restricted area based on collision-course trajectory planning*. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, v. 120, 2020, 102736. ISSN 0968-090X. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.trc.2020.102736.

Reason JT (1990). Human error. Cambridge, England: Cambridge University Press.