

**UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO - UNINOVE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

ALBERTO MENDONÇA DE ALMEIDA

**SEGURANÇA OPERACIONAL E AERONAVES NÃO TRIPULADAS:
IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS RELACIONADOS A ATIVIDADE DE CONTROLE
DE TRÁFEGO AÉREO RESULTANTES DA INTRODUÇÃO DOS DRONES NA
CIRCULAÇÃO AÉREA**

**SÃO PAULO
2024**

ALBERTO MENDONÇA DE ALMEIDA

**SEGURANÇA OPERACIONAL E AERONAVES NÃO TRIPULADAS:
IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS RELACIONADOS A ATIVIDADE DE CONTROLE
DE TRÁFEGO AÉREO RESULTANTES DA INTRODUÇÃO DOS DRONES NA
CIRCULAÇÃO AÉREA**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Engenharia de Produção.

Prof. Luiz Fernando Rodrigues Pinto, Dr. - Orientador

**SÃO PAULO
2024**

Almeida, Alberto Mendonça de.

Segurança operacional e aeronaves não tripuladas: identificação de perigos relacionados a atividade de controle de tráfego aéreo resultantes da introdução dos drones na circulação aérea. / Alberto Mendonça de Almeida. 2024.

132 f.

Tese (Doutorado) – Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2024.

Orientador (a): Prof. Dr. Luiz Fernando Rodrigues Pinto.

1. Gerenciamento do tráfego de aeronave não tripulada. 2. Sistemas de aeronaves não tripuladas. 3. Gerenciamento de riscos. 4. Segurança operacional.

I. Pinto, Luiz Fernando Rodrigues. II. Título

CDU 658.5

PARECER – EXAME DE DEFESA

Parecer da Comissão Examinadora designada para o exame de defesa do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção a qual se submeteu o aluno **ALBERTO MENDONÇA DE ALMEIDA**.

Tendo examinado o trabalho apresentado para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção, com Tese intitulada "SEGURANÇA OPERACIONAL E AERONAVES NÃO TRIPULADAS: IDENTIFICAÇÃO DE PERIGOS RELACIONADOS A ATIVIDADE DE CONTROLE DE TRÁFEGO AÉREO RESULTANTES DA INTRODUÇÃO DOS DRONES NA CIRCULAÇÃO AÉREA", a Comissão Examinadora considerou o trabalho:

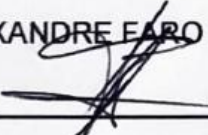
(☒) **Aprovado** () **Aprovado condicionalmente**
() **Reprovado com direito a novo exame** () **Reprovado**

EXAMINADORES

Prof. Dr. LUIZ FERNANDO RODRIGUES PINTO - UNINOVE (Orientador)



Prof. Dr. ALEXANDRE FARO KAPERAVICZUS – UAM (Membro Externo)



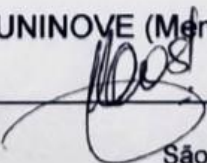
Prof. Dr. WALTER CARDOSO SATYRO – PPGP/UNINOVE (Membro Externo)



Prof. Dr. PETERSON ADRIANO BELAN – PPGI/UNINOVE (Membro Externo)



Prof. Dr. IVANIR COSTA – PPGI/UNINOVE (Membro Externo)



São Paulo, 04 de dezembro de 2024

Dedico esse trabalho à minha querida esposa Angela e minha amada filha Fernanda que me apoiaram incondicionalmente nesse desafio e foram a motivação e o suporte para me manter firme nesse propósito. São a minha força e minha inspiração, sem vocês eu não teria conseguido chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus e a Nossa Senhora da Conceição Aparecida pela proteção, força e encaminhamento nos momentos difíceis, por terem guiado meus passos e me conduzido sob suas guardas até aqui. Em certos momentos somente a crença e a fé dão a força e o direcionamento necessário para prosseguir.

Em segundo lugar a minha família, especialmente à minha querida esposa Angela que me deu força e incentivo nos momentos de fraqueza e à minha amada filha Fernanda, fonte de inspiração nos momentos de desânimo e cansaço, vê-la estudando aos finais de semana, motivava-me a prosseguir nessa dura jornada. Perdoem, minhas queridas, pela prolongada ausência e por ter sacrificado momentos de lazer e convivência familiar ao lado de vocês.

Aos meus queridos pais, Armando e Ivalda, pelo exemplo de vida e construção de uma sólida base familiar que guiou meus passos, orientou meus caminhos e me ensinou a seguir em frente com muita garra e perseverança.

Ao meu orientador, professor Prof. Dr. Luiz Fernando Rodrigues Pinto, pelo direcionamento técnico, organização na orientação, cordialidade, respeito, postura ética e profissional na condução deste trabalho, identificando e ajudando a solucionar, com excelência didática, as dificuldades naturais do orientado.

Aos mestres que fizeram e ainda fazem parte deste programa, especialmente ao Prof. Dr. Wagner Cesar Lucato, pela excelência e boa vontade na transmissão dos conhecimentos duramente adquiridos ao longo de suas vidas.

Também gostaria de expressar minha sincera gratidão aos professores membros das bancas pela dedicação, avaliação rigorosa, vasto conhecimento e experiência. Foram fundamentais para o meu crescimento acadêmico e conclusão desse trabalho

Finalmente à UNINOVE pela oportunidade que ofereceu, possibilitando a continuidade dos meus estudos. O profissionalismo de seus dirigentes e colaboradores foi fundamental para meu aperfeiçoamento pessoal e profissional.

RESUMO

Nos últimos anos, houve o aumento das atividades relacionadas aos sistemas de aeronaves não tripuladas e a implementação desse novo ecossistema tem produzido novos perigos associados a essas atividades com impacto na segurança operacional do tráfego aéreo, especialmente em áreas próximas aeroportos, causando, além dos riscos operacionais, interrupções do fluxo de aeronaves. Com a criação do espaço aéreo para gerenciamento de tráfego aéreo não tripulado, há a necessidade da integração desse novo espaço aéreo com o já existente e atualmente utilizados pelas aeronaves tripuladas, surgindo a possibilidade de problemas decorrentes dessa integração. Dessa forma foi verificada a necessidade de um método para orientar a identificação de perigos gerados para a atividade de controle de tráfego aéreo e para a implementação das medidas mitigadoras necessárias devido a integração dos veículos aéreos não tripulados na circulação aérea. Esse trabalho tem o objetivo propor um framework para a identificação de perigos gerados visando a transição transparente e segura desse processo após a identificação e tratamento dos perigos associados à mudança. O método consistiu, de uma consulta aos especialistas em segurança operacional de tráfego aéreo, por meio de um formulário, apresentando os perigos evidenciados pela literatura relacionados à integração dos novos conceitos de espaço aéreo dentro da atividade de controle de tráfego aéreo. Os resultados foram organizados no framework proposto que estabelece uma orientação das atividades de gerenciamento de riscos com vistas a implementação da mudança, organizando os perigos identificados. A estrutura resultante foi apresentada novamente aos especialistas e validados com base no método Delphi. Como contribuições para a sociedade foi apresentado uma orientação, não só para esse processo, mas também para outras implementações futuras, para a literatura foi preenchida uma lacuna de pesquisa existente e foi acrescentado conhecimento ao processo científico.

Palavras Chaves: Gerenciamento do Tráfego de Aeronave não Tripulada, Sistemas de Aeronaves não Tripuladas, Gerenciamento de Riscos, Segurança Operacional.

ABSTRACT

In recent years, there has been an increase in activities related to unmanned aircraft systems (UAS), and the implementation of this new ecosystem has introduced new hazards associated with these activities, particularly impacting the operational safety of air traffic, especially in areas near airports. These activities cause not only operational risks but also disruptions in the flow of aircraft. With the creation of airspace for the management of unmanned air traffic, there is a need to integrate this new airspace with the existing airspace currently used by manned aircraft, raising the possibility of problems arising from this integration. Thus, the necessity for a method to guide the identification of hazards generated for air traffic control activities and for implementing necessary mitigating measures due to the integration of unmanned aerial vehicles into air circulation was recognized. This work aims to propose a framework for identifying hazards generated to ensure a transparent and safe transition process after identifying and addressing the hazards associated with the change. The method consisted of consulting air traffic operational safety experts through a form that presented the hazards evidenced by the literature related to the integration of new airspace concepts within air traffic control activities. The results were organized into the proposed framework, which establishes a guide for risk management activities concerning the implementation of change, organizing the identified hazards. The resulting structure was presented again to the experts and validated based on the Delphi method. The contribution to society is a guide that was presented, not only for this process, but also for future implementations. For literature, an existing research gap was filled, and knowledge was added to the scientific process.

Keywords: Unmanned Aircraft Traffic Management, Unmanned Aircraft Systems, Risk Management, Operational Safety.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|-----|
| Figura 1: Estrutura futura do espaço aéreo | 22 |
| Figura 2: Estrutura do Espaço Aéreo | 26 |
| Figura 3: Conceito de desvio operacional | 27 |
| Figura 4: Proposta de Classificação dos perigos | 34 |
| Figura 5: Proposta de Classificação dos perigos | 36 |
| Figura 6: Fluxograma da bibliometria | 42 |
| Figura 7: Modelo de 5 Fatores. | 87 |
| Figura 8: Cenário operacional | 89 |
| Figura 9: Proposta de Framework baseado nos levantamentos literários | 92 |
| Figura 10: Framework para análise de riscos adaptado após validação | 111 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| Tabela 1: Área do conhecimento | 45 |
| Tabela 2: Levantamento dos perigos citados na revisão bibliográfica | 54 |
| Tabela 3: Perigo 01 e ações mitigadoras | 56 |
| Tabela 4: Perigo 02 e ações mitigadoras | 60 |
| Tabela 5: Perigo 03 e ações mitigadoras | 66 |
| Tabela 6: Perigo 04 e ações mitigadoras | 69 |
| Tabela 7: Perigo 05 e ações mitigadoras | 74 |
| Tabela 8: Perigo 06 e ações mitigadoras | 77 |
| Tabela 9: Perigo 07 e ações mitigadoras | 80 |
| Tabela 10: Perigo 08 e ações mitigadoras | 83 |
| Tabela 11: Tabela de distribuição dos perigos identificados ajustadas | 102 |

LISTA DE ABREVIATURAS

| | |
|-------|--|
| ACAS | Sistema Embarcado para Evitar Colisões |
| ACC | Centro de Controle de Área |
| ADS-B | Vigilância Dependente Automática por Radiodifusão |
| ALARP | Tão Baixo Quanto Possível |
| APP | Controle de Aproximação |
| AS | Serviço de Alerta |
| ATC | Serviço de Controle de Tráfego Aéreo |
| ATCO | Controladores de Tráfego Aéreo |
| ATM | Sistema de Gerenciamento de Tráfego Aéreo |
| ATZ | Zona de Tráfego de Aeródromo |
| BDS | Bases de Dados do Sistema |
| CTA | Área de Controle |
| CTR | Zona de Controle |
| FIR | Região de Informação de Voo |
| FIS | Serviços de Informação de Voo |
| FRMS | Sistemas de Gerenciamento de Risco de Fadiga. |
| GRSO | Gerenciamento de Riscos à Segurança Operacional |
| ICAO | Organização da Aviação Civil Internacional |
| IFR | Regras de Voo por Instrumentos |
| RPA | Aeronaves Remotamente Pilotadas |
| SRM | Gerenciamento de Riscos |
| SSR | Radar Secundário de Vigilância |
| TCAS | Equipamentos de Detecção de Proximidade e Alertas de Colisão |
| TMA | Áreas de Controle Terminal |
| TWR | Torres de Controle |
| UAM | Mobilidade Aérea Urbana |
| UAS | Sistema de aeronaves não tripuladas |
| UAV | Veículos Aéreos Não Tripulados |
| UTM | Sistema de Gerenciamento de Aeronaves Não Tripuladas |
| VFR | Regras de Voo Visual |
| ZPA | Zona de Proteção de Aeródromos |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.2 OBJETIVOS DE PESQUISA | 17 |
| 1.3 JUSTIFICATIVAS PARA ESTUDO DO TEMA | 17 |
| 1.4 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO | 19 |
| 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO | 19 |
| 2 REVISÃO DA LITERATURA | 21 |
| 2.1 SISTEMA DE CONTROLE DE TRÁFEGO AÉREO | 21 |
| 2.1.1 Órgãos de Controle de Tráfego Aéreo | 23 |
| 2.1.2 Serviços prestados pelos Órgãos de Controle de Tráfego Aéreo | 23 |
| 2.1.3 Espaços Aéreos | 24 |
| 2.1.4 Regras de Voo | 25 |
| 2.2 DRONE, RPA, RPAS, UAV, UAS E E-VTOL | 26 |
| 2.3 GERENCIAMENTO DE RISCOS | 27 |
| 2.3.1 Perigos identificados relacionados ao uso dos UAV | 28 |
| 2.3.2 Gerenciamento de riscos na aviação | 32 |
| 2.4 CIRCULAÇÃO AÉREA | 37 |
| 3 METODOLOGIA | 38 |
| 3.1 ETAPAS DA PESQUISA | 38 |
| 3.1.1 Etapa 1: Bibliometria | 38 |
| 3.1.2 Etapa 2: Instrumento de pesquisa | 45 |
| 3.1.3 Etapa 3: Amostra de sujeitos de pesquisa | 46 |
| 3.1.4 Etapa 4: Coleta de dados | 48 |
| 3.1.5 Etapa 5: Produto de pesquisa e validação | 49 |
| 4 RESULTADOS | 50 |
| 4.1 RESULTADOS DO LEVANTAMENTO BIBLIOMÉTRICO | 50 |
| 4.2 RESULTADO DA ANÁLISE DOS ESPECIALISTAS | 54 |
| 4.2.1 Colisão com aeronaves tripuladas | 55 |
| 4.2.2 Colisão com estruturas no solo | 60 |
| 4.2.3 Descumprimento de legislação de tráfego aéreo | 65 |
| 4.2.4 Colisão com pessoas no solo | 69 |
| 4.2.5 Erros de operação do piloto | 73 |
| 4.2.6 Falhas no sistema UAS | 76 |
| 4.2.7 Colisão com aeronaves não tripuladas | 80 |
| 4.2.8 Interferência nas comunicações | 82 |

| | |
|---|-----|
| 4.3 PROPOSIÇÃO DO FRAMEWORK..... | 87 |
| 4.4 ANÁLISE DO <i>FRAMEWORK</i> PROPOSTO | 93 |
| 4.4.1 Perigo 1: Falha operacional do ATCO | 93 |
| 4.4.2 Perigo 2: Falha dos meios..... | 97 |
| 4.4.3 Perigo 3: Falha do piloto | 99 |
| 4.5 VALIDAÇÃO DO <i>FRAMEWORK</i> JUNTO AOS ESPECIALISTAS..... | 103 |
| 5 DISCUSSÃO | 112 |
| 6 CONCLUSÃO..... | 115 |
| REFERÊNCIAS..... | 117 |
| APÊNDICE A - Questionário para Pesquisa. | 123 |
| APÊNDICE B - Proposta de framework para validação dos especialistas | 128 |

1 INTRODUÇÃO

As atividades relacionadas ao Sistema de Aeronaves Não Tripuladas (*Unmanned Aircraft Systems* - UAS) têm aumentado rapidamente, nas mais diversas áreas comerciais de serviços, setores agrícolas e inspeções, atividades de entregas de encomendas e entretenimento produzindo um campo de oportunidades ilimitadas. No entanto, é necessário considerar o impacto dessas atividades na privacidade dos cidadãos, na segurança pública (incluindo atividades maliciosas, ações do crime organizado ou atividades de terrorismo) e principalmente na segurança operacional, uma vez que as operações de Veículos Aéreos Não Tripulados (*Unmanned Aerial Vehicles* - UAV) nas proximidades dos aeroportos têm sido frequentemente reportadas e é premente a necessidade de proteger essas áreas críticas da possibilidade de potenciais invasões ou ataques de drones (que é o tipo de UAV mais conhecido) por meio de gerenciamento de riscos, tecnologias e planejamentos eficientes (LYKOU; MOUSTAKAS; GRITZALIS, 2020).

A operação de UAV tem grande potencial de causar riscos para a aviação, podendo levar à colisão no ar com outros equipamentos não tripulados, com aeronaves tripuladas ou com pessoas, animais e estruturas fixas no solo. Isto pode ocorrer por diversos motivos, entre eles erros de pilotagem ou problemas de enlace de dados, que são comunicações terra ar entre a base e o UAV. Visando minimizar essas possibilidades, há a necessidade de se criar métodos de mitigação para cada um dos riscos levantados e de se estabelecer estudos e indicadores por meio de levantamento de dados sobre o assunto (ZARÉA *et al.*, 2013).

O aumento da utilização de UAV tanto no campo militar como civil está previsto e, em dado momento, poderão conviver no mesmo espaço aéreo atividades ligadas ao meio civil, como prestação de serviço, com eventos da área militar ou de segurança pública ligadas à vigilância ou planejamento de operações, tanto durante dia quanto à noite (JAHANPOUR *et al.*, 2020).

Wang, Tan e Low (2020) relataram que a grande facilidade de acesso ao equipamento, baixo custo dos UAV e desconhecimento das regulamentações aeronáuticas por parte de usuários tem gerado reportes de invasão do espaço aéreo, especialmente nas proximidades dos aeroportos e de áreas terminais. Esses espaços, além de reduzidos, são utilizados em momentos críticos do voo, uma vez que as aeronaves tripuladas operam em baixa velocidade e baixa altitude. Visando preservar

a integridade de todos, eventuais invasões provocam interrupções de atividades e operações no espaço aéreo ou nos aeroportos devido a problemas causados comprometendo a segurança. Como consequência são gerados prejuízos e problemas operacionais em cascata para os operadores aéreos e para a estrutura de prestação de serviços de tráfego aéreo, com potencial de levar dias para a regularização das malhas aéreas.

Recentemente foi desenvolvido o conceito de Mobilidade Aérea Urbana (*Urban Air Mobility* - UAM), um novo modelo de mobilidade envolvendo passageiros, cargas e prestação de diversos serviços que gerará inúmeras oportunidades de negócio, contudo também criará problemas de segurança para todos os envolvidos, tanto em voo quanto no solo (REICHE, COHEN, FERNANDO, 2021).

Assim a introdução desse novo ecossistema conhecido como Sistema de Gerenciamento de Aeronaves Não Tripuladas (*Unmanned Aircraft System Traffic Management* - UTM) em um existente, consolidado e estruturado sistema de controle de tráfego aéreo, conhecido como Sistema de Gerenciamento de Tráfego Aéreo (*Air Traffic Management* - ATM), leva a uma nova necessidade de preparação desse ambiente para uma integração que ocorrerá em breve, com previsão até o ano de 2035 (BESADA *et al.*, 2019).

Este objetivo somente será atingido se houver planejamento e gestão de risco. Com isto, será possível preparar os Controladores de Tráfego Aéreo (*Air Traffic Controllers* - ATCO), a legislação específica, o espaço aéreo e os equipamentos necessários para a prestação dos serviços. Essa mudança poderá ocorrer de maneira transparente e segura, visando manter a qualidade do serviço prestado hoje, sem que haja a perda da qualidade e tampouco a redução dos níveis aceitáveis de segurança operacional.

1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

A revisão da literatura indicou catorze estudos que trataram da gestão de risco relacionada à operação de drones e a síntese da descrição dos oito estudos está apresentada na sequência desta seção.

De acordo com Clothier *et al.* (2011), a avaliação de riscos dos novos conceitos e o potencial de impacto de danos deve ser baseada na densidade populacional do espaço aéreo sobrevoado e deveriam ser considerados, e acrescentados na matriz

de avaliação de riscos do espaço aéreo utilizadas pela Organização da Aviação Civil Internacional (*International Civil Aviation Organization* – ICAO).

Speijker, Lee, Van De Leijgraaf (2011) acreditavam que a avaliação de risco deve ser tratada em termos de probabilidade e severidade, e acrescentaram o conceito de risco dentro de um nível de segurança aceitável mantendo-se dentro de um valor tão baixo quanto possível.

Sanz *et al.* (2015) avaliaram que para se fazer a gestão de riscos relacionadas às Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) deve-se seguir o previsto na ISO 31000 (2018), identificando perigos, classificando os riscos e implementando ações de mitigação.

Maciejewska *et al.* (2019) acrescentaram que para a avaliação dos riscos da operação de RPA é importante levar em consideração o local onde o equipamento irá operar, classificando e mitigando os riscos levantados de maneira específica para esse local.

Hu *et al.* (2020) fizeram suas análises baseadas nas rotas previstas de UAV, apontando que essas deveriam ser estudadas para que ocorressem em setores de baixo impacto financeiro. Acrescentaram que essa avaliação deveria incluir os riscos baseados na densidade de aeronaves tripuladas, características dos espaços aéreos e condições ambientais. Essa mesma Linha foi seguida por Bu *et al.* (2020), que estabeleceram uma relação dos riscos gerados pelos UAV com a complexidade do espaço aéreo utilizado.

De acordo com Zhang, Guo, Liao (2021), o gerenciamento de riscos deve ser conduzido por meio de quatro pilares, que serão a base de preparação para que os UAV possam ser introduzidos nas atividades normais diárias e conviver com as aeronaves tripuladas de modo a manter a segurança operacional do espaço aéreo.

Henderson (2022) apontou que os riscos das atividades com UAV podem ser mitigados caso sejam realizadas ações mais relacionadas às atitudes e conhecimentos amplos dos operadores de drones.

Neste contexto, as pesquisas na literatura levantada mostraram ter sido estudados somente os perigos da operação dos drones no espaço aéreo. Contudo, não foram identificados estudos desse assunto direcionados à integração do espaço aéreo UTM no ATM tendo como enfoque o ponto de vista do controle de tráfego aéreo.

Esse enfoque é essencial, uma vez que a segurança operacional é obtida por meio dos serviços prestados pelos ATCO, que têm por obrigação manter a segurança

do controle de tráfego aéreo. Diversas ações são necessárias tanto em relação aos serviços prestados, equipamentos de prestação de serviços e organização da estrutura do espaço aéreo, entre outras, visando garantir a segurança operacional.

Assim a lacuna de pesquisa identificada na literatura viabilizou a formulação do seguinte problema de pesquisa: quais são os perigos relacionados à atividade de controle de tráfego aéreo brasileiro, resultantes da introdução de drones na circulação aérea?

Para responder esta questão, foram estabelecidos objetivos de pesquisa, que serão apresentados adiante.

1.2 OBJETIVOS DE PESQUISA

Com base na problematização apresentada, o objetivo geral desta pesquisa é propor um framework de perigos relacionados ao controle de tráfego aéreo como consequência da introdução de drones na circulação aérea. Para alcançar esse propósito maior do trabalho, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

- a) Discriminar perigos para o controle de tráfego aéreo resultantes de impactos da operação de drones;
- b) Avaliar os perigos discriminados no contexto da segurança operacional, classificando-os de acordo com sua relevância e com as respectivas medidas mitigadoras aplicáveis;
- c) Organizar os perigos identificados em grupos falhas relacionados a homem, meio e máquina; e
- d) Validar o framework elaborado.

Considerando o problema e os objetivos de pesquisa apresentados, é oportuno ponderar a relevância do estudo proposto. Essa análise será discorrida na próxima subseção.

1.3 JUSTIFICATIVAS PARA ESTUDO DO TEMA

Com a popularização do uso de drones, é necessário que se tenha uma compreensão completa dos perigos que eles podem representar para as operações aéreas e para as pessoas e estruturas no solo. Este estudo pode contribuir para o desenvolvimento de regulamentações mais eficazes e medidas de segurança para o

uso de drones, garantindo assim uma utilização mais segura e responsável dessa tecnologia.

Apesar de existirem estudos anteriores sobre a operação de drones em ambientes urbanos, não foram encontrados na literatura trabalhos que abordassem os impactos da introdução de drones no sistema de gerenciamento do controle de tráfego aéreo. Em particular, não foram explorados como os órgãos de controle de tráfego aéreo e os sistemas relacionados aos serviços prestados devem ser preparados para que os UAV possam coexistir de maneira organizada, harmoniosa e segura com a aviação tripulada e não tripulada.

Esse estudo das implicações e perigos da introdução dos drones no cotidiano das operações do controle de tráfego aéreo é importante para abordar não só um problema emergente que afeta a indústria da aviação, mas também da segurança pública, sendo de interesse da ciência, dos estudos acadêmicos e para a sociedade como um todo (LYKOU; MOUSTAKAS; GRITZALIS, 2020).

Em relação às operações de controle de tráfego aéreo existem questões não respondidas para a integração segura de drones no espaço aéreo, como as limitações e vulnerabilidades dos sistemas de detecção de drones, a formação de pilotos de drones e controladores de tráfego aéreo, além da possibilidade do uso não colaborativo dos drone que podem envolver sua utilização em atividades ilegais, como o tráfico de drogas ou a vigilância não autorizada (KOPARDEKAR *et al.*, 2016).

Do ponto de vista científico, a pesquisa sobre drones no controle de tráfego aéreo tem potencial para ajudar a avançar na compreensão de como a tecnologia dos drones pode ser utilizada com segurança em um ambiente de grande complexidade e dinamicidade como o espaço aéreo, abordando, entre outros temas, questões relativas à detecção precoce, mitigação dos riscos associados à introdução dos drones nas atividades do Controle de Tráfego Aéreo (ATC) e ao desenvolvimento de novas tecnologias e métodos de controle de tráfego aéreo (GROTE *et al.*, 2022).

Rowley e Slack (2004) destacam que o *framework* são ferramentas úteis para desenvolver a compreensão de um determinado assunto, se caracterizando como uma estrutura conceitual que organiza o entendimento dos pesquisadores sobre um tema, guiando a pesquisa e o processo de coleta e análise de dados. Ele é flexível e pode ser ajustado à medida que novas informações surgem, permitindo que o estudo evolua e se mantenha relevante.

Em suma, o *framework* proposto, que identifica os perigos da introdução dos drones no sistema de controle de tráfego aéreo, é importante para a ciência, para os estudos acadêmicos e para a sociedade, pois ajuda a gerar conhecimentos sobre como utilizar essa tecnologia de forma segura e responsável, minimizando riscos da introdução dessas atividades e maximizando os benefícios para todos os envolvidos.

1.4 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

O presente trabalho limitou-se a levantamento junto aos especialistas em controle de tráfego aéreo, dos perigos afetos a área de segurança operacional e que com impacto nas áreas conhecidas como Zona de Tráfego de Aeródromo (ATZ), sob a responsabilidade de Torres de Controle (TWR) e Áreas de Controle Terminal (TMA) sob a responsabilidade de Controle de Aproximação (APP). Essa delimitação se torna necessária pois inicialmente o espaço aéreo mais utilizado pelos UAV serão os apontados acima e os impactos iniciais estarão concentrados majoritariamente nessas áreas tendo em vista as características previstas para a configuração futura do espaço aéreo (WANG, TAN e LOW, 2020).

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Com a finalidade de alcançar os objetivos propostos, este trabalho apresenta seis capítulos, dos quais, o primeiro é esta introdução. No segundo capítulo, foi realizada uma revisão da literatura, que tem por objetivo identificar o estado da arte, estabelecer os fundamentos teóricos necessários e levantar as lacunas existentes na literatura, o que justifica essa oportunidade de pesquisa. Ainda no capítulo dois, foi inserida uma seção de definições e conceitos da área de tráfego aéreo, uma vez que é um campo bastante específico de um setor pouco conhecido visando à equalização dos conhecimentos.

No terceiro capítulo, foi apresentado de forma detalhada o método e o procedimento utilizado para se identificar a lacuna de pesquisa e para atingir os objetivos dessa tese.

No quarto capítulo, após envio de formulário aos especialistas, com base no levantamento literário, foi discutido e apresentado um *framework* para aplicação no gerenciamento de riscos resultante das percepções das análises dos perigos

associados ao controle de tráfego aéreo resultantes da integração do UTM no ATM contendo uma compilação geral e organização dos dados.

No quinto capítulo, foi realizada a discussão considerando como perigo os pontos de interação da atividade de controle de tráfego aéreo e fazendo a classificação e distribuição dos perigos considerando organizando por similaridade de assuntos. A organização dos perigos identificados na literatura e apontados pelos especialistas em suas análises, acrescidas das medidas mitigadoras adicionalmente sugeridas serão distribuídas conforme o framework proposto e submetidas a validação dos especialistas conforme método Delphi.

Em seguida, no sexto capítulo, são apresentadas as conclusões com suas respectivas contribuições para a teoria literária e a prática, a indicação de suas limitações e sugestões para trabalhos futuros, contribuindo de forma significativa para o avanço da pesquisa e do conhecimento.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Nesta seção serão abordados e apresentados os principais conceitos relacionados ao sistema de controle de tráfego aéreo, órgãos responsáveis e serviços prestados por esses órgãos, bem como outros conceitos necessários ao entendimento dos assuntos abordados.

2.1 SISTEMA DE CONTROLE DE TRÁFEGO AÉREO

Brooker (2008) destaca que o Gerenciamento do Tráfego Aéreo (ATM), é composto pelo conjunto formado pelo controle de tráfego aéreo e as estruturas do espaço aéreo geridas de modo integrado, dinâmico, econômico e eficiente, cujo objetivo principal é manter sob controle os riscos de acidentes por meio das defesas e equipamentos disponibilizados ao ATC. Os controladores de tráfego aéreo, por meio de ações após a tomada de decisão, comunicam-se utilizando equipamentos de rádio com as aeronaves que apresentaram um planejamento prévio de seu voo.

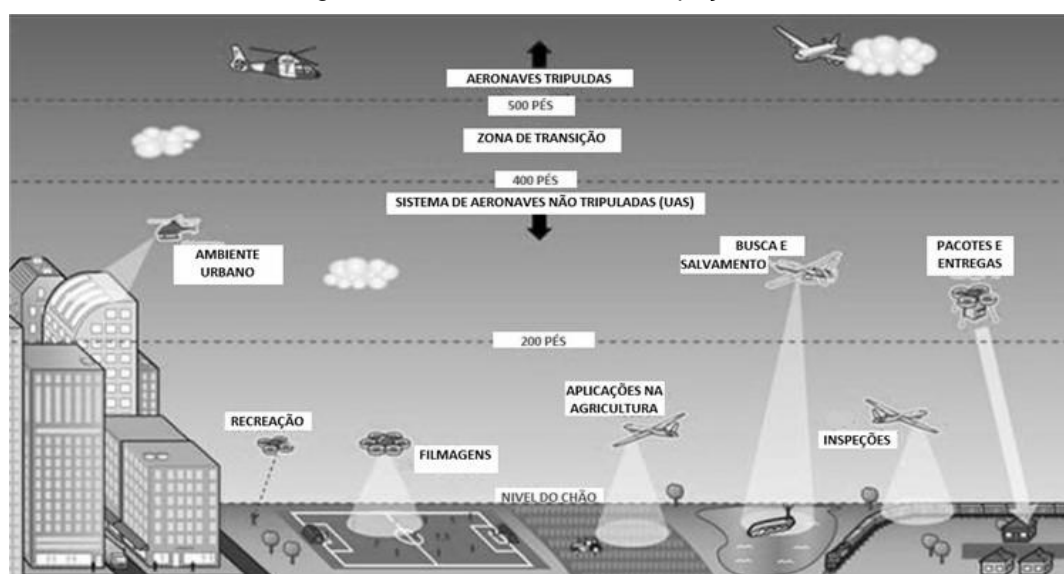
O monitoramento das ações dessas aeronaves é realizado por meio de equipamentos de vigilância, como por exemplo o Radar Secundário de Vigilância (SSR), que apresentam de modo sintético a visualização e a evolução dessas aeronaves pelo espaço aéreo. Esse conjunto de atividades e ações fazem parte da complexa estrutura de segurança do espaço aéreo controlado que estão integradas com o sistema de localização atualizado e moderno das aeronaves que permite a navegação por meio de satélites, entre eles a constelação GPS, equipamentos de detecção de proximidade e alertas de colisão (TCAS) e, mais recentemente, foram incorporados a comunicação por meio de dados (*data link*). Tudo isso em conjunto com normas e regras formalizadas que determinam as separações regulamentares entre os envolvidos e promovem a segurança do espaço aéreo (BROOKER, 2008).

Reiche, Cohen, Fernando (2021) dissertam sobre o conceito recente da Mobilidade Aérea Urbana (UAM), sendo que essa é uma parte da chamada mobilidade aérea avançada e é constituída de uma nova modalidade de transporte aéreo que visa atender passageiros, cargas e serviços de emergências, entre outros, em uma área urbana, empregando os conceitos de sustentabilidade e segurança utilizando aeronaves com possibilidades de pouso e decolagem na vertical, conhecidos como VTOL, apresentando um novo conceito de negócios.

Lykou, Moustakas, Gritzalis (2020) apresentaram o conceito de gerenciamento de tráfego aéreo não tripulado (UTM) e afirmaram que está em processo de implementação na Europa, nos Estados Unidos e em outros países. Reforçaram que o UTM é um ecossistema de gerenciamento de tráfego para operações de aeronaves não tripuladas, sendo semelhante ao sistema ATM, atualmente utilizado pela aviação e que se destina ao gerenciamento do deslocamento de aeronaves tripuladas. Para permitir o controle seguro de aeronaves tripuladas e não tripuladas, que em dado momento irão conviver dentro da estrutura desses espaços aéreos, deverão ser criados um conjunto integrado de serviços, funções e responsabilidades, protocolos de troca de dados, infraestrutura e requisitos de desempenho. Assim será possível estabelecer um gerenciamento e controle de operações em baixas altitudes, evitando o comprometimento da segurança das ações correntes e a consequente proteção das áreas aeroportuárias.

A Figura 1 mostra a proposta de Lykou, Moustakas, Gritzalis (2020) para as divisões do espaço, considerando o potencial do uso comercial dos UAV. Pode-se identificar que os drones de pequeno porte, mais voltados para a entrega de produtos, filmagens, atividades recreativas urbanas, aplicações agrícolas, inspeções na infraestrutura instalada em áreas remotas, busca e salvamento estão com suas atividades restritas no espaço aéreo abaixo de 400 pés acima do solo. Entre 400 e 500 pés, foi proposta uma área de transição e acima de 500 pés nota-se a existência de uma área destinada, como é atualmente, às aeronaves tripuladas.

Figura 1 – Estrutura futura do espaço aéreo



Fonte: Adaptado de Lykou, Moustakas, Gritzalis (2020)

2.1.1 Órgãos de Controle de Tráfego Aéreo

ICAO (2016a) trouxe definições que são importantes para o entendimento do contexto operacional da prestação dos serviços de tráfego aéreo no espaço aéreo Brasileiro. As principais unidades de controle de tráfego aéreo apresentadas, chamadas de órgãos de controle, são os Centro de Controle de Área (ACC), Unidades de Controle de Aproximação (APP) e as Torres de Controle de Aeródromo (TWR).

Os ACC prestam o Serviço de Controle de Tráfego Aéreo (ATC) às aeronaves controladas que estão evoluindo nas Áreas de Controle que estão sob sua jurisdição. Os APP prestam o ATC às aeronaves controladas que estão saindo ou chegando de um ou mais aeródromos. As TWR prestam o ATC para o chamado tráfego de aeródromo, que pode estar em voo ou no solo.

O Quadro 01 mostra os espaços aéreos que são de responsabilidades dos citados Órgãos ATC.

2.1.2 Serviços prestados pelos Órgãos de Controle de Tráfego Aéreo

ICAO (2016a) também apresentou as definições dos Serviços de Tráfego Aéreo (ATS), como sendo uma expressão genérica usada para indicar os Serviços de Informação de Voo (FIS), Serviço de Controle de Tráfego Aéreo (ATC) e o Serviço de alerta (AS), sendo esses serviços prestados pelos órgãos de controle de tráfego aéreo ACC, APP e TWR. Enquanto o Serviço de Informação de voo (FIS) é prestado com o propósito de prover informações e avisos de interesse para e condução segura e eficiente dos voos, o ATC é prestado com a finalidade de fornecer autorizações visando a prevenção de colisões entre aeronaves transitando em espaço aéreo controlado, promovendo uma evolução fluída e segura dos voos nas áreas de jurisdição dos órgãos que prestam os Serviços de Tráfego Aéreo (ATS). O Serviço de Alerta (AS) é prestado à toda aeronave que deu conhecimento do seu voo com finalidade de notificar aos órgãos de busca e salvamento de eventuais aeronaves precisando de ajuda.

Visando permitir a prestação do ATS, Wang *et al.* (2020) explicaram que os controladores de tráfego aéreo fazem a prevenção de acidentes entre veículos tripulados com o apoio entre outros equipamentos do rádio e de radares. Os radares apresentam a plotagem da posição dessas aeronaves em uma tela de controle por

meio do retorno de sinais eletrônicos emitidos e de equipamentos transponders que auxiliam na identificação das aeronaves. Mais modernamente, foi introduzida a utilização de sinais automatizados, emitidos pelas próprias aeronaves, conhecido como Vigilância Dependente Automática por Radiodifusão (*Automatic Dependent Surveillance ADS-B*), que tornaram a plotagem das aeronaves possíveis e independentes do retorno de sinais emitidos a partir do solo. Adicionalmente, em caso de falhas dos controladores na prestação dos serviços de controle, que poderiam comprometer à separação das aeronaves, há o chamado *Airborne Collision Avoidance System* (ACAS), que emitem um aviso aos pilotos com o intuito de evitar a colisão.

Ainda, de acordo com Wang *et al.* (2020), no ATM, os tráfegos que por qualquer meio dão conhecimento de sua existência aos órgãos prestadores de serviço, são conhecidos como tráfego cooperativo, enquanto os demais são chamados não cooperativos, uma vez que não podem ser detectados nem pelo sistema de controle de tráfego aéreo e nem pelos pilotos de maneira automática e independente.

O Quadro 1 apresenta os órgãos prestadores de serviços de tráfego aéreo, suas respectivas áreas de responsabilidades bem como os serviços que são possíveis de serem prestados por cada um deles, conforme estabelecido em (ICAO, 2016a).

2.1.3 Espaços Aéreos

ICAO (2016a) conceituou que o espaço aéreo é um volume definido acima da superfície da terra onde são prestados os serviços de tráfego aéreo. Pode-se constituir numa Zona de Controle (CTR) que se estende para cima do solo até um limite superior especificado. Área de Controle (CTA) que se estende para cima a partir de um limite especificado, não tendo seu início no solo. Nesses espaços aéreos citados podem ser prestados o Serviço de Controle de Tráfego Aéreo ou outros serviços de acordo com a classificação do espaço aéreo e as regras de voo que estão sendo utilizadas pelas aeronaves. Região de Informação de Voo (FIR) é um espaço aéreo de dimensões definidas onde são prestados os Serviços de Informação de Voo (FIS) e o Serviço de Alerta (AS).

Quadro 1 – Espaço aéreo, serviços e órgãos responsáveis.

| Espaço Aéreo | Órgão de Tráfego Aéreo | Serviço Prestado |
|------------------------------------|---|--|
| Zona de Tráfego de Aeródromo (ATZ) | Torre de Controle (TWR) | Serviço de Controle de Tráfego Aéreo (ATC) |
| | | Serviço de Informação de Voo (FIS) |
| | | Serviço de Alerta (AS) |
| Zona de Controle (CTR) | Centro de Controle de Aproximação (APP) | Serviço de Controle de Tráfego Aéreo (ATC) |
| | | Serviço de Informação de Voo (FIS) |
| | | Serviço de Alerta (AS) |
| Área de Controle Terminal (TMA) | Centro de Controle de Aproximação (APP) | Serviço de Controle de Tráfego Aéreo (ATC) |
| | | Serviço de Informação de Voo (FIS) |
| | | Serviço de Alerta (AS) |
| Área de Controle (CTA) | Centro de Controle de Área (ACC) | Serviço de Controle de Tráfego Aéreo (ATC) |
| | | Serviço de Informação de Voo (FIS) |
| | | Serviço de Alerta (AS) |
| Área Superior de Controle (UTA) | Centro de Controle de Área (ACC) | Serviço de Controle de Tráfego Aéreo (ATC) |
| | | Serviço de Alerta (AS) |
| Região de Informação de Voo (FIR) | Centro de Controle de Área (ACC) | Serviço de Informação de Voo (FIS) |
| | | Serviço de Alerta (AS) |

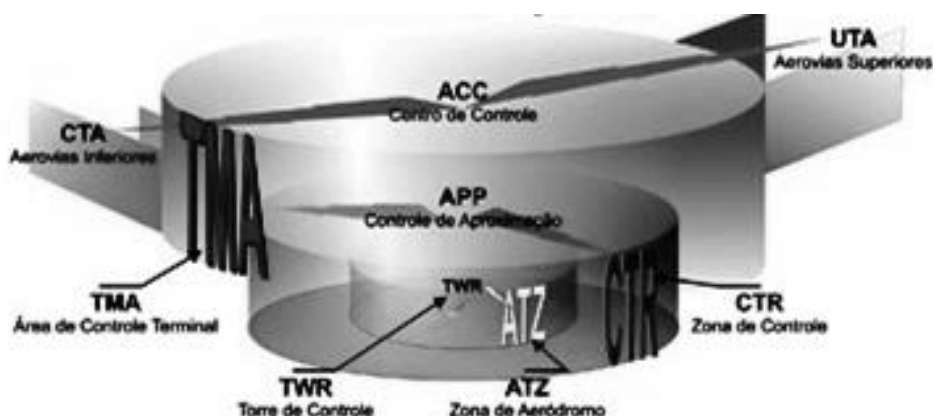
Fonte: Elaborado pelo autor.

2.1.4 Regras de Voo

De acordo com o ICAO (2016a), Regras de Voo Visual (VFR) são um conjunto de normas e condições específicas para condução do voo, em termos de visibilidade e separação com nuvens, em que o piloto se orienta e mantém sua segurança e separação por meio do uso da visão (ver e evitar). Já as Regras de Voo por Instrumentos (IFR), as operações são conduzidas por meio de orientações nos instrumentos no interior da aeronave.

A Figura 2 ilustra a estrutura dos espaços aéreos ATS mencionadas acima e aponta os respectivos órgãos ATS responsáveis por cada área representada

Figura 2 – Estrutura do Espaço Aéreo



Fonte: Disponível em: < <https://academia.br.ivao.aero/view/21>>. Acesso em: 10 de mai. 2023

2.2 DRONE, RPA, RPAS, UAV, UAS E E-VTOL

Drones são aeronaves de vários motores podendo ou não ser de asas fixas, com pilotagem à distância por operador ou autônoma, possuindo tipos e formas variadas, tamanhos e pesos aleatórios, sendo classificados conforme peso, velocidade ou altitudes de utilização (LYKOU, MOUSTAKAS, GRITZALIS, 2020).

Conforme o Manual de Sistemas de Aeronaves Pilotadas Remotamente (RPAS), uma *Remotely Piloted Aircraft* - RPA é uma aeronave controlada remotamente por um piloto desde uma estação de pilotagem remota. Já *Remote Pilot Station* - RPS é a estação de controle, equipada com todos os sistemas necessários para operar a RPA, incluindo interfaces de controle e sistemas de comunicação (ICAO, 2015).

Ermacora, Rosa e Toma (2016) discutiram que uma aeronave que não tenha piloto a bordo é chamada de UAV, sendo esse uma parte de um sistema maior denominado UAS, que é um conjunto formado pelo UAV, estação de lançamento, recuperação, transporte e navegação, sistema de comunicação, permitindo navegar de forma autônoma por meio de sistemas de posicionamento por satélites, utilização de coordenadas e com controle de altitudes.

Já e-VTOL refere-se a aeronaves com capacidade de realizar pousos e decolagens na vertical usando motores e propulsão elétrica permitindo operações sem a necessidade de pistas de pouso convencionais. O uso desse tipo de tecnologia oferece vantagens em termos de eficiência energética e redução de emissões e ruído,

sendo adequadas para operações urbanas e ambientes com alta densidade de tráfego aéreo (DOO *et al.*, 2021).

Para fins desse estudo será utilizado o conceito de UAV e UAS, por ser mais adequado à proposição do tema de pesquisa.

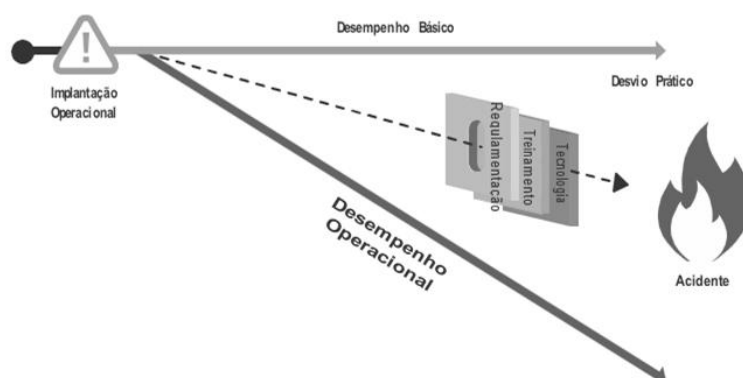
2.3 GERENCIAMENTO DE RISCOS

Esta subseção introduz os conceitos fundamentais para o gerenciamento de riscos, que são os componentes críticos para a segurança operacional na aviação e importantes para o entendimento desse trabalho.

ICAO (2018) definiu que o Gerenciamento de Riscos, *Safety Risk Management* (SRM), é um dos componentes principais da segurança operacional no controle do espaço aéreo. É composto pelo processo de identificação dos perigos e ameaças, avaliação e classificação dos riscos, determinação das medidas mitigadoras e aceitação dos riscos. Esse método é aplicado e constantemente reavaliado de forma cíclica, no entanto por ser um sistema dinâmico, as mudanças introduzidas podem gerar novos perigos, provocando novos riscos.

Em seguida são realizados processos de monitoramento das ações correntes visando verificar a efetividade e qualidade das medidas mitigadoras empregadas verificando a necessidade de nova avaliação de riscos e implementação de novas medidas. As medidas mitigadoras são empregadas, visando manter a performance operacional e o desempenho para minimizar os riscos analisados e se concentram nas áreas de tecnologia, treinamento e regulamentação/procedimentos, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Conceito de desvio operacional



Fonte: Adaptado de ICAO (2018)

Para aprofundar o entendimento sobre o gerenciamento de riscos neste contexto, é necessário abordar também os conceitos de perigo e risco.

2.3.1 Perigos identificados relacionados ao uso dos UAV

ICAO (2018) define perigo como uma condição ou objeto com o potencial de causar morte, lesões ao pessoal, danos a equipamentos ou estruturas, perda de material ou redução da capacidade de desempenhar uma função prescrita. No contexto do gerenciamento de riscos de segurança na aviação, o termo perigo deve ser especificamente direcionado àquelas condições que poderiam causar ou contribuir para a operação insegura de aeronaves ou de equipamentos, produtos e serviços relacionados à segurança da aviação.

Conforme ISO 31000 (2018), os perigos são inerentes aos processos em uma organização e estão presentes em todas as atividades, uma vez que estes estão sobre influência de fatores internos e externos que tornam imprevisíveis os resultados de seus esforços para atingir os objetivos desejados. Por isso é necessário desenvolver procedimentos para identificar, analisar, avaliar e tratar os perigos identificados, por meio de um processo de análise de riscos, visando estabelecer e atender os critérios de aceitação desses riscos.

Todas essas ações devem ser realizadas dentro de um processo de consulta às partes interessadas, comunicação, monitoramento e controles com fins a mitigar os riscos iniciais avaliados até um nível aceitável e sem gerar novos riscos residuais nos processos. Dessa forma a gestão de riscos permite, entre outros, minimizar a possibilidade de que os objetivos não sejam atingidos, identificar eventuais ameaças e oportunidades, melhorar a administração, assessorar na tomada de decisão, melhorar os controles e a operacionalidade, incrementar a segurança operacional de modo geral em todas as áreas, reduzir a possibilidade de perdas e tornar a organização mais resiliente. Todas essas ações devem estar dentro dos conceitos de melhoria contínua, realizando um monitoramento, avaliação dos resultados e promovendo-se novo ciclo para os ajustes necessários (ISO 31000, 2018).

Speijker, Lee, Van De Leijgraaf (2011) apresentaram como ameaças potenciais relacionados com aeronaves não tripuladas, de modo a compor um cenário de segurança, a possibilidade de ultrapassagem do nível atribuído, manutenção incorreta

do nível autorizado e desvio das rotas programadas devido a erros operacionais. Essas ações podem ter como consequências a colisão com pessoas no solo, com outras aeronaves em voo e danos à propriedade de modo geral. Avaliaram também que os perigos da operação dos UAV podem ser causados pela falta de consciência situacional do piloto que levaria a operar em áreas restritas ou perigosas causando interferência com outras aeronaves, invasão de privacidade, comprometimento da segurança com a população em geral, interferência em dispositivos eletrônicos e sistemas de comunicação, entre outros.

Clothier *et al.* (2011) identificaram como perigo principal da convivência de UAV com aeronaves tripuladas, ou seja, a convivência do UTM e ATM, a possibilidade de colisão entre os UAV com aeronaves tripuladas ou estruturas no solo causando danos para o que chamou de entidades de valor externas ao sistema, como pessoas, propriedades sobrevoadas ou outros usuários do espaço aéreo dentro do ambiente operacional podendo vir a causar a interrupção das operações.

Sanz *et al.* (2015) identificaram que alguns perigos primários para a operação dos UAV podem ser causados a fontes externas provocando danos a terceiros incluindo aeronaves, propriedades, lesões humanas, interferência com animais ou outros equipamentos. Podem ser influenciados por condições ambientais extremas como vento ou temperatura e elementos outros elementos dinâmicos. Afirmaram que as fontes internas estão relacionadas ao desempenho e operação do próprio drone incluindo falhas mecânicas ou elétricas, falhas de software, falhas de comunicação, falhas humanas ou combinações desses fatores.

Maciejewska *et al.* (2019) analisaram perigos para a operação do UAV e com base em lista de verificação, foram divididos nos cinco grupos de acordo com o modelo SHELL. Esses perigos são ligados às condições ambientais do local operacional onde está acontecendo o evento, fatores ligados ao operador do UAV, fatores ligados ao equipamento RPA e fatores relacionados com procedimentos e normas de tráfego aéreo. As consequências apresentadas são danos às pessoas, estruturas, possibilidades de colisões aéreas com outros UAV, com outras aeronaves tripuladas e violação de espaço aéreos controlados ou restritos para operação desse tipo de equipamento.

Hu *et al.* (2020) identificaram como principais perigos para a operação de RPA em ambientes urbanos a possibilidade de atingir pessoas, veículos e propriedades no solo, interferência com áreas aeroportuárias e perigos de colisão com aeronaves

tripuladas em voo nas proximidades de aeroportos. Esse último perigo foi considerado como uma análise fundamental para a integração do ATM e do UTM. Propuseram um modelo de avaliação associado a um mapa de custo de risco para planejamento de trajetória de movimentação dos drones levando em conta esses perigos.

Bu *et al.* (2020) analisaram os perigos para a operação de UAV numa abordagem dos riscos para as atividades aéreas incluindo conflitos durante os voos, ambiente onde os voos acontecem, características do tráfego aéreo local, proximidade de locais de pouso e taxa de convergência de rotas aéreas levando em consideração a energia cinética do impacto caso ele ocorra, possibilidade de colisão e quantidade de ocupação do solo presente na área sobrevoada. Esses fatores têm potencial de afetar a segurança do voo devido à movimentação de UAV em baixas altitudes e aumentar o risco de colisão com outras aeronaves, tripuladas ou não, ou com objetos no solo. O artigo propõe um sistema de índices de avaliação de risco para ajudar a gerenciar esses perigos e reduzir o risco de acidentes.

Zhang, Guo, Liao (2021) afirmaram que os UAV apresentam alguns perigos para o controle de tráfego aéreo, sendo o principal deles, o perigo relacionado à possibilidade de colisão com outras aeronaves tripuladas, especialmente em áreas de grande movimento de tráfego aéreo. Além disso, os UAV têm a possibilidade de interferir nas comunicações de rádio entre os controladores de tráfego aéreo e os pilotos, podendo levar a erros de entendimento e comunicação, aumentando o risco de acidentes. Analisaram também a possibilidade de os UAV entrarem em áreas restritas, como aeroportos ou áreas militares sem autorização, levando a interrupções das atividades aéreas e a violações de segurança. Devido as características apresentadas pelos drones de operar em ambientes complexos, como áreas montanhosas, lagos ou locais densamente povoados, em espaços aéreos confinados e em baixas altitudes, também existe a possibilidade de perda de sinal pela presença desses obstáculos, por influências meteorológicas localizadas e que possibilitaria a perda de controle e a invasão de espaços aéreos controlados ou restritos.

Henderson (2022) identificou dois tipos de perigos ligados à operação dos UAV, um deles, que chamou de perigos aéreos, está relacionado à possibilidade de colisão com outras aeronaves e outro que chamou de perigos terrestres, é o perigo de colisão e danos a propriedades e pessoas no solo. Ainda segundo o autor, a falta de consciência situacional do piloto pode levar a decisões inadequadas e aumentar o risco de incidentes, devido ao desconhecimento do ambiente operacional e das

condições ao redor. Falhas no sistema UAS, como perda ou interferência do sinal de comunicação, podem comprometer a operação segura e levar a problemas de controle levando a interferências com áreas restritas e violações de regras. Operar em condições meteorológicas adversas também pode afetar negativamente o desempenho e a segurança do UAS.

Ainda de acordo com Henderson (2022), o não cumprimento das regulamentações e procedimentos pode comprometer a segurança operacional e aumentar o risco de incidentes. Destacou que as ações mitigadoras, visando a redução dos riscos, são de três naturezas: técnica, relacionada a manutenção adequada do equipamento de voo e ao uso de sistemas de detecção e evasão de obstáculos ou aeronaves; ambiental que está relacionado ao espaço aéreo utilizado, à prestação de serviços de tráfego aéreo, comunicação com outras aeronaves e com o controle de tráfego aéreo; e, por fim, o organizacional ligado a criação de procedimentos que incluem o planejamento de voo e requisitos e treinamentos específicos para pilotos e operadores de UAV.

Entre os principais perigos da operação de drones para a segurança e eficiência dos serviços de tráfego aéreo, estão as possibilidades de colisões com aeronaves tripuladas e não tripuladas. Isso traz uma preocupação significativa, especialmente em áreas de alta densidade, aumentando a carga de trabalho dos controladores de tráfego aéreo, que precisam lidar com o aumento da complexidade e possibilidade de erros. Também a perda de comunicação com o drone por parte dos operadores desse tipo de aeronave pode comprometer o controle e elevar, causar desvios de rotas e riscos de acidentes. A falta de aderência aos regulamentos dificulta o monitoramento pelos controladores, enquanto desvios da rota planejada, eventualmente causados por falhas no sistema ou condições imprevistas, podem interferir perigosamente no tráfego aéreo (FERREIRA et al., 2018)

Conforme Kuenz et al. (2023), a operação de drones no sistema de controle de tráfego aéreo apresenta perigos significativos, incluindo conflitos de tráfego que podem resultar em colisões com aeronaves, incursões inadvertidas em áreas restritas ao voo e falhas nos sistemas de comunicação e navegação, que comprometem a prestação dos serviços de tráfego aéreo e elevam o risco de acidentes.

Segundo Hamissi e Dhraief (2023), a operação de drones no controle de tráfego aéreo trás perigos que precisam ser gerenciados para garantir a segurança. A vulnerabilidades da segurança e problemas de comunicação podem comprometer a

operação do serviço e levar a conflitos de tráfego aéreo especialmente quando drones e aeronaves tripuladas operam em proximidade. A perda de controle e comunicação com os drones é outro perigo que pode resultar em situações imprevisíveis e potencialmente perigosas. Enfatizam a importância de fortalecer esses aspectos para que as operações sejam seguras e eficiente na utilização do espaço aéreo controlado.

Zhang et al. (2020) citaram como principal perigo associado à operação de drones no controle de tráfego aéreo os riscos de colisões no ar. Essas podem ocorrer devido à proximidade com outras aeronaves decorrentes da gestão inadequada do espaço aéreo, incluindo a invasão não autorizada de áreas restritas, podendo ser provocado por perdas de comunicação entre operadores e aeronaves ou erros de pilotagem. A falta de adaptação dos drones às condições locais, especialmente no que diz respeito aos sistemas de proteção contra invasões e manutenção das rotas previstas podem comprometer a segurança, aumentando o risco de incidentes.

Ullrich et al. (2024) destacam como perigos para a operação de drones no controle de tráfego aéreo a possibilidade de colisões no ar é uma das principais preocupações, especialmente em espaços aéreos congestionados. A perda de comunicação entre os operadores e UAV, levando a impacto no serviço de controle é outro perigo significativo, que pode resultar em falhas na coordenação e aumento do potencial para acidentes. Além disso, a presença de infraestrutura crítica em ambientes aeroportuários, como estruturas e antenas, aumenta o risco de colisões físicas.

Mutuel, Wargo e Difelici (2015) identificaram como perigos para a operação de drones no controle de tráfego aéreo a possibilidade de colisão com estruturas fixas, que podem ser resultados de desvios ou invasões em áreas restritas ou desvios da rota prevista. Analisaram também a possibilidade de colisões com aeronaves, especialmente em áreas de grande intensidade de tráfegos. A infração aos procedimentos e a legislação do controle de tráfego aéreo também representam desafios e finalmente a possibilidade de colisão com pessoas.

2.3.2 Gerenciamento de riscos na aviação

Speijker, Lee, Van De Leijgraaf (2011) afirmaram que o gerenciamento de riscos é um processo formal dentro do Sistema de Gerenciamento de Riscos,

composto pela descrição do sistema, identificação dos perigos, avaliação dos riscos, análise e controle desses riscos.

A avaliação do risco deve basear-se na combinação de probabilidade e consequências do evento indesejável, permitindo ações antecipadas de prevenção, que pode ser de maneira individual e coletiva, por meio da eliminação ou mitigação dos riscos para um nível de tolerância aceitável conhecido como *As Low as Reasonable Possible* (ALARP). Desta forma, será garantido que a introdução do UAV nas operações correntes de aeronaves tripuladas, em espaço aéreo não segregado, não provocará nenhuma redução nos níveis de segurança operacional atuais tendo como base um valor aceitável de risco, ou seja, *Target Level Safety* (TLS). De maneira geral, os autores (SPEIJKER; LEE; VAN DE LEIJGRAAF, 2011) classificam os perigos e avaliam os riscos relacionados com o UAV em dois grupos: risco de colisão com o solo e risco de colisão do UAV com outras aeronaves tripuladas.

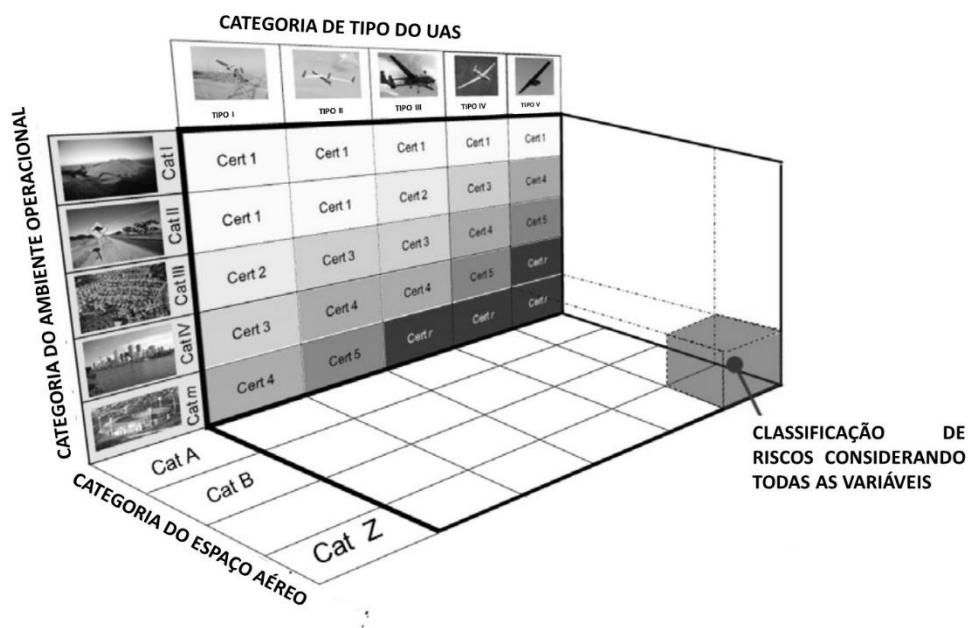
Clothier *et al.* (2011) relataram que, diferente das aeronaves pilotadas de maneira convencional, os maiores riscos para a operação dos UAV são as entidades de valores externos ao sistema, como pessoas, propriedades sobrevoadas e demais usuários do espaço aéreo, uma vez que, teoricamente, não haveria pessoas a bordo dos UAV. O grau de risco da operação está relacionado com o potencial de dano oferecido sendo proporcional a densidade populacional onde ele está sobrevoando. Um grande UAV operando em área remota tem um potencial de dano menor que a mesma operação em área densamente povoada.

Assim, o gerenciamento de riscos é importante para as operações de UAV sobre áreas povoadas visando garantir a segurança dessas operações, reduzir os custos impostos à indústria o que resultaria em benefícios à sociedade. Segundo eles, esse processo consiste em identificar, avaliar, classificar, mitigar, comunicar e monitorar os perigos de uma atividade ou operação por meio do uso de matrizes de risco, realizando análises quantitativas ou qualitativas, para avaliação e classificação desses riscos (CLOTHIER *et al.*, 2011).

As matrizes são estabelecidas em função da incerteza ou probabilidade, do evento ocorrer e da consequência, ou seja, da severidade da perda, caso ocorra. O conjunto desse processo possibilitaria um ranqueamento do risco que poderia apoiar a tomada de decisões, determinando a implementação de medidas mitigadoras, minimizando o potencial de risco e resultando num processo que é perfeitamente aplicável para a integração dos espaços aéreos ATM e UTM. Essa classificação é

proposta na Figura 4, onde é acrescentada à análise uma terceira dimensão que é a classificação ICAO do espaço aéreo sobrevoado.

Figura 4: Proposta de Classificação de Riscos



Fonte: Adaptado de Clothier *et al.* (2011)

Assim o nível de serviço prestado pelo ATC seria mais um dos fatores levados em consideração, ao lado do tipo de cobertura radar disponível, número de aeronaves, equipagem dos usuários do espaço aéreo, nível de proficiência dos pilotos e condições meteorológicas, entre outros. Sanz *et al.* (2015) analisaram que os riscos relacionados à operação de UAV, que são uma combinação de probabilidade do evento e consequências, fazem parte da operação e são impossíveis de evitar.

Dessa forma, a estratégia de controlar, reduzir ou mitigar esses riscos ao menor nível possível é a única maneira que pode ser adotada, especialmente com o emprego para operação com drones da metodologia proposta para gerenciamento de riscos baseado na norma ISO 31000 (2018).

Afirmaram Sanz *et al.* (2015) que essa norma orienta esse procedimento em 3 passos, onde o primeiro é a identificação de todos os perigos considerando a natureza e as características do sistema e da operação, em seguida é feita a avaliação desses perigos em termos de potencial de dano que pode ser causado individualmente ou em conjunto com outros eventos e por fim é analisada a melhor maneira de resposta e

soluções aos potenciais problemas identificados, de acordo com sua origem e potencial de ameaça.

Maciejewska *et al.* (2019) definiram risco como a probabilidade de ocorrer um evento indesejado combinado com os danos causados. Segundo o estudo, a abordagem da primeira parte de um gerenciamento de riscos é feita pela análise do local onde o UAV irá operar, incluindo uma avaliação ambiental, identificação das fontes de perigo e, em seguida, fazendo-se uma estimativa dos riscos, a avaliação e proposição de medidas que levarão à redução do valor proposto na estimativa inicial até que se atinja um valor aceitável de risco e, por fim, evoluir para fase de monitoramento e encerrar o processo.

Hu *et al.* (2020) dissertaram que a gestão de riscos para as operações dos UAV em ambientes urbanos, como componente do *Urban Air Mobility* (UAM), são fundamentais para análise dos aspectos de custos visando o planejamento das operações e das rotas do UAV como apoio na tomada de decisões. Foram analisados os aspectos do risco de o UAV atingir estruturas no solo, a densidade de pessoas e veículos na região sobrevoada, interferências com operações aeroportuárias e risco de atingir aeronaves tripuladas. Cada risco foi analisado individualmente e composta a análise integral do conjunto visando a definição de rotas a serem seguidas para minimizar o impacto de eventual ocorrência.

Bu *et al.* (2020) propuseram que para o gerenciamento dos riscos associados ao UAV, voando em altitudes mais baixas, fosse dividido em três aspectos principais: um deles relacionado às características do tráfego aéreo, que representa a quantidade de aeronaves, volume, velocidade, complexidade do fluxo, missão e modelo do UAV; outro relacionado ao ambiente de voo, que está ligado à estrutura e organização do espaço aéreo, à condições atmosférica, pássaros, atividades aéreas; e, por fim, um aspecto de conflitos de voo gerados, que representa a possibilidade de redução da separação, vertical e horizontal, entre os UAV e aeronaves tripuladas abaixo de um padrão estabelecido.

Zhang, Guo, Liao (2021) afirmaram que o gerenciamento de riscos tem papel importante na identificação, avaliação e classificação de perigos. Essa classificação pode ser feita em termos de probabilidade e severidade, de forma quantitativa ou qualitativa. Relataram ainda que o gerenciamento da segurança operacional está estruturado em quatro pilares: política de segurança operacional; gerenciamento de riscos; garantia; e promoção da segurança.

Na avaliação inicial é efetuada uma primeira classificação, em seguida são determinadas medidas para reduzir a classificação inicial a um nível mais seguro e aceitável (ZHANG; GUO; LIAO, 2021). A tabela de classificação de riscos propostas é apresentada na Figura 5, onde, no Setor Branco o risco é aceito como nível 1; no Setor Verde, parte do risco pode ser aceito após a adoção de medidas de alívio e o nível atribuído é o 2. No Setor Azul o risco também é aceito sob a condição de implementação de medidas mitigadoras corretivas, sendo classificado com nível 3. No Setor Roxo, o nível de risco é 04 e devem ser tomadas medidas adequadas para reduzir o risco para o nível aceitável. No Setor Vermelho o risco é inaceitável e é classificado no nível 5, onde são necessárias medidas eficientes para a redução do nível do risco para o aceitável.

A garantia é o acompanhamento das ações correntes por meio do levantando dados e informações da situação atual, com o estabelecimento de metas e indicadores visando fazer a comparação da situação inicial com situação posterior a mudança. Em seguida aplica-se o processo voltado à melhoria contínua, executando novas medições, comparando com os indicadores anteriores e verificando se as metas estabelecidas foram atingidas, tornando cíclico o processo para estabelecer um nível de segurança considerado aceitável. O quarto processo, promoção da segurança, determina mecanismos de treinamento, divulgação e educação com o propósito de se criar uma cultura de segurança dentro da empresa, elevando a consciência situacional e o nível de alerta dos colaboradores (ZHANG; GUO; LIAO, 2021).

Figura 5: Proposta de Classificação de Riscos

| | | AUMENTO GRADUAL → | | | | |
|-------------------|----------------------------|-------------------|---|---|---|---|
| REDUÇÃO GRADUAL ↓ | GRAVIDADE PROBABILIDADE | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | 5 | | | | | |
| | 4 | | | | | |
| | 3 | | | | | |
| | 2 | | | | | |
| | 1 | | | | | |

Fonte: Adaptado de Zhang, Guo, Liao (2021)

Henderson (2022) apontou que os riscos da operação de drones podem ser reduzidos por ações dos usuários, bastando fazer uma análise da confiabilidade desses usuários em cumprir os requisitos para utilização do espaço aéreo, as habilidades e conhecimentos em relação às cartas de navegação e o conhecimento desses no uso das ferramentas locais de apoio às operações de UAV, dessa maneira, os riscos da operação estariam mitigados.

Para tanto propuseram uma análise científica do comportamento dos usuários dos UAV, do nível de conhecimento, aplicabilidade e aderência aos procedimentos e normas de conduta antes, durante e posterior ao voo. Seus estudos (HENDERSON, 2022) concluíram que a atenção da comunidade acadêmica e dos reguladores tem focado em aspectos técnicos, organizacionais e regulatórios para reduzir os riscos da operação de sistemas não tripulados, no entanto os usuários de aeronaves não tripuladas é que efetivamente podem contribuir para a redução dos riscos desse tipo de operação.

2.4 CIRCULAÇÃO AÉREA

Essa seção trará os conceitos de circulação aérea apresentando os fundamentos do ATM e do UTM, que após a integração, passaram a compor o cenário para permitir a coexistência segura de aeronaves tripuladas e não tripuladas.

O conceito de *Air Traffic Management* (ATM), conforme a ICAO (2016a), engloba um sistema integrado que assegura a movimentação segura e eficiente das aeronaves no espaço aéreo. Inclui serviços como o controle de tráfego aéreo, que orienta e separa aeronaves durante o voo, nas fases de decolagem e aterrissagem e faz a gestão de fluxo de tráfego otimizando o uso do espaço aéreo. Inclui os serviços de navegação aérea dando o suporte necessário para a orientação das aeronaves garantindo a segurança, eficiência e regularidade das operações aéreas.

Segundo Kopardekar *et al.* (2016), o conceito de *Unmanned Aircraft System Traffic Management* (UTM) refere-se a um conjunto de serviços de gerenciamento de tráfego aéreo especificamente desenvolvidos para suportar operações de Sistemas de Aeronaves Não Tripuladas (UAS) em baixas altitudes. Este sistema é projetado para integrar de forma segura e eficiente os UAS no espaço aéreo, permitindo a operação de múltiplas aeronaves não tripuladas em um ambiente compartilhado.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentados os métodos escolhidos para a realização do estudo em tela. Para isso, as etapas de pesquisa serão descritas e os procedimentos realizados serão detalhados.

A natureza deste estudo é a pesquisa aplicada, a qual, valendo-se da pesquisa básica, permitiu gerar conhecimentos com finalidades de aplicação, desenvolvendo inovações em termos de produtos, processos e serviços (PEREIRA, 2023). A inovação que foi apresentada como produto da pesquisa é uma ferramenta aplicável no contexto da gestão de risco em relação ao sistema de controle de tráfego aéreo.

3.1 ETAPAS DA PESQUISA

Para melhor detalhar os aspectos metodológicos da pesquisa realizada, serão explanadas as etapas que viabilizaram a consecução do estudo proposto.

3.1.1 Etapa 1: Bibliometria

Inicialmente, foi conduzido um estudo bibliométrico para aferir o estado da arte em relação aos conceitos basilares do estudo proposto. Verificou-se, por meio da análise dos dados obtidos no levantamento bibliográfico, mesmo após busca exhaustiva, não foram identificados processos de análises dos riscos para a integração do espaço aéreo UTM no ATM do ponto de vista do controle de tráfego aéreo.

Visando identificar a lacuna de pesquisa referente aos perigos relacionados ao controle de tráfego aéreo tendo em vista a integração dos espaços aéreos ATM e UTM, foram utilizadas basicamente uma combinação dos termos Gerenciamento de Risco (Risk Management) com um conjunto de termos cognatos de “Drone” e que são largamente utilizados para fazer referência a este tipo de dispositivo (RPA, UAS e UAV). Pelo fato de estes termos serem siglas, por vezes eram localizados artigos que apesar de fazer referência ao tema de busca estavam em uma outra área do conhecimento.

Visando ser mais específico e ampliar a possibilidade de busca de artigos foram realizadas pesquisas com o termo significado das siglas citadas (*Remotely Piloted Aircraft*, *Unmanned Aircraft System* e *Unmanned Aerial Vehicle*). Além disso, por ter como objetivo entender os perigos para se fazer o GRSO para o ATC e a consequente

integração dos Espaços Aéreos, foram usadas as siglas internacionalmente conhecidas para se referir aos conceitos dos espaços aéreos (ATM e UTM). Com o mesmo objetivo de ampliar a possibilidade de encontrar artigos, foram realizadas buscas utilizando o termo conceitual do significado das siglas (*Air Traffic Management* e *Unmanned Aircraft System Traffic Management*).

Com estas palavras, foram construídos os seguintes conjuntos de buscas: "*Risk Management*" and "*drone*", "*Risk Management*" and "*Remotely Piloted Aircraft*", "*Risk Management*" and "*RPA*", "*Risk Management*" and "*Unmanned Aircraft System*", "*Risk Management*" and "*UAS*", "*Risk Management*" and "*Unmanned Aircraft System Traffic Management*", "*Risk Management*" and "*UTM*", "*Risk Management*" and "*Air Traffic Management*", "*Risk Management*" and "*ATM*", "*Risk Management*" and "*Unmanned Aerial Vehicle*", "*Risk Management*" and "*UAV*".

Esses termos foram combinados para pesquisa nas bases Science Direct, Emerald, Scopus, Taylor & Francis e Wiley on Line, selecionando para uma avaliação inicial o título, o resumo e as palavras-chave. Visando a adequação do tema e a seleção de tipos de publicações, foram aplicados os filtros para Artigos Científicos, revisões e na língua inglesa. Ao utilizar a sigla ATM, devido ao número de artigos identificados, cujo assunto divergia muito do tema buscado, foram excluídos a área de medicina.

Visando ampliar o espectro, foram realizadas buscas utilizando uma combinação de palavras chaves relacionadas aos perigos dos drones para o controle de tráfego aéreo. Assim utilizando os termos *UAS and Hazard and "Air Traffic Control"*, *UAV and Hazard and "Air Traffic Control"*, *Drone and Hazard and "Air Traffic Control"*, *RPA and Hazard and "Air Traffic Control"*, nas bases Science Direct, Scopus e IEEE com a filtragem para Título, Resumo e Palavras Chaves.

De acordo com Bardin (1986), a análise de conteúdo documental oferece uma metodologia sólida para extrair conhecimento de documentos e direcionar a seleção de publicações relevantes na construção de modelos conceituais, melhorando a qualidade dos levantamentos, garantindo que as análises se baseiem em fontes de informações apropriadas e sólidas desempenhando um papel fundamental na pesquisa científica e fornecendo uma base sólida para a construção de modelos conceituais precisos e informativos.

A fim de refinar a amostra de trabalhos identificados, empregou-se o método PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis*), dada

a capacidade desse procedimento de conferir diversos benefícios às revisões sistemáticas. Tais vantagens englobam o aprimoramento da qualidade na apresentação dos resultados, o aumento da transparência e da reprodutibilidade dos estudos, bem como a facilitação da identificação da lacuna de pesquisa e a viabilização de investigações futuras (MOHER, 2010).

De acordo com a abordagem metodológica proposta por Moher (2010), o desenvolvimento de uma revisão deve seguir uma série de etapas conforme preconizado pelo método PRISMA, constituindo um processo rigoroso para conduzir revisões sistemáticas, garantindo a integridade, a confiabilidade e a transparência do trabalho da pesquisa. Uma revisão sistemática envolve as seguintes etapas:

- a) Identificação, que consiste em buscar estudos relevantes na literatura científica;
- b) Triagem, que é a seleção dos estudos com base em critérios de inclusão e exclusão;
- c) Elegibilidade, que inclui uma análise mais detalhada para determinar se os estudos atendem aos critérios estabelecidos;
- d) Inclusão, onde os estudos elegíveis são incorporados à revisão sistemática;
- e) Coleta de dados, que envolve a extração de informações relevantes dos estudos incluídos;
- f) Avaliação do risco de viés, que busca identificar eventuais limitações metodológicas nos estudos;
- g) Síntese dos resultados, que implica na análise sistemática dos dados, podendo incluir meta-análises; e
- h) Interpretação, na qual os resultados são interpretados à luz dos objetivos da pesquisa, e as conclusões são formuladas com base nas evidências reunidas.

Seguindo o método empregada para a revisão sistemática, os resultados indicaram que, inicialmente, um total de 387 artigos foram identificados na primeira etapa.

Subsequentemente, após a identificação e eliminação de 200 artigos duplicados, restaram 187 artigos selecionados para uma análise mais aprofundada, que consistiu na leitura e avaliação dos resumos. Nesse estágio, 128 artigos foram excluídos devido a não se enquadrarem no tema de pesquisa e os motivos para a exclusão desses artigos e as áreas de estudos são apresentados na Tabela 2.

Após essa triagem, restaram 59 artigos para leitura completa e análise de conteúdo detalhada, com o objetivo de compor a análise bibliográfica e bibliométrica. Durante essa fase, a pesquisa visou responder a duas assertivas específicas: a primeira indagava se os artigos abordavam a identificação dos perigos associados à operação de drones, enquanto a segunda questionava se, após a identificação, eram conduzidas análises para o gerenciamento dos riscos dos perigos identificados.

Dos 59 artigos analisados, 45 não atenderam aos dois critérios de seleção de simultaneamente, resultando na exclusão desses estudos. Assim, 14 artigos permaneceram para integrar o escopo de trabalho.

Contudo, constatou-se que nenhum desses oito artigos tratava especificamente da identificação de perigos e do gerenciamento de riscos relacionados ao controle de tráfego aéreo tendo em vista a integração dos espaços aéreos ATM e UTM. Essa lacuna de pesquisa revelou-se como um tópico que requeria as investigações, o que viabilizou a realização deste estudo.

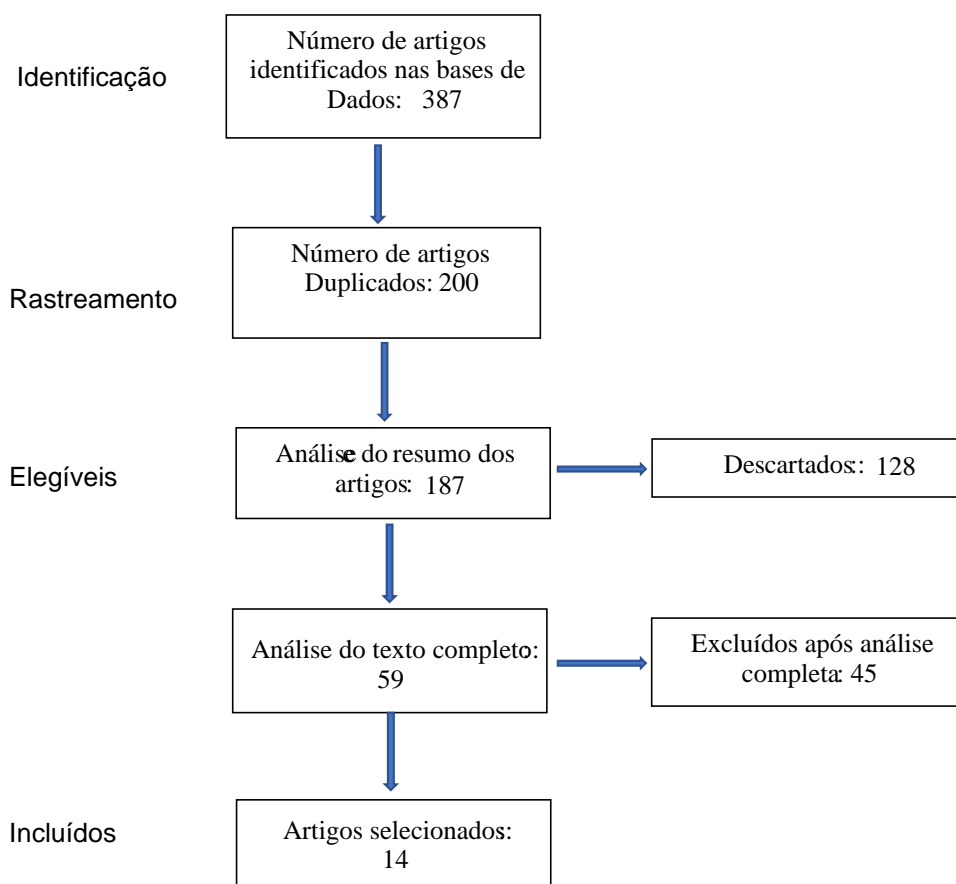
A Figura 6 apresenta o fluxograma descrevendo o método utilizado para a pesquisa nas bases e seleção dos artigos seguindo o processo preconizado por Moher (2010).

Os artigos descartados foram classificados em oito áreas principais totalizando 128 artigos descartados.

Como exemplo, dos artigos que foram classificados na Área de Administração podem-se citar Klius *et al.* (2020), com proposta de analisar as abordagens existentes para a organização do sistema de controle interno, automatização de processos com uso de drones e avaliação de riscos usado para apoiar as atividades das empresas em países estrangeiros e determinar a influência e possível aplicação na prática doméstica.

Já Lopes (2001) tratava da tecnologia baseada em satélite usada para aliviar o bloqueio da aviação, aumentar a capacidade e simplificar o gerenciamento de tráfego aéreo (ATM) no Sistema de Navegação do Espaço Aéreo dos EUA. Abiri, Fotuhi, Abbasi (2009) apresentaram uma formulação linear de inteiro misto eficiente para programação de manutenção de longo prazo de linhas aéreas. A formulação proposta é baseada na abordagem de gerenciamento de risco e utiliza o modelo de fatores de risco desacoplados.

Figura 6: Fluxograma da bibliometria



Fonte: Adaptado de Moher, 2010

Com referência aos classificados na Área da Agricultura cita-se Yu *et al.* (2022), estudou o uso de imagens de veículos aéreos não tripulados fazendo um levantamento de campo e determinando formas, cenários e as causas da fragmentação de terras agrícolas existentes; mediram o nível de fragmentação das terras agrícolas e a eficiência da produção agrícola, analisando o impacto da fragmentação de terras agrícolas na eficiência da produção agrícola por meio do modelo de regressão.

Sarghini, De Vivo (2017) apresentaram uma análise de duas configurações diferentes de drones multirotores visando comparar o conhecimento dos efeitos aerodinâmicos que permitiu a otimização da posição da lança e uma correta configuração da taxa de descarga do líquido químico de acordo com a velocidade de voo drone. Velazquez *et al.* (2020) fizeram estudos sobre a abordagem visando configurar, planejar e implementar estratégias tecnológicas para o setor agropecuário

melhorando os níveis de produção e ciclos produtivos para fortalecer os pequenos agricultores.

Em relação aos classificados na Área Ambiental, destaca-se Wang *et al.* (2022) que fizeram investigações de campo pós-evento com um helicóptero e um veículo aéreo não tripulado (UAV) realizando a interpretação do sensoriamento remoto e observações sísmicas, hidrológicas e meteorológicas; Aurell *et al.* (2021) relataram que o uso de um UAS para coleta de amostras de emissões de gases minimiza o risco para pessoal e equipamentos, permitindo flexibilidade no local de amostragem e garantindo a captura de constituintes representativos de fumaça fresca; e Tiepolo *et al.* (2021) descreveram um método de avaliação de risco de inundação que é inovador por considerar três tipos de perigos (remanso, inundações fluviais e pluviais) e múltiplos cenários de risco utilizando dados de imagens captadas por um veículo aéreo não tripulado e de satélite de altíssima resolução associando as comunidades na avaliação de risco.

Já entre os classificados na Área de Engenharia Civil podem-se citar Keyvanfar, Shafaghat (2022) que investigaram as dimensões da modelagem 3D para aplicações na engenharia civil com a utilização de drones fazendo uma análise de conteúdo dos métodos encontrados na literatura; Bolourian, Hammad (2020) apontando que os métodos convencionais de inspeção visual de pontes são demorados e podem colocar o inspetor em situações perigosas e que a introdução de Veículos Aéreos Não Tripulados (UAV) são uma ferramenta eficaz para esse tipo de serviço; e Zheng, Wang, Li (2018) apresentaram uma metodologia de planejamento de rotas para a aquisição de dados para reconstrução pós emergência utilizando um conjunto mínimo de imagens, incluindo posições e atitudes de disparo da câmera, obtidos com a utilização de UAV equipados com câmeras.

Como exemplo de artigos descartados por classificação da Área Econômica cita-se Shaikh, Padhi (2015) que estudaram o conteúdo da volatilidade da informação implícita em subperíodos de crise (2007-2009) que fizeram a análise do poder preditivo usando volatilidades implícitas mensais não sobrepostas *at-the-money* (ATM) das opções do Nifty Index. Já Rasiah (2010) promoveu investigações sobre a gestão de riscos, segurança e controles no contexto de caixas eletrônicos (ATM).

Classificados na Área da Saúde, citamos Jensen *et al.* (2020) que buscaram explicar os aspectos afetivos da confiança na automação humana em projetos de sistemas que reúnem a calibração de confiança projetando vídeos e descrevendo um

sistema de drone hipotético; já Li *et al.* (2021) afirmaram que a fadiga é um perigo inevitável na prestação de serviços de tráfego aéreo e tem o potencial de degradar o desempenho humano levando a ocorrências, assim a Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO) determina que os prestadores de serviços na área estabeleçam Sistemas de Gerenciamento de Risco de Fadiga (FRMS).

Dos artigos classificados na Área de Segurança ressalta-se Wall, Monahan (2011) que estudaram a implantação de drones em zonas de guerra no Afeganistão, Iraque e Paquistão e zonas fronteiriças e áreas urbanas nos EUA; Zhao, Xue, Whinston (2013) que examinaram duas abordagens alternativas de gerenciamento de risco: acordos de agrupamento de riscos para RPA e serviços de segurança gerenciados; e Wallar, Plaku, Sofge (2015) que propuseram uma abordagem de planejamento de movimento reativo para vigilância persistente de áreas sensíveis ao risco por uma equipe de veículos aéreos não tripulados.

Entre os artigos descartados por terem sido classificação na Área de Simulação cita-se Alhaqbani, Kurdi, Youcef (2020) que propuseram um novo algoritmo para missões multi-UAV com a alocação de tarefas inspirada nos comportamentos adaptativos de cardume de peixes; Vamvakas, Tsiropoulou, Papavassiliou (2019) que elaboraram uma estrutura de gerenciamento de recursos por meio de avaliação de risco centrado no usuário e baseado em pontos de distribuição assistidos por um UAV estático e um UAV móvel; e WANG *et al.* (2017) que propuseram métodos de assimilação de dados utilizando filtro de partículas típico e a combinação de um filtro de partículas com algoritmo de maximização de expectativa para assimilar as observações virtuais do Veículo Aéreo Não Tripulado (UAV) com medição de erro no modelo de dispersão atmosférica.

A Tabela 1 apresenta a quantidade de artigos que não foram utilizados na composição dos temas de interesse para o estudo apresentadas de acordo com as áreas de classificação atribuídas.

Tabela 1: Área do conhecimento

| Área do Conhecimento | Quantidade |
|----------------------|------------|
| Administração | 12 |
| Agricultura | 8 |
| Ambiental | 50 |
| Civil | 6 |
| Economia | 12 |
| Saúde | 12 |
| Segurança | 12 |
| Simulação | 16 |
| Total | 128 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados compilados do estudo bibliométrico descrito serão apresentados na seção 4.1 (Resultados do levantamento bibliométrico) deste trabalho.

3.1.2 Etapa 2: Instrumento de pesquisa

Uma vez que na Tabela 1 estão identificados os perigos relacionados especificamente à operação de drone, foi criado um questionário eletrônico (via *Google Forms*) com a finalidade de submeter cada um desses elementos às considerações dos sujeitos de pesquisa.

Os elementos foram dispostos em forma de afirmações, usando Escala Likert. A escala foi definida de 1 a 5, para que os respondentes pudessem apresentar suas atitudes em relação às questões por meio da seguinte gradação:

- 1 - Discordo totalmente
- 2 - Discordo parcialmente
- 3 - Neutro/Não tenho opinião
- 4 - Concordo parcialmente
- 5 - Concordo totalmente

O formulário foi composto de 43 questões no total. As três primeiras questões trataram das qualificações dos especialistas visando demonstrar a experiência e a posição ocupada na estrutura do sistema de controle de tráfego aéreo brasileiro.

Em seguida foram apresentados oito blocos de assertivas com os temas levantados na pesquisa literária, sendo 33 com avaliação baseado na Escala Likert, onde os respondentes apresentaram sua percepção sobre os perigos citados na

literatura bem como sua opinião sobre a importância dada as medidas mitigadoras que poderiam reduzir o impacto da condição levantada.

Ao final de cada bloco foi deixada uma questão aberta, no total de 08 questões para que de modo espontâneo pudessem emitir sua opinião e consideração sobre o assunto que está sendo discutido. No final do formulário, foi disponibilizada mais duas questões abertas para que os sujeitos de pesquisa acrescentassem suas opiniões sobre os perigos adicionais, baseados em suas experiências nas áreas de segurança operacional no controle do espaço aéreo e que, eventualmente não tenham sido levantadas na revisão bibliográfica ou tenham sido respondidas nas outras questões.

3.1.3 Etapa 3: Amostra de sujeitos de pesquisa

Os profissionais respondentes são atuantes na área de segurança operacional e ocupam posições em diversos níveis organizacionais, especificamente nas áreas diretamente ligadas com as operações de controle de tráfego aéreo, ocupando (durante o período de realização da pesquisa) a posição de chefia, gerência de segurança operacional e/ou fator humano. Assim, todos são atuantes e desempenham papel essencial na manutenção da integridade e eficiência das operações tendo papéis relevantes e de destaque na área em que atuam. Esses respondentes foram denominados como especialistas (E) e distinguidos em suas respostas por meio de índice numérico (de E1 a E7).

O Especialista E1 possui mais de 30 anos de atuação no sistema de controle de tráfego aéreo brasileiro, sendo grande parte como controlador de tráfego aéreo, o que garante uma visão plena das atividades operacionais na ponta da rede e mais de 12 anos de serviço em Administração/Chefia de órgãos operacionais e setores administrativos em âmbito regional. Atualmente desempenha o papel de Coordenador de estações permissionárias de serviço de tráfego aéreo com exercendo atividades ligadas ao controle de tráfego aéreo em órgãos operacionais locais. É instrutor, supervisor e contribui para a formação e treinamento dos grupos de operadores que lidera contribuindo para a excelência em segurança operacional.

O Especialista E2 tem 14 anos de dedicação diretamente na área de segurança operacional e mais de 25 anos no sistema de controle de tráfego aéreo. Atualmente exerce a função de chefia e é responsável pela segurança operacional em nível nacional atuando no órgão que faz a gestão do tráfego aéreo brasileiro. Em sua

trajetória, exerceu a função de controlador de tráfego aéreo e diversas funções administrativas de chefia em órgão regional de prestação de serviços de tráfego aéreo ligados a operações por todo o Brasil, desempenhando um papel fundamental na gestão de segurança operacional e administração.

O Especialista E3, com 15 anos de dedicação na área segurança operacional e mais de 35 anos de serviços prestados no sistema de controle de tráfego aéreo. Atualmente é chefe responsável pela gestão, elaboração e atualização de normas de segurança operacional ligados às atividades de controle de tráfego aéreo. Foi controlador, instrutor e supervisor de tráfego aéreo e atualmente exerce atividades sistêmicas de natureza administrativa de alto nível ligadas à segurança operacional. Desempenha um papel relevante na elaboração e implementação de normas que garantem a segurança das operações.

O Especialista E4 possui mais de 24 anos de serviço na atividade aérea onde além de piloto desenvolveu atividades ligadas à operações aéreas e está há mais de 6 anos atuando diretamente com controle de tráfego aéreo, na área de segurança operacional. Atualmente exerce a função de chefia em um dos mais importantes órgãos operacionais do país, sendo responsável por mais de 25% do movimento de tráfego aéreo nacional. Exerceu funções de investigador de acidentes e incidentes com aeronaves e de ocorrências de tráfego aéreo, tendo atuado em nível regional na mais movimentada área de aeronaves do Brasil. Em suas atividades de Administração/Chefia desempenha um papel fundamental na organização e coordenação das operações aéreas de controle de tráfego aéreo diariamente e garante que os processos executados sejam eficientes e seguros.

O Especialista E5 possui mais de 22 anos de serviço na atividade aérea tendo atuado em setores de prevenção e segurança dessa atividade, há mais de 5 anos está atuando diretamente com o controle de tráfego aéreo, tanto na área de investigação e prevenção quanto na área de segurança operacional. Exerce atualmente função de chefia de órgão prestador de serviços de controle de tráfego aéreo em nível local, destacando-se por ser o mais importante da aviação civil de pequeno e médio porte e que será o polo teste de implementação da atividade de drones no Brasil. Foi investigador de acidentes com aeronaves e atuou em nível regional na prevenção de acidentes e incidentes do controle do espaço aéreo. Seu conhecimento e liderança é fundamental para garantir que todas as operações sob sua jurisdição sejam conduzidas com segurança.

A Especialista E6 atua no setor gestão da segurança operacional (SMS/SGSO), possui mais de 23 anos de experiência, e desempenha a função de especialista em Fator Humano, compondo equipes de investigações de acidente e incidentes na área de controle de tráfego aéreo, participando de grupos de estudos para formalização normativa e padronização de formação e instrução. Atua de modo sistêmico e em âmbito nacional, possuindo uma visão macro em termos regulatórios e operacionais. Sua trajetória a torna uma referência na compreensão do comportamento humano na área de controle de tráfego aéreo e segurança operacional.

A Especialista E7 atua no setor gestão da segurança operacional (SMS/SGSO), possui 23 anos de experiência, desempenha a função de Especialista em Fator Humano, participando de investigações de acidente e incidentes na área de controle de tráfego aéreo e atendimento psicológico a profissionais envolvidos em incidentes e ocorrências críticas durante a prestação dos serviços. Atua no setor de segurança operacional em âmbito regional exerce uma função singular como consultora de fatores humanos e aspecto psicológico para controladores de tráfego aéreo e sua experiência é fundamental para garantir que o aspecto psicológico seja considerado na segurança operacional.

Todos esses especialistas desempenham funções fundamentais em diversos setores, garantindo a segurança operacional e a eficiência de suas organizações. O conjunto global de conhecimentos e experiências nos variados campos de atuação normativos, administrativos, operacionais e fatores humanos, a ampla atuação em setores locais, regionais e nacionais compõem um conjunto de credenciais representativa da fonte de conhecimento e informações necessárias para a elaboração desse trabalho e contribuirão substancialmente com as análises para se atingir os objetivos propostos nesse estudo.

3.1.4 Etapa 4: Coleta de dados

O atalho para o questionário eletrônico foi enviado por e-mail para cada um dos especialistas. As respostas foram fornecidas por esses respondentes durante o mês de agosto de 2023. Esses dados foram planilhados e computados, conforme mostrado nas tabelas explanadas na subseção 4.2 deste trabalho.

Sendo assim, até este ponto do estudo, foi realizada uma coleta de dados por meio de um formulário, com assertivas abertas e fechadas, junto aos especialistas em

segurança operacional no controle de tráfego aéreo. Esses profissionais são atuantes no sistema de controle de tráfego aéreo brasileiro com reconhecimento de alto nível entre as autoridades aeronáuticas e detém o conhecimento da atividade possuindo a capacidade de identificar perigos que esse processo pode gerar dentro do órgão de controle.

3.1.5 Etapa 5: Produto de pesquisa e validação

Em continuidade da pesquisa, foi realizada uma consulta aos especialistas em segurança operacional no controle do espaço aéreo (conforme subseção 4.2), utilizando o Método Delphi. Este método foi adotado por ser uma técnica, segundo Rowe e Wright (2011), constituída por um processo estruturado e iterativo utilizada para identificar e avaliar as opiniões dos especialistas sobre um assunto específico.

De acordo com Munaretto, Corrêa e Cunha (2013), é constituído de uma série de rodadas de pesquisa, onde os especialistas respondem as questões sobre o tema apresentado, em seguida são compiladas as respostas até que o consenso seja atingido. Caso isso não ocorra, as respostas são ajustadas e uma nova rodada de análises são realizadas até que um consenso seja alcançado ou até que seja determinado que nenhum consenso pode ser atingido. Por fim, após a última rodada, os resultados são consolidados em um relatório final, que inclui as respostas dos especialistas, as justificativas para as escolhas feitas e as conclusões obtidas.

4 RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DO LEVANTAMENTO BIBLIOMÉTRICO

O Quadro 2 apresenta levantamento bibliométrico realizado na literatura listando os artigos que continham temas ligado ao assunto de interesse, ou seja, discutiam gerenciamento de riscos e identificando os perigos para a operação dos drones de modo geral.

Quadro 2: Quadro de artigos selecionados

| Artigo | Autores | Ano | Periódico | País |
|--|---------------------------|------|--|----------------|
| Determining the Saturation Point for UAV Operations in Airport Environments: A Probabilistic Approach. | ULLRICH et al. (2024) | 2024 | Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference | Estados Unidos |
| Live Trials of Dynamic Geo-Fencing for the Tactical Avoidance of Hazard Areas. | KUENZ et al. (2023) | 2023 | IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine | Estados Unidos |
| A Survey on the Unmanned Aircraft System Traffic Management. | HAMISSI; DHRAIEF (2023) | 2023 | ACM Computing Surveys | Estados Unidos |
| Examining New Zealand Unmanned Aircraft Users Measures for Mitigating Operational Risks | HENDERSON (2022) | 2022 | Drones | Nova Zelandia |
| Construction and Research of Safety Management System for Machine Patrol Operation | ZHANG; GUO; LIAO (2021) | 2021 | Mathematical Problems in Engineering | Estados Unidos |
| Empirical study of airport geofencing for unmanned aircraft operation based on flight track distribution | ZHANG et al. (2020) | 2020 | Transportation Research Part C: Emerging Technologies | Holanda |
| Risk Assessment Model for UAV Cost-Effective Path Planning in Urban Environments | HU et al. (2020) | 2020 | Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) | Estados Unidos |
| Risk Assessment of Unmanned Aerial Vehicle Flight Based on K-means Clustering Algorithm | BU et al. (2020) | 2020 | Transactions of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics | China |
| The Risk of Hazards Analysis in Unmanned Aerial Vehicle Flight | MACIEJEWSKA et al. (2019) | 2019 | Journal of Konbin | Alemanha |
| A risk analysis of unmanned aircraft systems (UAS) integration into non-segregate airspace | FERREIRA et al. (2018) | 2018 | Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) | Estados Unidos |

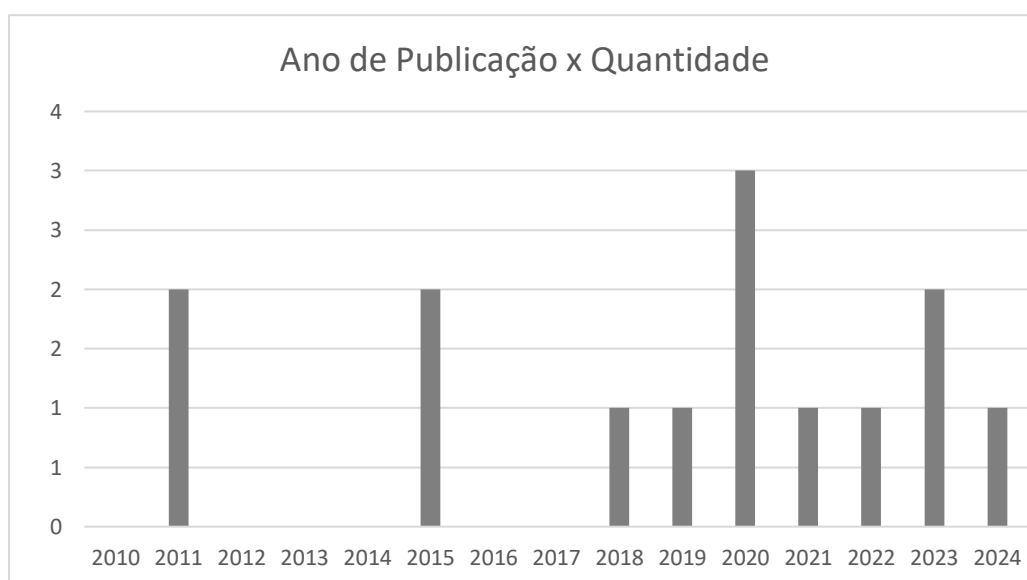
| | | | | |
|---|---------------------------------|------|--|----------------|
| Safe operation of mini UAVs: A review of regulation and best practices | SANZ et al (2015) | 2015 | Advanced Robotics | Japan |
| Functional decomposition of Unmanned Aircraft Systems (UAS) for CNS capabilities in NAS integration | MUTUEL; WARGO; DIFELICI (2015) | 2015 | Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) | Estados Unidos |
| Definition of an airworthiness certification framework for civil unmanned aircraft systems | CLOTHIER et al (2011) | 2011 | Safety Science | Holanda |
| Framework for Unmanned Aircraft Systems Safety Risk Management | SPEIJKER; LEE; LEIJGRAAF (2011) | 2011 | SAE International Journal of Aerospace | Estados Unidos |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os gráficos a seguir apresentam uma análise do estudo bibliométrico descrito no Quadro 2. Eles ilustram a disposição da comunidade científica em relação ao tema abordado onde podemos observar as tendências e a evolução das pesquisas ao longo do tempo.

O interesse por estudo de gerenciamento de riscos dos impactos do drone no controle de tráfego aéreo vem se mostrando crescente nos últimos anos, conforme é observado no Gráfico 1, demonstrando um aumento no interesse desse assunto à medida do incremento da utilização desse sistema como modal de negócios, ampliação das possibilidades comerciais crescentes e questões relacionadas com a mobilidade urbana.

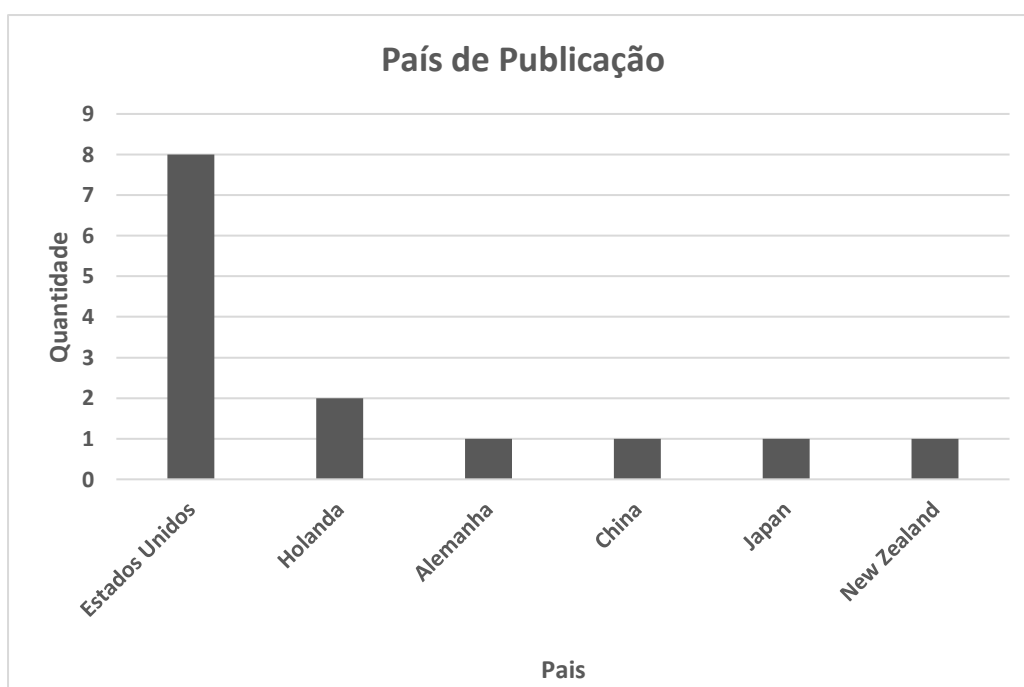
Gráfico 1: Distribuição de artigos por ano de publicação



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota-se que as publicações estão concentradas em países mais avançados tecnologicamente e que estão pontuando no desenvolvimento e normatização para a utilização dessa tecnologia como modal econômico. O Gráfico 2 apresenta a distribuição geográfica dos estudos identificados.

Gráfico 2: Distribuição de artigos por país de publicação



Fonte: Elaborado pelo autor.

A avaliação dos artigos indicou que os métodos de gestão de risco voltados para a operação de UAV devem estar alinhados aos preceitos previstos no método de identificação dos perigos (conforme subseção 2.3 deste estudo), dentro de um cenário definido, precedidos por uma classificação inicial, considerando todas as variáveis, definição de medidas mitigadoras e implementações dessas, reclassificação de riscos residuais considerando esse novo cenário, monitoramento e análise sucessivas visando verificar se os objetivos de segurança operacional foram atingidos.

A análise de conteúdo dos artigos revelou que colisão com aeronaves tripuladas, não tripuladas e pessoas ou estruturas no solo são os perigos mais considerados nos estudos levantados, de acordo com o apresentado na Tabela 2.

Os valores de totalização na vertical, apontam para uma preocupação dos autores mais ligada a colisão do UAV com aeronaves tripuladas, o que levaria a possibilidade de comprometimento de vida humanas, com grande potencial de danos. Esses fatores são mais críticos na fase final de aproximação durante os pousos, e nas decolagens, durante a fase inicial de subida pois as aeronaves tripuladas e os UAV têm maior potencial de convivência.

A colisão com estruturas no solo também foi citada por muito dos autores, principalmente considerando que essas estruturas podem ser consideradas críticas, como por exemplo, usinas de energia nuclear, refinarias ou depósitos de combustíveis, podendo causar elevados impactos sociais e econômicos. O descumprimento de legislação, citado por cinco autores, pode levar principalmente à interrupção e paralisação das atividades aéreas impactando no fluxo de aeronave saindo e chegando em um aeroporto ou no espaço aéreo com reflexos na circulação aérea geral e consequente perdas econômicas para a indústria aeronáutica.

Citado por quatro autores, a colisão com pessoas no solo é importante, porém aparenta ter tido um pouco menos relevância por entender ser um dano localizado e de consequências menores, no entanto, é importante ser levado em consideração o tamanho do UAV. Erros de pilotagem e falhas no UAS apareceram com quatro citações, mas também representativamente significativa, pois podem resultar nas mesmas consequências citadas anteriormente. Com menor potencial de danos ou impactos econômicos, na visão dos autores, colisão com aeronaves não tripuladas e interferências nas comunicações aparecem com apenas uma citação cada.

Na totalização mostrada na horizontal, foram computados os perigos citados pelos autores nos artigos selecionados na literatura. Observa-se que os perigos identificados e citados nos trabalhos estão ligados as operações do UAV e não foram analisados ou incluídos nos estudos, perigos específicos para a atividade do controle de tráfego aéreo que podem impactar na prestação do serviço de tráfego aéreo e causar prejuízos e/ou danos à cidade, indústria aeronáutica ou às pessoas devido futura integração do espaço aéreo UTM no ATM.

Tabela 2: Levantamento dos perigos citados na revisão bibliográfica

| PERIGO | Clothier et al. (2011) | Speijker, Lee, Van De Leijgraaf (2011) | Sanz et al. (2015) | Maciejewska et al. (2019) | Hu et al. (2020) | Bu et al. (2020) | Zhang, Guo, Liao (2021) | Henderson (2022) | Ferreira et al. (2018) | Kuenz et al. (2023) | Hamissi e Dhraief (2023) | Zhang et al. (2020) | Ullrich et al. (2024) | Mutuel, Wargo e Difelici (2015) | Total |
|---|------------------------|--|--------------------|---------------------------|------------------|------------------|-------------------------|------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------------------|-------|
| Colisão com aeronaves tripuladas | x | | x | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | 12 |
| Colisão com estruturas no solo | x | x | x | | x | x | | x | | | | | x | x | 8 |
| Descumprimento de legislação de tráfego aéreo | | x | | x | x | | x | x | x | x | | x | | x | 9 |
| Colisão com pessoas no solo | x | | x | | x | | | x | | | | | | x | 5 |
| Erros de operação do piloto | | x | x | x | | | | x | x | | | x | | | 6 |
| Falhas no sistema UAS | | | x | x | | | x | x | x | x | x | x | x | | 9 |
| Colisão com aeronaves não tripuladas | | x | | | | | | | x | | | | x | | 3 |
| Interferência nas comunicações | | | | | | | x | | | | | | | | 1 |
| Total | 3 | 4 | 5 | 3 | 4 | 2 | 4 | 6 | 5 | 3 | 2 | 4 | 4 | 4 | 53 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 RESULTADO DA ANÁLISE DOS ESPECIALISTAS

Foi realizada a consulta aos especialistas, com diferentes experiências e qualificações na área de segurança operacional e chefia, de acordo com o citado na subseção 3.2.3 deste trabalho, visando identificar a percepção deles em relação aos temas identificados na literatura atribuindo uma pontuação de 1 a 5, Escala de Likert, sendo que 1 indica uma percepção de importância muito baixo e 5 indica uma percepção de importância muito alta. Em adicional foi solicitado que opinassem sobre a aplicabilidade e eficiência das medidas mitigadoras apresentadas, atribuindo o mesmo critério.

4.2.1 Colisão com aeronaves tripuladas

A primeira assertiva tratava da possibilidade de colisão entre aeronaves não tripuladas (UAV) e aeronaves tripuladas durante a prestação dos serviços de tráfego Aéreo (ATS). A análise dessa assertiva é de relevada importância na prestação dos serviços de tráfego aéreo, pois a proteção de aeronaves tripuladas, na concepção atual do sistema, é a função principal da existência do sistema de controle de tráfego aéreo. Cabe ao profissional controlador a função de separar os tráfegos conhecidos e com direito ao serviço de controle de tráfego aéreo, dependendo da classe do espaço aéreo estabelecida em ICAO (2016a). A entrada desse novo conjunto de aeronaves não tripuladas na circulação aérea irá impactar diretamente nas funções e atividades exercidas.

Além disso, os especialistas foram convidados a avaliar a eficácia de três estratégias diferentes de mitigação visando o aperfeiçoamento das atividades atuais de prestação de serviços para que essa situação de risco não ocorresse ou fosse minimizada a possibilidade de ocorrência.

Assim foi solicitado que avaliassem a importância da eficácia de atualização das normas e manuais que estão em vigor atualmente dentro dos órgãos prestadores de serviço, uma vez que essas formam o arcabouço legal para a regulamentação da atividade, sobre a possibilidade de se adicionar recursos de tecnologia que possam ajudar a alertar quanto a presença de aeronaves não tripuladas em situação de conflito ou que possam vir a constituir riscos para as aeronaves tripuladas e, finalmente, se o treinamento dos ATCO, considerando esse novo ambiente operacional, poderia contribuir na prevenção da colisão de aeronaves não tripuladas e tripuladas com fins a evitar a ocorrência desse tipo de evento durante a prestação dos serviços.

A Tabela 3, apresenta os resultados das avaliações dos especialistas em relação à primeira assertiva constante do formulário verificando se a possibilidade de colisão dos UAS com aeronaves tripuladas, seria um fator importante e que deve ser considerado durante a prestação do ATS:

Tabela 3: Perigo 1 e avaliação dos especialistas

| | | Especialista | | | | | | |
|----------------|--|--------------|----|----|----|----|----|----|
| | | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 |
| Perigo 1 | A possibilidade de Colisão dos UAV com aeronaves tripuladas, é um fator importante e que deve ser considerado durante a prestação do ATS | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Mitigadora 1.1 | Atualizar normas e manuais do ATS mitiga a possibilidade de colisão dos UAV com aeronaves tripuladas. | 1 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 |
| Mitigadora 1.2 | Utilizar recursos de tecnologia facilita a prestação do ATS visando a prevenção da colisão de UAV com aeronaves tripuladas. | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Mitigadora 1.3 | O treinamento dos ATCO ajuda na prevenção da colisão de UAV com aeronaves tripuladas. | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados indicam que todos os especialistas consultados tiveram uma percepção de um grau de importância elevada considerando a possibilidade de colisão entre aeronaves não tripuladas (UAV) e aeronaves tripuladas durante a prestação do Serviço de Tráfego Aéreo (ATS). A maioria dos especialistas concorda totalmente com a importância do tema para o controle de tráfego aéreo e atribuiu grau 5. Somente o Especialista E1, com uma grande experiência operacional de prestação dos serviços na rede apresentou concordância parcial e atribuiu grau 4 alegando ter essa percepção por entender que o controlador de tráfego aéreo deveria ter a sua disposição recursos que permitissem uma detecção antecipada da situação de perigo com tempo de ação para prover a separação entre um UAV e uma aeronave tripulada sob controle, conduzindo as aeronaves a uma condição de segurança.

Mesmo assim, foram verificadas convergências sobre a importância que essa questão tem para a prestação dos serviços de controle. Isso é resultado da consciência da real finalidade da prestação dos serviços de tráfego aéreo, por ser responsabilidade do controlador preservar a segurança das aeronaves tripuladas, conforme as regras de prestação dos serviços e em conformidade com a concepção do sistema atual, prevista em ICAO (2016a).

Apesar da importância ressaltada por todos, existe uma consciência unânime de que, considerando o sistema atual, haveria uma pequena possibilidade de ações efetivas dos controladores em relação aos UAV para prover a separação regulamentar, especialmente considerando a quantidade prevista de operações e as características dos novos equipamentos, que poderiam até mesmo estar operando de maneira autônoma e não tripulada. Essa alta percepção é compartilhada independentemente da posição ocupada, do tempo de experiência na área de segurança operacional ou do tipo de atividade exercida.

Dessa maneira, considerando as opiniões citadas, foram solicitados a avaliar a eficácia das estratégias de mitigação, sugeridas em ICAO (2018), especificamente aquela recomendando a atualização das normas e manuais. Nesse quesito, de maneira geral os especialistas consideraram muito eficaz essa medida, os Especialistas E2, E3, E4 e E7 concordaram totalmente com essa medida, atribuindo grau 5, levaram em consideração o fato de que esse setor profissional é extremamente regulamentado, por envolver segurança e prevenção de acidentes, sendo de fundamental importância que as normas e os protocolos sejam seguidos visando dar legalidade aos processos.

Seguindo esse raciocínio, o Especialista E5 apresentou concordância parcial, atribuindo grau 4, por considerar a regulamentação importante sim, mas com os devidos ajustes visando permitir a possibilidade de adequação da teoria à prática cotidiana para que seja totalmente efetiva. Já com opinião oposta, o E1, que possui grande experiência operacional na prestação dos serviços de controle, apresentou discordância total dessa mitigadora, atribuindo uma pontuação baixa, grau 1, justificando que somente a normatização não seria suficiente para separar as aeronaves, mas com total consciência da importância de se trabalhar coberto pela legislação. Acrescentou que somente junção das demais medidas agregariam efetividade a essa, mas seria um ponto de partida essencial para a implementação do novo sistema.

O uso de recursos de tecnologia foi considerado por todos como de grande importância, apresentando concordância total com essa mitigadora, atribuindo grau 5, por considerarem que haveria uma grande variedade de tipos de operações e uma grande quantidade de atividades. Mesmo não havendo possibilidade de o controlador atuar sobre os UAV, a detecção antecipada da invasão, com mecanismos de alerta ou a utilização de meios de tecnologia que dificultassem ou impedissem a entrada de

drones em uma área crítica de controle, haveria ainda assim a possibilidade de se implementar alguma medida de separação ou alerta às aeronaves tripuladas, objetivando garantir a segurança das operações correntes.

Por fim, foi questionado se o treinamento dos ATCO seria reconhecido como uma estratégia eficaz para reduzir a possibilidade de colisão dos UAV com aeronaves tripuladas. O treinamento é reconhecido e aceito como um aspecto fundamental do processo de formação do profissional de controle de tráfego aéreo, assim quando da implementação de qualquer novo tipo de procedimento no controle de tráfego aéreo, o treinamento tem relevada importância e os Especialistas E2, E3, E4, E6 e E7 concordaram totalmente, com a medida mitigadora e consideraram de grande relevância, atribuindo grau 5. No entanto, apesar de reconhecendo a alta importância, os especialistas E1 e E5 apresentaram variações na percepção da eficácia dessa medida, atribuindo grau 4 e concordando parcialmente com essa mitigadora. Ambos alegaram que, numa visão mais tática e operacional, essa medida isolada careceria de ser mais específica e levar outros aspectos em consideração, como por exemplo o tipo de treinamento que seria empregado, se teórico, prático em simulador ou até mesmo uma combinação dos dois.

Os especialistas também foram solicitados a opinar, numa questão aberta, sobre quais ações, além das mitigadoras analisadas acima, deveriam ser acrescentadas visando minimizar a possibilidade de colisão do UAS com aeronaves tripuladas.

O Especialista E1 destaca a importância da segregação adequada do espaço aéreo como uma medida fundamental para garantir a segurança e a integridade das operações aéreas enfatizando a necessidade de estabelecer regras e mecanismos de programação para os sistemas como um todo visando evitar a violação do espaço aéreo controlado, melhorando a segurança e simplificando o cumprimento das regulamentações. O estabelecimento de áreas específicas para a operação UAV, com a criação de "Portões" de acessos e saídas permitiria que esses equipamentos operassem com segurança em áreas segregadas, demarcadas e supervisionadas.

Sobre essa assertiva, o Especialista E2 considerou que as medidas mitigadoras apresentadas nas questões anteriores tinham abrangência suficientes para esgotando as três principais formas de mitigação que seriam as normas, tecnologia e treinamento.

O Especialista E3 afirmou que deveriam ser estabelecidos para os UAV, os mesmos níveis de requisitos de aeronavegabilidade, de navegação e de comunicações exigidos para as aeronaves tripuladas para que tivessem autorização de utilização do espaço aéreo.

Já os Especialistas E4 e E7 apresentaram sugestões convergentes enfatizando a importância do treinamento e da fiscalização dos operadores e dos equipamentos UAV, bem como a necessidade de ações de conscientização e prevenção para os proprietários dos UAV.

O Especialista E5 destaca a importância da conscientização dos operadores de UAV com treinamentos para compreender e entender o espaço aéreo e conhecer as regras e regulamentos que regem suas operações, abordando questões como restrições de voo, áreas proibidas e limites de altura. Além disso, os operadores devem ser informados sobre os riscos associados às operações próximas a aeroportos e áreas de tráfego aéreo intenso, incentivando-os a evitar tais situações. Acrescentou que existe a necessidade de investimentos em recursos tecnológicos fornecendo informações em tempo real aos controladores de tráfego aéreo sobre a presença de UAV nas proximidades de aeroportos e áreas sensíveis, permitindo respostas rápidas dos controladores e das autoridades de segurança pública, havendo também a necessidade de estabelecimento de mecanismos que possibilitem a intervenção das autoridades em situações críticas.

A sugestão do Especialista E6 ressalta a importância da comunicação eficaz entre os operadores de UAV e as autoridades de aviação, com a necessidade de criação de protocolos de comunicação claros e eficientes que poderia permitir o monitoramento e o controle das operações de UAV nas proximidades de áreas críticas.

Portanto, com base nas avaliações dos especialistas, a possibilidade de colisão entre UAV e aeronaves tripuladas durante a prestação do ATS é considerada um fator de elevada importância. A atualização das normas e manuais, o uso de recursos de tecnologia e o treinamento dos Controladores de Tráfego Aéreo (ATCO) são ações amplamente aceitas para mitigar esse risco e para minimizar a possibilidade de colisões entre UAV e aeronaves tripuladas, sendo fundamental combinar recursos tecnológicos, conscientização dos operadores de UAV, eventual segregação de espaços aéreos e a implementação de protocolos de comunicações eficazes.

Essa abordagem multidisciplinar é muito importante para garantir a gestão da segurança operacional no espaço aéreo, prevenir acidentes potencialmente perigosos e contribui para minimizar a possibilidade de colisão dos UAV com aeronaves tripuladas e deve ser considerado durante a prestação do ATS para uma convivência harmoniosa de ambos os tipos de operações, tripuladas e não tripuladas.

4.2.2 Colisão com estruturas no solo

A segunda assertiva, tinha por finalidade verificar as análises da importância dada à possibilidade de os UAV colidirem com estruturas no solo durante a prestação dos serviços de tráfego aéreo. A Tabela 4, apresenta os resultados das avaliações dos especialistas:

Tabela 4: Perigo 2 e avaliação dos especialistas

| | | Especialista | | | | | | |
|----------------|--|--------------|----|----|----|----|----|----|
| | | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 |
| Perigo 2 | A possibilidade de Colisão dos UAV com estruturas no solo, é um fator importante e que deve ser considerado durante a prestação do ATS | 1 | 2 | 5 | 4 | 3 | 5 | 4 |
| Mitigadora 2.1 | Atualizar normas e manuais do ATS mitiga a possibilidade de colisão dos UAV com estruturas no solo | 1 | 1 | 5 | 3 | 3 | 5 | 5 |
| Mitigadora 2.2 | Utilizar recursos de tecnologia facilita a prestação do ATS visando a prevenção da colisão dos UAV com estruturas no solo. | 1 | 2 | 5 | 5 | 3 | 5 | 5 |
| Mitigadora 2.3 | O treinamento dos ATCO ajuda evitar a ocorrência da colisão dos UAV com estruturas no solo. | 1 | 1 | 4 | 3 | 1 | 5 | 5 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os Especialistas E3 e E6 concordaram totalmente com essa afirmação e atribuíram a maior pontuação (5), indicando que consideram essa possibilidade altamente relevante na prestação do ATS. Observa-se que estes profissionais atribuíram suas classificações utilizando uma visão mais ampla, sistêmica e administrativa do conjunto, ou seja, com um foco mais de gestão normativa e diretiva visando o estabelecimento de padrões de conduta e de concepção do espaço aéreo durante a prestação dos serviços.

É importante que os UAV circulem em áreas em que seja reduzido a possibilidade do impacto com estruturas fixas, uma vez que, eventual colisão nas proximidades de áreas aeroportuárias, poderiam desestabilizar as condições de segurança necessárias para a prestação dos serviços de controle de tráfego aéreo. Eventos dessa natureza poderiam provocar aumento da carga de trabalho com deslocamento de estrutura de apoio e, conforme gravidade, impacto psicológico dependendo do grau de envolvimento da equipe de ATCO.

Dessa forma, as análises foram realizadas na visão do gestor sistêmico a quem cabe a obrigação de avaliar o conjunto de rotas e a organização do espaço aéreo de modo a não interferir com a prestação dos serviços de tráfego aéreo e garantir a segurança e tranquilidade das pessoas no solo.

Os Especialistas E4 e E7 também atribuíram pontuações relativamente altas (4) e concordam parcialmente com a importância da possibilidade de colisão de UAV com estruturas fixas, destacando que têm esse posicionamento por considerar que esse fato seria relevante, mas deveria ser considerado para administração dos órgãos operacionais locais, com impacto menor na operação uma vez que não teriam como detectar e nem tão pouca atuação para evitar esse tipo de ocorrência.

O Especialista E1, discorda totalmente dessa afirmação e atribuiu a menor pontuação (1), sugerindo que este fator não é considerado importante para ele. Esta classificação atribuída é notadamente fruto de uma experiência prática e de uma visão mais operacional, pois leva em consideração direta os objetivos atuais da prestação do serviço de controle de tráfego aéreo, a utilização dos recursos locais disponíveis para a operação diária da atividade e que ainda não há meios disponíveis de tecnologia que auxiliem uma detecção de impacto iminente.

Nessa mesma linha de raciocínio, o Especialista E2 discorda parcialmente, atribuindo grau de importância 2 e acrescenta que na aplicação da regulamentação atual prevista em ICAO (2016a), não está previsto a separação de qualquer tipo de aeronaves, mesmo as tripuladas, com obstáculos no solo e que isso deveria ser reforçado na atualização das normas e manuais também para as não tripuladas.

Já para o Especialista E5, que atribuiu uma pontuação intermediária, grau 3, considerando indiferente, alegou que não haveria nem ação possível do ATCO e nem regulamentação que amparasse qualquer atividade, assim carecendo de um aprofundamento do tema determinando um estabelecimento de ações adequadas para esse novo contexto operacional.

A variação nas pontuações atribuídas pelos especialistas avaliando a importância atribuída ao impacto de UAV com estruturas no solo indicam que há uma falta de consenso sobre a importância desse tema na prestação do ATS. No entanto, vale destacar que a maioria dos especialistas atribuíram pontuações que indicam uma preocupação moderada a alta em relação a esse fator e a divergência de opiniões podem ser atribuídas às razões citadas como diferenças nas experiências e perspectivas dos especialistas, bem como nas regulamentações e práticas específicas da profissão.

É importante ressaltar que nem mesmo no controle de aeronaves tripuladas é responsabilidade do controlador de tráfego aéreo realizar a separação de aeronaves e obstáculos no solo. Exceção feita nas áreas controladas no solo dos aeródromos, e com as aeronaves em situação de taxiamento para decolar, após o pouso ou em movimentação entre posições do aeródromo, Exceto nesse último caso não é função do ATCO separar os tráfegos conhecidos dos obstáculos, sendo esse processo garantido pelo cumprimento dos procedimentos e das cartas publicadas, conforme ICAO (2016a).

Contudo, mesmo não sendo responsabilidade dos controladores o procedimento citado, a circulação dos drones pode vir a interferir na prestação dos serviços, assim os especialistas foram convidados a avaliar a eficácia de três estratégias diferentes de mitigação visando o aperfeiçoamento das atividades atuais de prestação de serviços para que essa situação de risco não ocorresse ou fosse minimizada a possibilidade de ocorrência.

Da mesma forma, por ser apresentado em ICAO (2018), foi solicitado aos especialistas que avaliassem a eficácia da atualização das normas e manuais que estão em vigor atualmente, a possibilidade de se adicionar recursos de tecnologia que possam ajudar a alertar quanto a presença de aeronaves não tripuladas em áreas que possam vir a constituir riscos e se o treinamento dos ATCO, considerando esse novo ambiente operacional, poderia contribuir na prevenção da colisão de aeronaves não tripuladas e estruturas no solo.

Com relação a medida de atualização das normas e manuais relacionados ao ATS, ao ser questionado se essa medida poderia evitar ou mitigar a possibilidade de colisão dos UAS com estruturas no solo, observa-se que uma parte dos especialistas concordaram totalmente com a primeira assertiva, E3, E6 e E7 atribuindo grau 5.

Os Especialistas E4 e E5 atribuíram pontuação 3 e apresentaram uma posição de neutralidade, indicando que, apesar da importância dessa medida haveria a necessidade de uma gestão mais ampla, partindo da autoridade responsável nacional. A organização deveria apresentar uma circulação específica para os UAV e uma estrutura do espaço aéreo de modo a auxiliar na prestação dos serviços de tráfego aéreo. Essa visão reflete a importância atribuída aos responsáveis pela legislação, cabendo a esse a obrigação de estabelecer uma circulação adequada e regras específicas para acesso ao espaço aéreo que mitiguem o impacto de eventuais ocorrências dessa natureza.

Os especialistas E1 e E2, que deram pontuações mais baixas na primeira assertiva, mantiveram essa visão menos favorável em relação à atualização das normas, por fazerem uma análise mais local e prática da operação. Por experiência na atividade entenderam que não haveria aplicabilidade prática dessa medida devido a limitação normativa e impossibilidade de se concretizar ações de prevenção, por parte dos controladores, quanto ao impacto dos UAV em estruturas fixas.

A análise acima foi bastante aproximada na assertiva seguinte que buscava entender se os recursos de tecnologia seriam importantes para prevenir a colisão dos UAS com estruturas no solo. Os Especialistas E3, E4, E6 e E7 atribuindo grau 5.

O Especialista E5 manteve a pontuação 3 apresentando neutralidade aguardando uma postura normativa que regulasse a atividade e aí sim acompanhada de recursos de tecnologia. Já os Especialistas E1 com discordância total e E2 com discordância parcial justificam que tendo em vista as normas atuais atribuíram a pontuação mais baixa sobre a eficácia da tecnologia nesse contexto, mostrando uma visão mais técnica e operacional cotidiana do assunto.

A mesma correlação foi identificada entre as opiniões sobre a assertiva que analisava se o treinamento dos controladores de tráfego aéreo poderia ajudar a evitar a ocorrência da colisão dos UAS com estruturas no solo. Aqueles que expressaram maior preocupação na primeira assertiva, os Especialistas E3 atribuindo grau 4 e E6 e E7 com pontuação mais alta, grau 5 mantém a coerência da análise inicial sobre o assunto valorizando que o treinamento tem uma importância significativa em todos os aspectos e mais ainda nessa mudança profunda do tema em tela.

O Especialista E4 assumiu uma posição mais neutra em relação a esta medida alegando a necessidade de se especificar o tipo de treinamento, se teórico, prático ou

uma combinação dos dois e a necessidade de as autoridades regulatórias fazerem um ajuste normativo adequado.

Os Especialistas E1, E2 e E5 discordam totalmente e continuam a expressar hesitação em relação a essa medida, mantendo uma visão menos favorável em relação à eficácia do treinamento, uma vez que não haveria ação do ATCO que pudesse evitar a colisão do UAV com estruturas fixas e nem amparo normativo para essa situação, confirmando a visão operacional desse grupo de especialistas.

Por fim, foi solicitado que opinassem em relação à possibilidade de colisão de UAV com estruturas no solo propondo medidas adicionais que poderiam vir a compor um conjunto de recomendações que visando mitigar esse risco e garantir a segurança das operações aéreas. As perspectivas dos especialistas variaram, fornecendo uma visão abrangente sobre como abordar esse desafio.

O Especialista E3 sugere a atualização do banco de dados de obstáculos na Zona de Proteção de Aeródromos (ZPA) nas vizinhanças dos aeródromos, bem como implementação dos Corredores VFR que seriam utilizados pelos UAV. Isso é fundamental para fornecer informações precisas sobre obstáculos que poderiam afetar as operações de UAV e permitir a tomada de decisões seguras.

O Especialista E4 argumenta que, dada a tecnologia embarcada e a concepção operacional dos UAS, seria necessário a implementação de barreiras tecnológicas impedindo a circulação em determinadas áreas e também restrições de circulação por meio de regulamentos específicos ou restrições de horário evitando a necessidade de ação direta dos órgãos prestadores de serviço.

O Especialista E1 sugere a disponibilização do banco de dados dos Objetos e Áreas de Risco para os drones, inseridos na programação dos UAV, juntamente com rotas e portões padronizados adicionando uma medida que facilitaria a navegação segura dos UAV. Esses dados permitiriam que os operadores planejassem suas operações com base em informações confiáveis.

Finalmente o Especialista E5 ressalta que a responsabilidade de evitar colisões com estruturas no solo deve recair sobre os operadores de UAV, devendo ser instituído e disponibilizado pelo órgão prestador de serviço local a autorização de horários de operação, com ênfase na prevenção de conflitos com aeronaves e não com estruturas no solo. Isso destaca a necessidade de os operadores estarem treinados e conscientes de suas responsabilidades.

Em resumo, a possibilidade de colisão de UAV com estruturas no solo é um fator que recebe diferentes níveis de importância, de acordo com a avaliação dos sete especialistas na área. Alguns, com visão de gestão mais macro, em âmbito de organização provedora deram maior importância especialmente no planejamento do ambiente operacional e da estrutura e configuração do espaço aéreo. Outros com visão mais tática e operacional perceberam a impossibilidade de ações efetivas e até mesmo limitações por questões normativas que impediriam ações de separação por parte dos prestadores de serviço locais.

A divergência de opiniões ressalta a importância de uma abordagem cautelosa e da contínua pesquisa e desenvolvimento de regulamentações, planejamento do espaço aéreo e tecnologias para garantir a segurança das operações correntes. As sugestões dos especialistas refletem abordagens variadas para minimizar a possibilidade de colisão de UAV com estruturas no solo e vão desde atualizações de bancos de dados, barreiras tecnológicas e regulamentares, disponibilização de informações para operadores de UAV até uma ênfase na responsabilidade dos operadores. Levar em conta essas sugestões, nos níveis adequados, pode contribuir para um ambiente de operações mais seguro e eficaz.

4.2.3 Descumprimento de legislação de tráfego aéreo

A terceira assertiva, tinha por finalidade verificar a importância atribuída pelos especialistas em relação à possibilidade do descumprimento de legislação de tráfego aéreo por parte dos pilotos de UAV ser um fator significativo e que deve ser considerado durante a prestação do ATS. A Tabela 5, apresenta os resultados das avaliações:

As respostas dos sete especialistas indicam um consenso unânime de que a possibilidade de descumprimento da legislação de tráfego aéreo por parte dos pilotos de UAV é um fator de extrema relevância que deve ser considerado durante a prestação dos serviços de tráfego aéreo. Todos os especialistas atribuíram a pontuação máxima de 5 à essa afirmação, o que demonstra uma concordância total com a relevância desse aspecto.

Tabela 5: Perigo 3 e avaliação dos especialistas

| | | Especialista | | | | | | |
|----------------|--|--------------|----|----|----|----|----|----|
| | | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 |
| Perigo 3 | A possibilidade de descumprimento de legislação de tráfego aéreo por parte dos pilotos de UAV, é um fator importante e que deve ser considerado durante a prestação do ATS | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Mitigadora 3.1 | Atualizar normas e manuais do ATS evita o descumprimento de legislação de tráfego aéreo pelos pilotos de UAV. | 4 | 1 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 |
| Mitigadora 3.2 | Utilizar recursos de tecnologia facilita na prestação do ATS permitindo a identificação antecipada do descumprimento de legislação de tráfego aéreo pelos pilotos de UAV | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 |
| Mitigadora 3.3 | O treinamento dos ATCO ajuda evitar o descumprimento da legislação de tráfego aéreo pelos pilotos de UAV. | 1 | 3 | 4 | 3 | 5 | 4 | 5 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Essa unanimidade na avaliação indica o potencial de risco envolvido na quebra de uma regulamentação, uma vez que as ações de preservação da segurança levam em conta a previsibilidade das ações e as eventuais violações de normas tendem a introduzir novos perigos por serem ações inopinadas, surpreendendo os responsáveis pela segurança das operações correntes. Isso sugere a necessidade de implementação de medidas e regulamentações fortes e apropriadas para mitigar tais riscos e garantir a segurança e conformidade das operações no espaço aéreo compartilhado.

Da mesma forma que nas questões anteriores, em conformidade com a sugestão de ICAO (2018), os especialistas foram solicitados a avaliar sobre a importância da atualização das normas e manuais, recursos de tecnologia que possam ajudar a alertar quanto ao desvio de aeronaves não tripuladas em áreas que possam vir a constituir riscos. Também foram questionados se o treinamento dos ATCO poderia contribuir para identificar a violação de normas e regulamentações que possam causar riscos à segurança do tráfego aéreo.

Com base nas opiniões dos especialistas, a atualização das normas e manuais relacionados ao ATS é vista como uma medida mitigadora eficaz para facilitar o cumprimento da legislação de tráfego aéreo. Os Especialistas E3, E4, E5 e E7

concordaram totalmente que essa medida teria grande impacto se ocorresse durante a prestação dos serviços de tráfego aéreo.

Os Especialistas E1 e E6 discordam parcialmente dessa medida, por considerar que a imprevisibilidade dessa ação não poderia ser abarcada em todos os aspectos da regulamentação, independente se fosse no nível de gestão macro de regulamentação ou no campo operacional.

O Especialista E2, discorda totalmente de dessa afirmação e atribuiu grau 1, por considerar que essa medida, da maneira que foi sugerida, seria aplicada do lado do ATCO, mas a maior eficácia seria aplicá-la aos operadores de UAV com a instituição de severas penalizações em caso de transgressão.

No entanto, verifica-se que a maioria dos especialistas concorda com a importância dessa medida para melhorar o arcabouço normativo e promover a conformidade com a legislação de tráfego aéreo. Isso pode ser útil para orientar esforços futuros no sentido de atualizar e aprimorar as regulamentações e manuais internos visando fortalecer o arcabouço regulatório para a atividade de controle de tráfego aéreo.

Sobre o tema a utilização de recursos de tecnologia, na opinião dos especialistas essa medida mitigadora é altamente eficaz para permitir a identificação antecipada do descumprimento da legislação de tráfego aéreo por parte dos pilotos de UAV. Os Especialistas E1, E3, E4 e E5 concordam totalmente, enquanto os E2, E6 e E7 concordam parcialmente por considerar que a introdução de mais um recurso dentro do ambiente operacional deveria vir acompanhada de ações automáticas que forneceriam sugestões de manobras de separação, sem a intervenção do ATCO.

Dessa forma, a alta concordância entre os especialistas sugere que a tecnologia desempenha um papel fundamental na promoção da conformidade e da segurança no contexto do controle de tráfego aéreo e da operação de drones. Essa medida pode ser muito adequada para tornar os sistemas de prestação dos serviços mais seguros e permitir um eficaz controle do tráfego aéreo.

Em relação ao terceiro aspecto de mitigação, se o treinamento dos Controladores de Tráfego Aéreo (ATCO) teria efetividade para evitar o descumprimento da legislação de tráfego aéreo por parte dos pilotos de UAV, esse tema teve opiniões variadas.

Os Especialistas E4 e E5 concordaram totalmente com essa medida mitigadora atribuindo grau 5 por considerar o treinamento como a base mais importante na cultura

de prevenção, enquanto os Especialistas E3 e E6 concordaram parcialmente e atribuíram uma grau 4 por julgar que o treinamento dos controladores ajudariam e tornariam mais rápida a detecção e resolução de eventual conflito por descumprimento das regras, contudo haveria a necessidade de uma integração melhor entre os dois lados e provavelmente essa medida teria mais eficácia se aplicados aos operadores de UAV, sendo pouco ou quase ineficaz se aplicada somente aos ATCO.

Os Especialistas E2 e E4 ficaram indiferentes a essa medida por considerar obrigação dos pilotos de UAV cumprirem a regulamentação prevista para a atividade, havendo pouca atuação dos controladores nesse aspecto. Já E1 discorda totalmente por considerar que qualquer ação do controlador não poderia evitar que o piloto de UAV descumprisse a legislação aplicável.

Essa variabilidade nas opiniões pode ser útil para entender que o treinamento dos ATCO pode não ser a única solução, e outras medidas mitigadoras são necessárias para evitar eficazmente o descumprimento da legislação de tráfego aéreo por parte dos pilotos de UAV, podendo ser necessárias a combinação de várias estratégias para garantir a conformidade e a segurança no espaço aéreo compartilhado.

Além da análise das medidas mitigadoras, os especialistas sugeriram ações adicionais que poderiam ser implementadas para minimizar a possibilidade de descumprimento da legislação de tráfego aéreo. O Especialista E3 sugeriu que se estabelecessem requisitos de formação e capacitação para operadores de UAV semelhantes aos exigidos para pilotos de aeronaves tripuladas, garantindo um processo de padronização na formação dos pilotos de UAV treinamento e conscientização das regulamentações de tráfego aéreo, promovendo a conformidade e a segurança.

O Especialista E5 sugeriu aplicar punições por infrações de tráfego aéreo implicando na criação de procedimentos e regulamentações específicas para punir as violações cometidas por operadores de UAV. O Especialista E1 sugere a aplicação de regras por meio de recursos eletrônicos que impediriam a violação das normas, evitando a necessidade de ações de separação ou necessidade de punições futuras por parte dos órgãos responsáveis, uma vez que essas são reativas e não evitariam a ocorrência em si, apenas serviriam para conscientização e aprendizado futuro.

Em resumo, com base nas opiniões dos sete especialistas, é evidente que a possibilidade de descumprimento da legislação de tráfego aéreo por parte dos pilotos de UAV é considerada um fator importante e que deve ser integralmente considerado durante a prestação dos serviços de tráfego aéreo, comprovado pela convergência maior das respostas. É importante desenvolver estratégias de regulamentações apropriadas para lidar com essa preocupação visando garantir a segurança e, especialmente, o cumprimento das normas para a utilização do espaço aéreo.

A proposta de impor regras com características lógicas de programação aos UAS, para impedir violações do espaço aéreo ou das rotas ATS é bem recebida, e mais ainda se houver a implementação de sistemas ou dispositivos nos UAV que impeçam a entrada em áreas restritas, proibidas ou a violação das rotas de tráfego aéreo, aliada a medidas como regulamentação e treinamento. Isso poderia garantir o cumprimento das regulamentações de tráfego aéreo pelos operadores de UAV evitando impacto nas operações correntes do controle de tráfego aéreo.

4.2.4 Colisão com pessoas no solo

A assertiva quatro tinha como objetivo analisar as opiniões dos especialistas em relação à possibilidade de colisão de aeronaves não tripuladas com pessoas no solo e a importância dessa questão na prestação do serviço de tráfego aéreo. As opiniões dos especialistas estão retratadas na Tabela 6, apresentada abaixo:

Tabela 6: Perigo 4 e avaliação dos especialistas

| | | Especialista | | | | | | |
|----------------|--|--------------|----|----|----|----|----|----|
| | | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 |
| Perigo 4 | A possibilidade de colisão de UAV com pessoas no solo, é um fator importante e que deve ser considerado durante a prestação do ATS | 1 | 2 | 5 | 2 | 3 | 5 | 5 |
| Mitigadora 4.1 | Atualizar normas e manuais do ATS mitiga a possibilidade de colisão de UAV com pessoas no solo. | 1 | 1 | 4 | 5 | 3 | 5 | 5 |
| Mitigadora 4.2 | Utilizar sistemas eletrônicos de controle no ATS mitiga a ocorrência de colisão de UAV com pessoas no solo. | 4 | 4 | 5 | 5 | 3 | 5 | 5 |
| Mitigadora 4.3 | O treinamento dos ATCO ajuda evitar a ocorrência de colisão de UAV com pessoas no solo. | 1 | 1 | 4 | 2 | 1 | 4 | 5 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Três dos Especialistas E3, E6 e E7 atribuíram a pontuação máxima de 5, indicando uma forte concordância com a importância dessa questão na prestação do ATS. Eles reconhecem que a segurança das pessoas no solo é uma grande preocupação e que deva ser levada em consideração no planejamento e na normatização, especialmente da circulação não só do espaço aéreo, quanto numa eventual possibilidade de se evitar áreas com grande concentração de pessoas. Esta visão tem grande importância no nível gerencial, cabendo o planejamento e a organização sistêmica da circulação dos UAV aos gestores administrativos. Isso reflete a visão dos Especialistas com mais participação no nível estratégico do sistema.

Já os Especialistas E2 e E4 discordam parcialmente da importância atribuída a possibilidade de o UAV colidir com pessoas no solo para a prestação dos serviços uma vez que não haveria possibilidade de atuação do ATC que pudesse evitar esse tipo de ocorrência. Já E5 se posiciona com indiferença por considerar que taticamente não haveria qualquer tipo de ação que o prestador de serviço poderia ter, mas uma combinação de planejamento da circulação e sistemas de controle automatizados poderia combinar de forma eficiente.

O Especialista E1 é totalmente contrário a esta afirmação tendo o posicionamento que não haveria ação do ATCO nem sobre o UAV e nem sobre as pessoas que eventualmente estivessem nas proximidades da ocorrência. De modo geral, esses posicionamentos negativos, de discordância ou neutralidade refletem uma posição mais tática da operação diária, pois consideram a finalidade da prestação do serviço e aplicação das normas e que o ambiente operacional externo já foi estudado e idealizado pelos responsáveis pela implementação do sistema.

Essa variedade de opiniões dos especialistas em relação à possibilidade de colisão de UAV com pessoas no solo e a importância dessa questão na prestação do ATS refletem o ponto de vista das organizações onde o especialista atua, os ligados a gestão são mais favoráveis e os ligados aos aspectos operacionais e locais são mais resistentes. Dessa maneira é muito importante que as autoridades reguladoras e as partes interessadas considerem cuidadosamente as implicações de segurança e adotem medidas apropriadas para mitigar os riscos de colisão entre UAS e pessoas no solo.

Em relação ao objetivo de analisar a opinião dos especialistas frente à medida mitigadora de atualização das normas e manuais relacionados ao serviço de tráfego aéreo com o propósito de minimizar a possibilidade de colisão de UAV com pessoas no solo, as opiniões também variam consideravelmente.

Os Especialistas E4, E6 e E7 atribuíram as pontuações mais altas para a eficácia dessa medida, indicando uma forte concordância com necessidade de se ajustar e atualizar as regulamentações como uma estratégia eficaz para mitigar o risco de colisões de UAV com pessoas no solo, atribuindo grau 5.

O Especialista E3 concorda parcialmente, e atribuiu grau 4 por considerar que no dia a dia os controladores não teriam muitas possibilidades de ação nesse aspecto tendo em vista a natureza da prestação dos serviços. Já os Especialistas E1 e E2 discordam totalmente, grau 1, pois somente a atualização de normas não traria efeito prático para a operação indicando a baixa eficácia das normas internas para mitigar o risco de colisão no dia a dia da operação. O Especialista E5, alegou indiferença, grau 3, por considerar pouco necessário a abordagem desse assunto visto não haver previsão regulamentar nem mesmo para separação de aeronaves tripuladas com pessoas no solo.

As opiniões dos especialistas revelam uma variabilidade significativa em relação à eficácia da atualização das normas e manuais do ATS para mitigar a possibilidade de colisão de UAV com pessoas no solo. Essa variabilidade mostra a complexidade da gestão de riscos associados a esse tema e a necessidade de estudos mais aprofundados de medidas para garantir a segurança das pessoas no solo durante a operação de aeronaves não tripuladas.

Os Especialistas foram solicitados a opinar em relação à medida mitigadora que envolve a utilização de sistemas eletrônicos adequados para o controle da atividade dos UAV como uma estratégia para mitigar a ocorrência de colisões de UAS com pessoas no solo.

As opiniões dos especialistas são positivas de modo geral, com concordância total dos Especialistas E3, E4, E6 e E7 achando de grande eficiência o emprego dessa tecnologia. O posicionamento de concordância parcial dos Especialistas E1 e E2, atribuindo grau 4, indicam uma visão positiva com a eficácia na prevenção de colisões de UAV com pessoas no solo e reconhecem a importância de mecanismos de apoio eletrônico à operação dos controladores pela antecipação de detecção de desvios, porém ressaltam a necessidade de que essa intervenção seja automática, sem a

necessidade de ação dos ATCO. O Especialista E5 atribuiu uma pontuação intermediária de 3, indicando uma indiferença no posicionamento por considerar que taticamente não haveria forma de ações diretas do prestador de serviço que pudesse garantir a segurança das pessoas no solo.

Com relação a opinião dos especialistas sobre a medida mitigadora que envolvendo o treinamento dos controladores de tráfego aéreo como uma estratégia para evitar a ocorrência de colisões de aeronaves não tripuladas com pessoas no solo, as opiniões foram variadas e tendem a refletir uma baixa efetividade na aplicação desse procedimento, comprovado pela opinião dos Especialistas E1, E2 e E5, que apresentaram discordância total da efetividade dessa medida por visualizar falta de efetividade no procedimento.

O Especialista E4 apresentou discordância parcial por considerar que o treinamento dos controladores de tráfego aéreo teria muitas limitações na prevenção de colisões com UAV com pessoas no solo não havendo ações práticas para incrementar a segurança nesse aspecto. Mesmo os Especialistas E3 e E6 que concordaram parcialmente com essa medida, atribuindo grau 4 de importância apresentaram considerações de que não haveria muitos mecanismos que permitissem ações imediatas ou efetivas para prevenir esse tipo de ocorrência, cabendo ao gestor sistêmico planejar e desenvolver mecanismos que se ajustem a essa necessidade específica e tenham atuação automática sobre os UAV.

Por considerar isso uma questão essencial e que será totalmente resolvida e implementada no planejamento global do sistema, o Especialista E6 concordou totalmente com essa premissa e atribuiu grau 5, refletindo seu posicionamento de gestão sistêmica e confirmando a origem na área de psicologia e fator humano.

Além das medidas mitigadoras discutidas anteriormente, os especialistas sugeriram algumas ações adicionais que poderiam ser implementadas para minimizar a possibilidade de colisões entre aeronaves não tripuladas e pessoas no solo.

De maneira geral essas sugestões caminharam no sentido de se estabelecer requisitos de vigilância, como o Sistema de Vigilância Dependente Automática por Radiodifusão (ADS-B) e a Multilateração que é um apoio ao sistema de vigilância baseado em grande número de antenas, para garantir que os UAV sigam trajetórias predefinidas durante os deslocamentos. Esses sistemas de vigilância podem contribuir para a monitorização e a prevenção de colisões com pessoas no solo, confinando a circulação a uma trajetória planejada previamente.

O Especialista E3 citou a necessidade de se fazer a atualização das cartas para fornecer informações precisas sobre procedimentos de tráfego aéreo, rotas de deslocamento e obstáculos nas áreas de movimento dos aeródromos garantindo que os operadores de UAV tenham acesso às informações mais recentes e relevantes ao planejar suas operações.

O Especialista E5 observou que, assim como em questões relacionadas a estruturas no solo, o serviço de tráfego aéreo pode ter pouca amplitude de ações diretas que evitem as colisões entre UAV e pessoas no solo. Nesse caso, a responsabilidade recai principalmente sobre os operadores, que devem tomar as medidas necessárias para evitar colisões. Além disso, um correto gerenciamento do espaço aéreo pode ser fundamental para evitar situações de risco.

Em suma, essas ações adicionais sugeridas pelos especialistas refletem a complexidade das questões de segurança envolvendo UAV e pessoas no solo, enfatizando a importância da colaboração entre diferentes partes interessadas, incluindo reguladores, operadores de UAV e de serviços de tráfego aéreo, para garantir a segurança no espaço aéreo compartilhado. A diversidade de opiniões sobre se a possibilidade de colisão de UAV com pessoas no solo, é um fator importante e que deve ser considerado mais no planejamento que durante a prestação do ATS destacando a necessidade de abordar a segurança no uso de UAV de forma abrangente.

4.2.5 Erros de operação do piloto

A assertiva cinco tinha como objetivo analisar as opiniões dos especialistas em relação à possibilidade de erros de operação do piloto de UAV terem impacto na prestação dos serviços de tráfego aéreo. As opiniões dos especialistas estão retratadas na Tabela 7:

As opiniões dos especialistas em relação à possibilidade de erros de operação do piloto de UAV e sua importância na prestação do ATS mostram que a maioria dos especialistas foram altamente convergentes atribuindo a pontuação máxima de 5, indicando uma concordância total com a importância dessa questão na prestação do ATS. Reconhece que erros de operação do piloto de UAV podem representar uma ameaça significativa à segurança das operações aéreas e requerem atenção rigorosa,

minimizando a possibilidade de comprometer a segurança das outras aeronaves tripuladas envolvidas nas operações aéreas.

Tabela 7: Perigo 5 e avaliação dos especialistas

| | | Especialista | | | | | | |
|----------------|--|--------------|----|----|----|----|----|----|
| | | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 |
| Perigo 5 | A possibilidade de erros de operação do piloto de UAV, é um fator importante e que deve ser considerado durante a prestação do ATS | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| Mitigadora 5.1 | Atualizar normas e manuais do ATS mitiga a possibilidade de erros de operação do piloto de UAV. | 4 | 2 | 5 | 4 | 1 | 5 | 5 |
| Mitigadora 5.2 | Utilizar sistemas eletrônicos no ATS mitiga a ocorrência de erros de operação do piloto de UAV. | 5 | 5 | 5 | 5 | 3 | 5 | 5 |
| Mitigadora 5.3 | O treinamento dos ATCO ajuda evitar a ocorrência de erros de operação do piloto de UAV. | 4 | 1 | 5 | 2 | 1 | 4 | 5 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Somente o Especialista E4 atribuiu concordância parcial com essa afirmação por considerar que a legislação deve ser cumprida e os profissionais que estão envolvidos com essa atividade devem seguir rigorosamente o que está previsto na legislação, mas concorda com o impacto que uma violação teria como fator comprometedor da segurança dos serviços prestados pelo controle de tráfego aéreo.

Essas opiniões, majoritariamente de concordância, destacam a necessidade de estabelecer protocolos e medidas de segurança robustas para mitigar o risco de erros de operação do piloto de UAV e requerem uma atenção especial, uma forte cooperação entre reguladores, operadores de UAV e o ATS visando minimizar a possibilidade de ocorrências e garantir a segurança no espaço aéreo.

Ao ser apresentado como medida mitigadora a atualização das normas e manuais relacionados ao serviço de tráfego aéreo como uma estratégia para reduzir a possibilidade de erros de operação do piloto de aeronaves não tripuladas, as opiniões dos especialistas apresentaram variações. Os Especialistas E3, E6 e E7 concordam totalmente com a importância dessa afirmação por acreditarem que a normatização em geral é fundamental para esse tipo de atividade.

Os Especialistas E1 e E4 concordam parcialmente e acreditam que uma normatização do ATC apoia a operação, mas existe a necessidade de se implementar mecanismos que apoiem a detecção precária e ajudem na tomada de decisão visando evitar as consequências desse tipo de violação. O Especialista E2 discorda parcialmente por considerar que a atualização de normas internas do controle de tráfego aéreo não teria impacto para evitar erros de operação do piloto dos pilotos, mas é importante se estabelecer procedimentos que possam minimizar as consequências desses problemas para a atividade.

Somente o Especialista E5 atribuiu a pontuação mais baixa, discordando totalmente por entender que nada que se acrescente nas normas e manuais dos prestadores de serviço de tráfego aéreo teria influência no evento em tela e seria de pouca relevância, pois a causa da ocorrência seria provocada do lado dos pilotos de UAV e somente a atualização das normas e manuais do ATS teriam pouca eficácia como medida mitigadora.

Em relação à utilização de sistemas eletrônicos de controle do tráfego para mitigar erros de operação do piloto de UAV, as opiniões dos Especialistas são bastante positivas, sendo que os Especialistas E1, E2, E3, E4, E6 e E7 concordam totalmente com essa afirmação. Acreditam que essa medida pode ser altamente eficaz na promoção da segurança por permitir a detecção precoce de eventual invasão do espaço aéreo com a possibilidade de se limitar a proximidade ou proporcionar a emissão de alerta aos tráfegos controlados.

Sendo coerente com a análise anterior, o Especialista E5 acha importante a implementação desses recursos, contudo considera que não haveria muito impacto para reduzir a possibilidade de erros dos pilotos, mas acrescentaria em segurança na previsão e mitigação das consequências para as demais aeronaves envolvidas.

Sobre a eficácia do treinamento dos ATCO na prevenção de erros de operação do piloto de UAV, as opiniões foram bem divididas. Os Especialistas E3 e E7 concordam totalmente com essa afirmação e atribuíram a pontuação mais alta, ressaltando a importância dessa medida para a prestação dos serviços de modo global.

Os Especialistas E1 e E6 concordam parcialmente e atribuíram grau 4. Eles acreditam que o treinamento adequado dos controladores de tráfego aéreo pode contribuir para evitar as consequências e assim mitigar a possibilidade de eventos severos devido à eventuais erros de operação do piloto de UAV, uma vez que a

agilidade no processo de identificação e ação de correção da ocorrência ajudaria a manter a segurança das operações aéreas.

Os Especialistas E4 discorda parcialmente, atribuindo grau 2, considerando que o treinamento dos controladores de tráfego aéreo como apenas uma parte desse esforço, já que o foco de atuação deveria ser ações sobre os operadores de UAV. Os Especialistas E2 e E5 discordam totalmente e consideram que nenhum treinamento dado aos prestadores de serviço de controle de tráfego aéreo irá minimizar a possibilidade de erros por parte dos pilotos de UAV.

Além das medidas mitigadoras previamente discutidas, os especialistas propuseram ações adicionais para reduzir a possibilidade de que os erros de operação dos pilotos de UAV possam afetar a prestação do ATS. Essas ações incluem a sugestão de que os operadores de UAV passem por formação, capacitação e treinamento regular, seguindo critérios semelhantes aos exigidos para pilotos de aeronaves tripuladas, garantindo o nivelamento dos conhecimentos e das habilidades necessárias para operar com segurança, minimizando erros de operação.

Foi sugerido também a implementação de um processo conscientização por parte dos operadores sobre a importância de adequação às normas de segurança operacional de maneira que os operadores de UAV estejam plenamente cientes das regulamentações e cumpram as normas de operação para evitar erros que possam afetar o ATS.

Em suma, aliado às medidas de mitigação sugeridas em ICAO (2018), a necessidade de formação, capacitação, conscientização e cumprimento de normas por parte dos operadores de UAV para prevenir erros de operação poderiam impactar a segurança do espaço aéreo compartilhado. A combinação de todo esse conjunto de ações mitigadoras é fundamental para reduzir o impacto no ATS de eventos relacionados aos erros de operação do piloto de UAV.

4.2.6 Falhas no sistema UAS

A assertiva seis tinha como objetivo analisar se a possibilidade de falhas no sistema UAV seria, na opinião dos especialistas, um fator importante e que deveria ser considerado durante a prestação do ATS. As opiniões dos especialistas estão retratadas na Tabela 8, apresentada abaixo:

Tabela 8: Perigo 6 e avaliação dos especialistas

| | | Especialista | | | | | | |
|----------------|---|--------------|----|----|----|----|----|----|
| | | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 |
| Perigo 6 | A possibilidade falhas no sistema UAV, é um fator importante e que deve ser considerado durante a prestação do ATS | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Mitigadora 6.1 | Atualizar normas e manuais do ATS mitiga interferências na prestação do ATS devido à possibilidade de falhas no UAS. | 4 | 2 | 5 | 4 | 1 | 5 | 5 |
| Mitigadora 6.2 | Utilizar sistemas eletrônicos ajuda a mitigar interferências na prestação do ATS devido à possibilidade de falhas no UAS. | 5 | 5 | 5 | 5 | 3 | 4 | 5 |
| Mitigadora 6.3 | O treinamento dos ATCO ajuda mitigar interferências na prestação do ATS devido à possibilidade de falhas no UAS. | 5 | 3 | 5 | 5 | 1 | 3 | 5 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Todos os sete especialistas concordam plenamente que a possibilidade de falhas no sistema UAV é um fator crítico e de extrema importância na prestação do ATS. Eles atribuíram uma pontuação máxima, indicando uma unanimidade sobre a relevância deste fator para a segurança operacional e continuidade na prestação dos serviços. Isso destaca a necessidade de analisar de forma mais atenta e rigorosa as questões de confiabilidade dos UAS no contexto das operações no espaço aéreo onde exista a possibilidade de convivência e impacto com aeronaves tripuladas, garantindo a segurança e a eficiência do serviço de tráfego aéreo.

A avaliação dos especialistas revela uma diversidade de opiniões em relação à atualização das normas e manuais do ATS para minimizar a possibilidade de interferências no serviço decorrentes de falhas no sistema UAS. Os Especialistas E3, E6 e E7 concordam totalmente com a eficácia dessa medida, e atribuíram grau 5 de importância, por considerar que sistemicamente, na preparação e normatização do ambiente operacional, é preciso se preocupar com este fator. Os Especialistas E1 e E4 concordam parcialmente, mas acham que deva existir procedimentos previstos para essa situação e que isso deva constar dos manuais e normatização interna regulando as ações previstas no caso de ocorrerem.

O Especialistas E2 discorda parcialmente da eficiência dessa medida mitigadora por considerar que essa deficiência seria nos sistemas dos operadores de UAS e que estes deveriam ter mecanismos que impedissem qualquer tipo de falha e

automaticamente alertassem os controladores de eventual falha existente. Já o Especialista E5 discorda totalmente da eficácia dessa medida mitigadora por considerar que somente ações e normatizações do ponto de vista dos prestadores de serviço de tráfego aéreo teriam baixa eficácia na preservação da segurança operacional e mecanismos adicionais de alerta e detecção devam ser implementados visando apoiar as operações correntes.

Essas opiniões divergentes destacam a complexidade do desafio em equilibrar a regulação e a inovação no setor de UAV, especialmente por considerar que, do ponto de vista dos controladores, essa modificação se encontra fora do espectro de ação do órgão local de controle, cabendo mais aos gestores sistêmicos o planejamento para que essas ações tragam algum resultado. Portanto, uma abordagem específica deve ser estudada ao considerar a revisão das normas e manuais do ATS para minimizar eventuais interferências devido a falhas no sistema UAS.

A avaliação dos especialistas E1, E2, E3, E4 e E7 atribuíram grau 5 de importância a utilização de mecanismos eletrônicos para redução na interferência na prestação do ATS, concordando totalmente com a eficiência de sua implementação, revelando um consenso a favor da utilização de sistemas para identificar e mitigar interferências devido a falhas no sistema UAS, garantindo a manutenção da segurança e eficiência das operações.

O Especialista E6 apresentou concordância parcial, por acreditar na importância dos sistemas eletrônicos de apoio, mas fazendo considerações devido aos fatores humanos consequentes da interação homem máquina. Para o Especialista E5, a indiferença se justifica por considerar que os mecanismos atuais poderiam suprir essa deficiência com pequenos ajustes para a nova realidade.

Com base nas avaliações dos especialistas, é evidente que a utilização de sistemas eletrônicos de controle é amplamente apoiada como uma medida eficaz para identificar e mitigar interferências que podem surgir devido a falhas no sistema UAV no contexto do ATS. Os equipamentos eletrônicos desempenham um papel fundamental na manutenção da integridade da segurança do espaço aéreo por permitir a detecção e controle total de todos os usuários do sistema e são uma ferramenta para garantir que as interferências devido a falhas no sistema UAS sejam identificadas e mitigadas de maneira eficaz, contribuindo para a segurança e regularidade das operações.

Quanto a análise das opiniões dos Especialistas sobre o treinamento dos ATCO na identificação e mitigação de interferências devido a falhas no UAS na prestação do ATS, os Especialistas E1, E3, E4 e E7 atribuíram pontuação máxima de 5, concordando totalmente com essa medida mitigadora demonstrando que o treinamento dos ATCO pode melhorar e agilizar a identificação da ocorrência, reduzindo o potencial de interferências provocadas por falhas no UAS melhorando a segurança e eficiência.

Os Especialistas E2 e E6 atribuíram pontuações de 3, indicando uma posição neutra ou ambígua em relação ao treinamento dos ATCO, consideram que esse treinamento é parte necessária da preparação para esse novo ambiente, mas deveria se concentrar no aspecto de detecção e resposta ao acontecimento melhorando a consciência situacional e operacional, mas com pouca possibilidade de impedir a ocorrência desse fato.

O Especialista E5 atribuiu uma pontuação baixa, grau 1, expressando uma opinião totalmente desfavorável em relação ao treinamento dos ATCO para a identificação e mitigação de interferências por falhas no UAS por considerar que de maneira nenhuma o controlador teria como impedir que esse fato isolado acontecesse e que outros mecanismos deveriam ser implementados nos UAS visando impedir que as eventuais falhas comprometessem as operações.

É importante notar que a formação e a capacitação adequada dos controladores de tráfego aéreo são componentes fundamentais da segurança operacional e a crescente integração de UAV no espaço aéreo civil torna o treinamento dos ATCO uma importante defesa. Portanto, mesmo com algumas opiniões divergentes, a conclusão geral é que o treinamento e a capacitação dos ATCO têm potencial de identificar e mitigar interferências que falhas no sistema UAS possam ocasionar comprometendo a segurança.

Ressalta-se a importância de que os reguladores continuem a desenvolver programas de treinamento apropriados e atualizados para os ATCO, a fim de garantir a segurança das operações, conforme sugestão acrescentada pelo Especialista E3, e que sejam acrescentados requisitos de Comunicação, Navegação e Vigilância (CNS) para a operação e aeronavegabilidade semelhantes aos estabelecidos para aeronaves tripuladas atualmente.

4.2.7 Colisão com aeronaves não tripuladas

A assertiva sete procurou verificar se a possibilidade de colisão do UAV com outras aeronaves não tripuladas, seria um fator importante e que deveria ser considerado durante a prestação dos serviços de tráfego aéreo. As opiniões dos especialistas estão retratadas na Tabela 9, apresentada abaixo

Tabela 9: Perigo 7 e avaliação dos especialistas

| | | Especialista | | | | | | |
|----------------|---|--------------|----|----|----|----|----|----|
| | | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 |
| Perigo 7 | A possibilidade de colisão do UAV com aeronaves não tripuladas, é um fator importante e que deve ser considerado durante a prestação do ATS | 4 | 1 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Mitigadora 7.1 | Atualizar normas e manuais do ATS mitiga possíveis colisões do UAV com aeronaves não tripuladas. | 2 | 1 | 5 | 4 | 1 | 5 | 5 |
| Mitigadora 7.2 | Utilizar sistemas eletrônicos de controle dos UAS mitiga possíveis colisões do UAS com aeronaves não tripuladas. | 5 | 2 | 5 | 5 | 3 | 5 | 5 |
| Mitigadora 7.3 | O treinamento dos ATCO ajuda mitigar possíveis colisões do UAV com aeronaves não tripuladas. | 4 | 1 | 4 | 4 | 1 | 4 | 5 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise das pontuações dos especialistas revela uma tendência de que a possibilidade de colisão entre UAV com outras aeronaves não tripuladas é considerada um fator relevante durante a prestação do ATS. A maioria dos especialistas, E3, E4, E5, E6 e E7 atribuiu a pontuação máxima, indicando uma percepção elevada da importância desse aspecto e apresentando concordância total com este quesito.

O Especialista E1 concorda parcialmente alegando que isso somente seria importante se viesse a ocorrer em local que pudesse impactar as operações aéreas das aeronaves tripuladas trazendo consequências para o controle de tráfego aéreo por um aumento da carga de trabalho. A atribuição de pontuação mais baixas por parte do Especialista E2 mostra a existência de opiniões divergentes. O especialista discorda totalmente por considerar que nenhum dos dois UAV estaria sobre a

responsabilidade do controle de tráfego aéreo e não seria possível qualquer ação de prevenção que pudesse evitar a ocorrência desse fato.

Em resumo, apesar da maior concordância dos especialistas de que a possibilidade de colisão entre aeronaves não tripuladas pode impactar no ATS, existem motivos que levam a uma análise divergente e que devem ser considerados na análise do problema.

Em relação a opinião de especialistas se a atualização das normas e manuais relacionados aos serviços de tráfego aéreo poderiam trazer contribuição para a identificação e mitigação de possíveis colisões entre aeronaves não tripuladas e outras aeronaves não tripuladas, a análise dos especialistas revela uma variação significativa de opiniões.

Os Especialistas E3, E6 e E7, por terem uma visão mais sistêmica, concordam totalmente com essa afirmação, atribuíram nota 5, e acreditam que as ações de prevenção devam ser estudadas no planejamento pelos gestores do sistema. O Especialista E4 concorda parcialmente, atribuiu grau 4, e acha que a normatização interna é importante, mas que nesse caso deveria estabelecer apenas um conjunto de ações para que isso não viesse a impactar nas operações correntes.

O Especialista E1 discorda parcialmente dessa premissa por considerar que a colisão de duas aeronaves não tripuladas teria pequena possibilidade de impactar nos serviços de tráfego aéreo, mas que deveria haver alguma previsão normativa interna, caso fossem identificada uma ocorrência dessa natureza e que pudesse atrapalhar o bom andamento dos serviços. Já os Especialistas E2 e E5 discordam totalmente dessa afirmativa e atribuíram grau 1, considerando que nenhuma dos UAV estaria sob responsabilidade do órgão de controle não havendo amparo normativo que pudesse minimizar a possibilidade desse evento ocorrer.

Embora haja divergências nas opiniões sobre a importância da atualização das normas como medida mitigadora, a condução de discussões adicionais para compreender as razões por trás dessas divergências pode permitir a identificação de pontos de consenso e o desenvolvimento de estratégias mais eficazes para minimizar o eventual impacto da possibilidade desse tipo de ocorrência no cotidiano das operações ATS.

Com o propósito de examinar a opinião dos especialistas em relação à utilização de sistemas eletrônicos de apoio ao controle de tráfego aéreo para identificar e mitigar potenciais colisões entre UAV e outras aeronaves não tripuladas,

observamos que os Especialistas E1, E3, E4, E6 e E7 convergem em suas opiniões, expressando concordância total com a utilização desses sistemas atribuindo grau 5. Eles destacam a eficácia dessa abordagem desde que automatizada na identificação e prevenção de possíveis incidentes, minimizando os impactos na prestação dos serviços de tráfego aéreo.

O Especialista E5 apresentou uma posição de neutralidade por entender que essa responsabilidade estaria mais ligada aos operadores de UAS e não deveria haver interferência dos órgãos prestadores de serviços. O Especialista E2 discorda parcialmente por considerar que, embora os sistemas eletrônicos de controle possam ser úteis, sua eficácia pode e deve ser limitada a certas condições que poderiam impactar nas ações correntes.

Com relação à perspectiva dos especialistas sobre a contribuição do treinamento dos Controladores de Tráfego Aéreo na identificação e mitigação de potenciais colisões entre UAS e aeronaves não tripuladas. O Especialista E7 concorda totalmente com a importância do treinamento e atribuiu grau 5, numa visão favorável, de que o treinamento dos ATCO é uma medida excelente para prevenir colisões e garantir a segurança aérea.

Os Especialistas E1, E3, E4 e E6 concordam parcialmente e expressam uma visão positiva, indicando que o treinamento dos ATCO pode ser eficaz na identificação e mitigação de colisões, porém consideram que a ação nessa ocorrência seria com propósito somente de aliviar as consequências desse evento se viesse a impactar no serviço prestado. Já os especialistas E2 e E5 discordam totalmente dessa afirmativa atribuindo grau 1 e ressaltam a impossibilidade do controlador de tráfego aéreo de atuar nesse tipo de ocorrência por não haver previsão normativa e nem contato ou ação que possa ser tomada para evitar o evento.

A análise das opiniões dos especialistas revela uma maioria apoiando a importância do treinamento para identificação e mitigação de colisões entre UAS e aeronaves não tripuladas, mas apenas para minimizar as consequências em caso de impacto nas atividades.

4.2.8 Interferência nas comunicações

Com o objetivo analisar a perspectiva dos especialistas em relação à importância dada a possibilidade de interferência nas comunicações pelos UAS

durante a prestação do ATS. As opiniões dos especialistas estão apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10: Perigo 8 e avaliação dos especialistas

| | | Especialista | | | | | | |
|----------------|---|--------------|----|----|----|----|----|----|
| | | E1 | E2 | E3 | E4 | E5 | E6 | E7 |
| Perigo 8 | A possibilidade de interferência nas comunicações pelos UAS é um fator importante e que deve ser considerado durante a prestação do ATS | 5 | 3 | 5 | 4 | 3 | 5 | 5 |
| Mitigadora 8.1 | Recursos de tecnologia previnem a interferência nas comunicações do ATS pelos UAS. | 5 | 5 | 5 | 4 | 3 | 5 | 5 |
| Mitigadora 8.2 | O treinamento dos ATCO ajuda na identificação e prevenção da interferência nas comunicações pelos UAS | 4 | 3 | 5 | 4 | 3 | 4 | 4 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os Especialistas E1, E3, E6 e E7 concordam totalmente com essa afirmação, atribuíram grau 5, considerando que existe uma importância no fato haver interferência nas comunicações durante a prestação do ATS podendo comprometer a integridade e eficácia do serviço.

O Especialista E4 concorda parcialmente com essa afirmativa, e atribuiu grau 4 por considerar que existem procedimentos previstos para essa situação, incluindo redundâncias nas comunicações, mas destaca que não se pode descartar essa possibilidade.

Os Especialistas E2 e E5 expressam uma posição neutra indicando que a possibilidade de interferência nas comunicações é um fator a ser considerado, embora talvez não seja tão importante quanto para outros especialistas.

A maioria dos especialistas reconhece a preocupação que interferências nas comunicações possam comprometer a segurança do serviço, no entanto, é observada uma variação nas opiniões dos Especialistas E5 e E2, sugerindo o estabelecimento de prioridades na formulação de diretrizes e práticas relacionadas esse problema.

Visando colher as opiniões dos especialistas em relação à utilização de recursos tecnológicos para evitar que as operações UAS possam interferir na prestação do Serviço de Tráfego Aéreo, os Especialistas E1, E2, E3, E6 e E7 concordam totalmente com essa afirmação e atribuíram nota 5, enfatizando que a utilização de recursos tecnológicos podem evitar a interrupção das operações e

minimizar a possibilidade de comprometer a segurança por meio da perda de comunicações, que são essenciais na prestação dos serviços.

O Especialista E4 concorda parcialmente, atribuiu nota 4, por considerar que os recursos tecnológicos são valiosos, mas necessitam de um estudo para uma interação homem máquina visando ajustes que sejam adequados a este propósito específico, uma vez que podem causar tantos alertas e entradas que possam comprometer as atividades.

O Especialista E5 apresenta uma visão indiferente, sugerindo que os recursos tecnológicos são benéficos, mas sua importância pode não ser tão alta quanto para outros especialistas destacando a necessidade de estudo de impacto global na introdução de uma nova tecnologia em um ambiente operacional extremamente complexo.

A análise das opiniões dos especialistas revela um consenso de forma positiva, com a maioria destacando a importância da utilização de recursos tecnológicos para facilitar a prestação do ATS e prevenir interferências nas comunicações. No geral é vista como uma estratégia eficaz para garantir a segurança no ATS.

Sobre o assunto contribuição do treinamento dos controladores de tráfego aéreo com objetivo de identificar e fazer a prevenção da interferência das operações de UAV nas comunicações, o Especialista E3 concorda totalmente e atribuiu grau de importância 5 a essa afirmação, considerando que o treinamento aceleraria a identificação de uma condição perigosa e poderia tornar mais ágil uma possibilidade de resposta visando a utilização de eventuais planos de emergência.

Ainda numa visão positiva dessa condição, os Especialistas E1, E4 E6 e E7 concorda parcialmente reconhecendo a importância do treinamento dos ATCO na identificação e prevenção da interferência nas comunicações, atribuindo pontuação de grau 4, mas somente no sentido de acelerar a identificação para emprego de recursos que possam suprir a deficiência constatada o mais rápido possível. Para os Especialistas E2 e E5, que apresentam postura indiferente, o treinamento dos ATCO pode ser útil, mas talvez não seria a solução para evitar a interferência nas comunicações que aconteceria independente de ações do ATCO.

A análise das opiniões dos especialistas revela uma tendência geral de reconhecimento da importância do treinamento dos controladores de tráfego aéreo na identificação e prevenção da interferência nas comunicações, mas reforça que

somente combinando treinamento, tecnologia e outras medidas poderia garantir a eficácia das medidas adotadas.

Também foi apresentado aos especialistas uma questão aberta visando a identificação de eventuais perigos que não tenham sido abordados pela literatura e que em suas opiniões, deveriam ser considerados nos estudos para garantir que a integração do Sistema de Gerenciamento de Tráfego Não Tripulado (UTM) no Sistema de Tráfego Aéreo (ATM) ocorra sem comprometer os níveis aceitáveis de segurança operacional.

O Especialista E1, destaca a preocupação com a importação e venda indiscriminada de pequenos veículos aéreos remotamente pilotados para atividades de lazer, especialmente quando não há um sistema adequado de cadastro e identificação, reduzindo a possibilidade de bloqueios eletrônicos ou identificação precoce dos voos desses equipamentos, impedindo ações de prevenção. E3 destaca a preocupação com a falta ou falha na regulação por parte das Agências Reguladoras, que podem resultar em aeronaves e operadores despreparados não atendendo aos requisitos de segurança necessários.

O Especialista E4 ressalta a necessidade de atuação forte dos órgãos responsáveis pelo gerenciamento do espaço aéreo com o estabelecimento antecipado de normas claras com ampla divulgação nas comunidades que fazem uso de aeronaves não tripuladas para que ocorra a integração bem-sucedida do UTM no ATM. O Especialista E5 destaca a preocupação com a garantia de conformidade dos pilotos de UAV com as regras estabelecidas e a necessidade de que possuam habilidades reais para operar os UAV.

O Especialista E6 identifica a dificuldade potencial que o sistema de tráfego aéreo os controladores de tráfego aéreo podem enfrentar ao tentar monitorar eficazmente o uso do espaço aéreo pelos UAV. O Especialista E7 também reforça a preocupação com a garantia de conformidade dos pilotos de UAV às regras e com a necessidade de possuírem habilidades efetivas para operar essas aeronaves.

Por último foi solicitado que os Especialistas, de maneira genérica, sugerissem medidas mitigadoras para os riscos apontados acima. Para o Especialista E1, uma atuação conjunta com as autoridades reguladoras e fiscalizadoras bem como o envolvimento do poder legislativo, podem fortalecer a regulamentação e fiscalização, garantindo um controle da importação e venda indiscriminada de pequenos RPA.

Para o Especialista E2, as propostas anteriores são abrangentes e eficazes, uma vez que elas já contemplam medidas normativas, tecnológicas e de treinamento, proporcionando uma abordagem ampla e eficiente. Já o Especialista E4, destaca a importância da intervenção da agência reguladora na atualização ou criação de requisitos para os operadores, propondo uma intervenção ativa para estabelecer e atualizar requisitos que combinados com uma fiscalização rigorosa, especialmente durante os primeiros anos de operação, podem garantir a conformidade e segurança requerida.

O Especialista E5 enfatiza a importância de estabelecer limites claros e regras simples para a operação de UAV, garantindo uma separação de espaços aéreos restritos ou congestionados, minimizando riscos de interferência. O Especialista E6 e E7 destacam a importância de uma regulamentação eficaz, divulgada de forma clara, além do uso da tecnologia para monitorar e coibir abusos no uso de UAV, promovendo a conformidade.

Em suma, de maneira geral as medidas mitigadoras propostas pelos especialistas abordam uma variedade de aspectos, desde regulamentação e fiscalização até tecnologia e treinamento, a atuação conjunta com autoridades reguladoras, o estabelecimento de requisitos de segurança específicos, a fiscalização rigorosa, a clareza nas regras e a utilização eficaz dos recursos disponíveis.

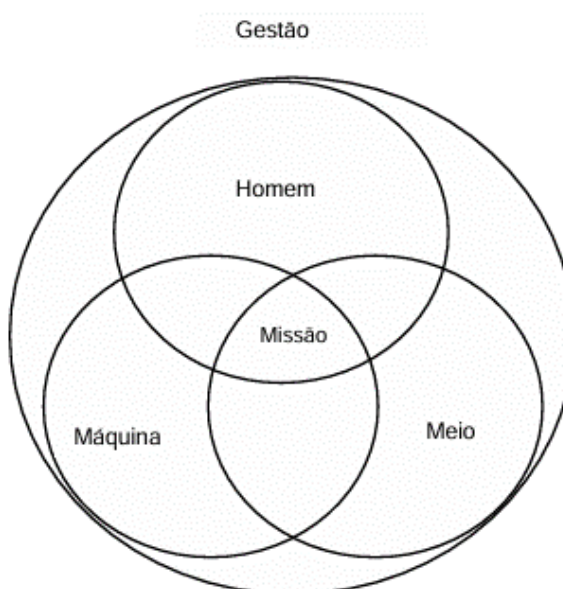
Manifestaram também preocupações relacionadas ao momento da transição, uma vez que os sistemas que atualmente está em operação serão acrescidos de novas funcionalidades, haverá um momento em que o antigo será descontinuado e o novo sistema entrará em operação. Algumas ações são irreversíveis tendo em vista a amplitude da mudança, a antecedência necessária de comunicação e adaptação, não só dos prestadores de serviços, como também dos usuários que estão utilizando o sistema e em voos de longa duração.

Esse aspecto determina um planejamento e tratamento do momento da transição, que pode ser considerado um novo perigo e que deve ser tratado e planejado como parte das ações necessárias para a mudança. Essas propostas em conjunto proporcionarão uma base abrangente para uma prestação de serviços que permitirá a manutenção dos níveis aceitáveis de segurança operacional no momento da transição e após a implementação da mudança.

4.3 PROPOSIÇÃO DO FRAMEWORK

O Modelo de 5 Fatores, elaborado por Wells e Rodrigues (2003), apresenta a investigação de acidentes ou incidentes de tráfego aéreo dividida em três fatores principais: humano, material e operacional (Figura 7). O Fator Humano compreende o controlador de tráfego aéreo, incluindo aspectos fisiológicos e psicológicos. Isso envolve a análise do comportamento, treinamento, fadiga, estresse e tomada de decisões durante as operações de controle de tráfego aéreo. O Fator Material se refere aos componentes físicos dos sistemas de controle de tráfego aéreo, como radares, rádios, computadores e outros equipamentos ou sistemas de suporte à operação. O Fator Operacional envolve procedimentos, regulamentos, comunicação e coordenação entre a tripulação das aeronaves e os órgãos de controle ou entre posições operacionais do mesmo órgão ou com órgãos adjacentes.

Figura 7 – Modelo de 5 Fatores.



Fonte: Wells e Rodrigues (2003).

Ainda conforme Speijker, Lee, Van De Leijgraaf (2011), os acidentes aéreos tendem a resultar de uma combinação de muitos diferentes fatores causais que podem variar em diversas áreas como erros humanos, falhas técnicas, influências ambientais e fatores relacionados a gestão, cujas causas e consequências diferem de acordo com a fase do voo em que ocorrem.

Esses fatores interagem de maneira complexa e contribuem para as ocorrências. A análise desses elementos ajuda a melhorar a segurança na aviação e a eficácia do controle de tráfego aéreo. A integração bem-sucedida do UTM no ATM é um grande desafio que requer uma abordagem especializada e multidisciplinar.

Com objetivo de criar um método de análise e avaliação do risco dessa mudança no controle e tráfego aéreo e considerando as diversificadas opiniões dos especialistas consultados, conforme subseção 4.2, foi elaborada a proposta de um framework visando orientar e facilitar esse complicado processo. Isto representa um passo na direção de uma implementação de mudança transparente, segura e organizada por meio de uma gestão de riscos eficiente.

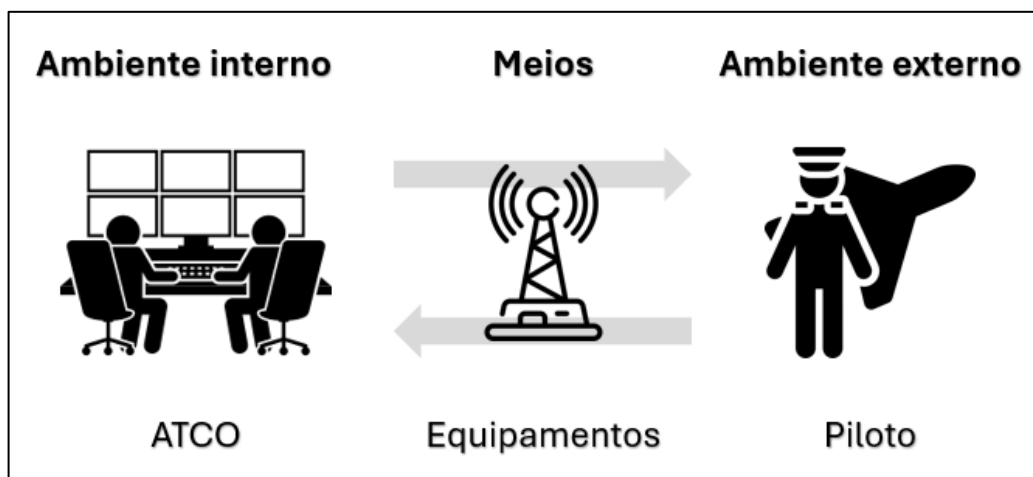
Essa proposta tem o potencial de facilitar as análises e ações visando à implementação desse novo conceito operacional, considerando especificamente a mudança que irá ocorrer dentro dos órgãos de controle de tráfego aéreo.

Inicialmente é preciso entender a maneira como funciona o controle de tráfego aéreo e o ambiente operacional apresentado de acordo com o estabelecido em ICAO (2016a). A Figura 8 delinea o cenário operacional e coloca luz sobre o ambiente operacional permitindo uma compreensão sob a seguinte abordagem pretendida, onde o controlador de tráfego aéreo enquanto elemento humano, desempenha suas funções dentro de um ambiente operacional interno ao órgão de controle, mantendo coordenação com os demais ATCO, cada um atuando dentro do seu setor de responsabilidade.

Cada órgão de tráfego aéreo se relaciona com outros órgãos de controle adjacentes e que fazem o complemento da prestação de serviços para um dado voo. Todos são orientados por um conjunto de normas e procedimentos regulatórios geral e originados do gestor do sistema e normas específicas locais que são geradas pela organização local de controle de tráfego aéreo.

Também existe um ambiente externo ao órgão operacional, formado pelo espaço aéreo sob a responsabilidade dos ATCO que é atribuído e definido pelo gestor regional, formando mais um elemento interveniente que é a estrutura do espaço aéreo onde se localiza um conjunto de procedimentos e rotas que devem ser respeitadas e de conhecimento dos pilotos. Esse último, forma o terceiro elemento e fecha a composição de análises para o framework proposto.

Figura 8: Cenário operacional



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para executar o serviço sob sua responsabilidade nesse processo, o ATCO utiliza como ferramentas de trabalho os equipamentos técnicos necessários de comunicações telefônicas, conhecido como serviço fixo aeronáutico (SFA), e rádio comunicação, chamado serviço móvel aeronáutico (SMA), para fornecer os serviços em sua área de responsabilidade/jurisdição às aeronaves e aos órgãos adjacentes de controle de tráfego aéreo. Além disso são necessários equipamentos para permitir apoio e visualização de alvos e de um conjunto de sistemas de base de dados que permitam a integração de todos esses sistemas.

O terceiro ponto interveniente são os pilotos em suas aeronaves que devem ter o conhecimento antecipado das mudanças que serão implementadas por meio de instrumentos de divulgação técnica e legislações específicas.

No contexto de garantir a segurança e transparência do sistema, sem que haja a diminuição do NADSO, a implementação dessa mudança requer um planejamento e uma transição cuidadosa.

Visando a manutenção da segurança operacional de modo que o processo de introdução dos sistemas de aeronaves não tripuladas aconteça de modo transparente e seguro tanto para os usuários do sistema de controle de tráfego aéreo, quanto as pessoas em solo, foi proposto uma forma de organização para o GRSO, com um conjunto de ações, estruturadas no framework sugerido, que foi construído com base nos levantamentos literários e nas opiniões colhidas dos especialistas em segurança operacional e relatados conforme itens anteriores.

Dessa maneira, a proposta inicial do *framework*, baseado no modelo adaptado ao proposto por Wells e Rodrigues (2003), poderia ser descrita e orientada conforme se segue:

Perigo 1: Possibilidade de Falha Operacional do ATCO

Este perigo refere-se à identificação das causas relacionadas ao fator humano que podem levar um controlador de tráfego aéreo (ATCO) a cometer erros operacionais.

a) Desconhecimento dos novos processos operacionais

A falta de familiaridade com os novos procedimentos e métodos pode comprometer a eficácia do ATCO (MACIEJEWSKA et al., 2019).

b) Desconhecimento da nova configuração do espaço aéreo (Ambiente Externo)

A falta de entendimento sobre as mudanças no espaço aéreo pode causar dificuldades na gestão do tráfego aéreo (BU et al., 2020).

c) Desconhecimento da configuração operacional interna do órgão (Ambiente Interno)

A falta de conhecimento sobre as novas disposições de equipamentos e posições de trabalho internos pode prejudicar o desempenho do ATCO (WELLS e RODRIGUES, 2003).

d) Deficiência na normatização interna

A ausência de normas claras e padronizadas dentro da organização pode levar a inconsistências e erros operacionais. (MACIEJEWSKA et al., 2019).

e) Aspectos psicológicos decorrentes da mudança

Mudanças significativas podem gerar impactos psicológicos que afetam a capacidade do ATCO de realizar suas tarefas de maneira eficiente (WELLS e RODRIGUES, 2003).

Perigo 2: Possibilidade de falhas dos meios para a prestação do serviço

Este perigo envolve a identificação das causas que poderiam levar à falha dos equipamentos utilizados para a prestação dos serviços de controle de tráfego aéreo, uma vez que, conforme Subotic, Ochieng e Majumdar (2005), é importante determinar a contribuição do equipamento (ou sua falha ou mau funcionamento) ao conjunto de riscos analisados para o ATC.

a) Falha do equipamento de rádio (Serviço Móvel Aeronáutico - SMA)

Problemas com os equipamentos de rádio podem comprometer a comunicação entre os controladores e as aeronaves (BROOKER, 2008)

b) Falha do equipamento de detecção radar

Problemas com os radares podem dificultar a detecção e o acompanhamento das aeronaves no espaço aéreo (WANG et al., 2020)

c) Falha do equipamento de telefonia fixa (Serviço Fixo Aeronáutico - SFA)

Problemas com a telefonia fixa podem prejudicar a comunicação entre diferentes órgãos de controle (ICAO, 2016a)

d) Deficiência da base de dados (BDS)

Problemas com a confiabilidade ou atualização das bases de dados podem afetar a precisão das informações visualizadas pelos controladores (WANG et al., 2020)

e) Falha no sistema de energia

Problemas com o fornecimento de energia podem causar interrupções no funcionamento dos sistemas de controle de tráfego aéreo (ICAO, 2016a)

Perigo 3: Possibilidade de falha do piloto

Este perigo envolve a identificação das causas que poderiam levar a uma falha do piloto.

a) Falha na informação e divulgação

Problemas na comunicação e disseminação de informações relacionadas ao novo desenho do espaço aéreo e procedimentos aplicáveis podem resultar em falta de compreensão, preparação e planejamento por parte do piloto (SANZ et al., 2015).

b) Falha no conhecimento das novas regras

A falta de familiaridade com as novas regulamentações aplicável à mudança pode levar a erros operacionais e consequente falta de cumprimento das regras aplicáveis (SPEIJKER, LEE, VAN DE LEIJGRAAF, 2011); HENDERSON, 2022).

c) Falha do sistema UAV

Problemas técnicos e operacionais com o sistema de aeronaves não tripuladas podem comprometer a segurança e a eficácia das operações conduzidas pelo piloto (SANZ et al., 2015; ZHANG, GUO, LIAO, 2021)

Essa versão inicial do produto de pesquisa (*framework* apresentado na Figura 9) foi submetida ao escrutínio dos sujeitos de pesquisas (especialistas). O resultado dessa análise e a validação dos respondentes serão apresentados. É uma proposta

sugerida, mas não se restringe à totalidade dos assuntos, uma vez que a equipe multidisciplinar de gerenciamento de risco poderá apresentar propostas adicionais durante a reunião de GRSO.

Figura 9: Proposta de *framework* para Gerenciamento de Mudança da Integração UTM e ATM.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na construção do *framework* proposto foi considerado cada ponto de interação sistêmica como um perigo, que foi classificado por grupo de similaridade e aderência de área visando organizar o processo. Assim será oferecido uma orientação prática para a equipe multidisciplinar que irá realizar o procedimento de análise de riscos e,

em seguida, irão propor medidas mitigadoras que serão adotadas durante o processo de implementação da mudança fazendo com que sejam preservados ou elevados os níveis de segurança operacional.

4.4 ANÁLISE DO *FRAMEWORK* PROPOSTO

Nesta seção, será estabelecida a correlação dos perigos identificados na literatura, que estão diretamente ligados à operação das aeronaves não tripuladas, com os impactos dessa integração e ações necessárias dentro dos órgãos de tráfego aéreo.

4.4.1 Perigo 1: Falha operacional do ATCO

Na primeira abordagem, será analisado o chamado Perigo 1, onde serão agrupados os perigos associados a possível falha operacional do controlador de tráfego aéreo durante a prestação dos serviços de tráfego aéreo, considerando o novo cenário que está sendo implementado.

Sobre o *framework*, diversos elementos podem contribuir para a falha do ATCO, como o desconhecimento teórico e prático dos novos procedimentos operacionais, incluindo cartas aeronáuticas previstas para os novos procedimentos que serão impactados pela mudança que serão aplicadas tanto para aeronaves tripuladas quanto para os UAV, normatização internamente e específicos para cada órgão como Modelo Operacional, Manual de Operações, Cartas de Acordos Operacionais entre órgão adjacentes e intervenientes, entre outros previsto conforme ICAO (2016a).

O desconhecimento, por parte do controlador do ambiente externo da configuração do espaço aéreo, ou seja, da nova estrutura e organização do espaço aéreo, englobando setorização que é a nova organização da divisão dos setores que podem ter ocorrido ou mudanças nos limites laterais e verticais do espaço aéreo. Essa reestruturação leva a novos processos de coordenação externa, novos limites de responsabilidade e novas definições de demanda e capacidade.

Internamente, mudanças dessa amplitude podem levar a uma reestruturação interna do órgão operacional, alterando os processos antigos e conhecidos de trabalho. Essa falta de familiaridade com a configuração operacional interna do órgão,

envolvendo novos consoles, novos procedimentos de coordenação interna e alterações na estrutura operacional representa um desafio adicional e introduzindo causas que devem ser analisadas durante o processo de análise de riscos.

Objetivando assegurar a legalidade das ações e dos procedimentos, ocorrerão mudanças normativas em todos os níveis organizacionais, produzindo mais um ponto que pode levar ao aparecimento de novos perigos. Assim, adicionalmente, deficiências no conhecimento da normatização geral e sistêmica, abrangendo instruções e manuais podem surgir como possíveis causas de falhas operacionais dos controladores de tráfego aéreo.

Finalizando esse tópico é importante entender o controlador de tráfego aéreo como ser humano, que necessita de estar totalmente conectado e treinado em relação a todos os aspectos da mudança visando estabelecer uma compreensão, conectando o ambiente operacional com os desafios específicos associados ao fator humano, visando evitar a perda da consciência situacional. Dessa forma, um acompanhamento por um profissional de fator humano, para analisar os aspectos psicológicos do ATCO que possam ser afetados pelo contexto da mudança é fundamental para mitigar eventuais pontos geradores de perigos para a segurança operacional.

Nesse contexto, os perigos identificados na literatura e analisados pelos especialistas por meio das assertivas: A1 - Colisão dos UAV com aeronaves tripuladas, A2 - Colisão dos UAV com estruturas no solo e A4 - Colisão dos UAV com pessoas no solo seriam distribuídos, dentro da estrutura proposta, relacionadas ao Perigo 01 e sua importância de comprometimento na segurança e implementação de potenciais mitigadoras já foram analisadas pelos especialistas conforme impacto atribuído para o ATS.

A Assertiva A1, analisada pelos especialistas tem relação direta com o *framework* proposto, uma vez que é responsabilidade do ATCO prover a separação de aeronaves tripuladas com eventuais ameaças à segurança dessas aeronaves. Sendo assim, a importância apontada pelos especialistas, média 4.9, atribuindo classificação de grau elevado a este questionamento demonstra a relevância desse aspecto na análise dos perigos identificados na literatura apresenta coerência para ser classificada dentro do Perigo 01 e das causas propostas que poderiam levar à possibilidade de falha do ATCO.

A falta de atualização de normas e manuais internos, foi avaliada com muita importância pelos especialistas, média 4.3, é uma causa que pode levar o ATCO a

falhar gerando a possibilidade de colisão dos UAV com aeronaves tripuladas. O tratamento dessa causa por meio de uma medida mitigadora pode reduzir a possibilidade de falha do ATCO.

O emprego de recursos de tecnologia, média atribuída 5.0, visando reduzir a possibilidade de falha do ATCO, é outra medida que vai facilitar a prestação do ATS, objetivando prevenção da colisão de UAS com aeronaves tripuladas. Nesse contexto, a inclusão de programação de defesas que impeçam a violação do espaço aéreo ATS pelos UAV, recursos que possibilitem a intervenção dos órgãos de segurança pública em operações de UAV não colaborativos, a criação de mecanismos que propiciem a comunicação eficaz entre órgãos ATC e operadores de UAV podem permitir um eficiente monitoramento e o controle das operações de UAV nas proximidades de áreas críticas.

A falta de treinamentos específicos para os ATCO também pode levar à comprometimento da segurança operacional e foram apontados como causas potenciais de falhas. A aplicação de medida mitigadora de treinamento dos ATCO, atribuída média 4.7, também é fundamental na prevenção da colisão de UAV com aeronaves tripuladas. Especialmente nos itens relacionados ao desconhecimento da nova configuração do espaço aéreo e da configuração operacional interna do órgão, que são fatores que podem levar a uma perda de consciência situacional.

A Assertiva A2, que trata sobre a possibilidade de Colisão dos UAV com estruturas no solo, analisada pelos especialistas com média geral 3.4, também faz conexão com o Perigo 1, pois podem levar à possibilidade de falha do ATCO devido às consequências da situação do ambiente externo gerado.

A adequação de normas, manuais, média 3.3, e uma circulação preparada e estudada de modo a ser previsível, construída no planejamento do espaço aéreo, com definição de rotas podem vir a minimizar a possibilidade de falha. Esse quesito específico foi considerado um aspecto relativamente importante pelos especialistas, mas que deve ser considerado na mitigação, apesar de não ser atribuição dos ATCO separar nem mesmo as aeronaves tripuladas de obstáculos. Contudo, medidas mitigadoras sistêmicas devem ser propostas para que as rotas que compõem a circulação dos UAV sejam criadas em áreas que evitem as estruturas no solo e ainda sejam afastadas das rotas de aeronaves tripuladas. Nesse caso seria atribuição do Operador do UAV evitar esse tipo de colisão e ao ATS caberia apenas regular eventuais horários em que estes poderiam operar.

Com objetivo de minimizar possíveis falhas dos ATCO, medidas mitigadoras de tecnologia foram analisadas e acrescentadas pelos especialistas, média 3.7, propondo que fossem disponibilizados banco de dados dos obstáculos locais conhecidos, nas vizinhanças dos aeródromos e corredores VFR a serem utilizados por UAV para possibilitar a programação das bases de dados bem como rotas e portões (*gates*) padronizados para entradas e saídas dos espaços aéreos.

Por meio de treinamento adequado aos ATCO, média 2.9, seria disponibilizado o conhecimento das trajetórias, regulamentações, normas atualizadas, entendimento dos novos recursos de tecnologia ampliando o monitoramento e das novas barreiras tecnológicas implementadas. Esse conjunto de aprendizados proporcionaria uma intervenção antecipada e ação direta do ATCO levando a mitigação desses riscos e promoveria um ganho substancial para a segurança operacional em todos os níveis de atuação.

A pontuação relativamente baixa avaliação das mitigadoras atribuída pelos especialistas se deve ao fato de que não caberia ao ATCO esse tipo de atuação, mas esses aspectos devem ser considerados de modo sistêmico e administrativo, pelos gestores.

O tratamento do assunto estudado na Assertiva A4, sobre a possibilidade colisão de UAV com pessoas no solo também faz conexão com o Perigo 1, e de modo similar a análise anterior deveria ter um tratamento mais sistêmico e estudado no planejamento das rotas. Por não ser responsabilidade do ATCO separar qualquer tipo de aeronave de pessoas no solo, a média atribuída foi 3.3. Assim a atualização das normas e manuais, com média 3.4, relacionados ao ATS poderia contribuir no arcabouço normativo reduzindo a possibilidade de colisão de UAV com pessoas no solo.

A utilização de sistemas eletrônicos de controle dos UAV, média 4.4, foi bem avaliada, pois o ATCO teria condições de identificar eventuais desvios de rota, alertando de alguma forma as autoridades e as pessoas nas proximidades minimizando a possibilidade de danos. A criação de requisitos de vigilância (ADS-B, Multilateração etc.) de garantiria a execução das trajetórias estabelecidas. Já o treinamento dos ATCO, média 2.6, não teve uma avaliação consistente por não ser o objetivo do serviço ATC.

4.4.2 Perigo 2: Falha dos meios

Conforme mostrado na Figura 7, a presença dos controladores de tráfego aéreo no ambiente operacional e apontou que, para exercer seu trabalho, o ATCO necessita de meios técnicos para prestar os serviços de tráfego aéreo e assim foi estabelecido mais um fator interveniente e denominado Perigo 2, focado nas possíveis falhas dos meios necessários para a prestação do serviço.

Essa análise demonstra a conexão das assertivas A6 - Falhas nos sistemas UAV, A8 - Interferência nas comunicações são conectadas com o Perigo 2 que trata das falhas dos meios para prestação do ATS e das medidas mitigadoras que envolvem a atualização e treinamento teórico e prático do plano de degradação.

Com relação a comunicação, devem ser avaliados as possíveis falhas no sistema de rádio, considerando elementos como o número de frequências disponíveis, alcance efetivo e redundância necessária desses equipamentos. Além disso, a análise se estenderá ao radar, abrangendo aspectos como a cobertura e o alcance do sistema.

A falha ou limitação em qualquer um desses elementos pode impactar significativamente na prestação dos serviços de controle de tráfego aéreo e, dentro desse contexto, nas novas bases de dados do sistema (BDS) de visualização radar que apresentam na tela a organização do espaço aéreo e dos setores.

Na comunicação por telefone, a análise se concentrará na garantia de que as ligações sejam direcionadas ao setor correto, na organização das conexões dos novos setores de cada órgão operacional adjacente ou novo setor interno, evitando adaptações ou perda de ligações para o setor errado. Esse processo envolve ajustes, mapeamento e treinamento na planta operacional, buscando otimizar a eficiência e eficácia das comunicações internas e externas.

Deverá ser realizada uma análise abrangendo aspectos relacionados à segurança e continuidade do fornecimento de energia, contribuindo para uma ampla mitigação dessa falha para garantir a continuidade e eficiência das operações de controle de tráfego aéreo.

A Assertiva A6, aborda a falha nos sistemas UAV podendo levar a perda de capacidade de navegação e invasão de espaços aéreos restritos foi avaliada pelos respondentes com média 5,0. Essa avaliação destaca sua relação com o Perigo 2 e destaca a importância do tema devido às paralizações gerais impostas por essa

ocorrência e os prejuízos decorrentes. Para mitigar esses riscos, é essencial que sejam incluídos procedimentos adequados de atualização das normas e manuais relacionados ao ATS visando se estabelecer protocolos de condutas de ações acelerando e direcionando novos processos de tomadas de decisão, antes inexistentes.

Ancorando eventuais ações no arcabouço normativo, irá proporcionar protocolos e diretrizes que amparem as ações necessárias do ATCO ao identificar interferências nas operações correntes provocadas por falhas nos sistemas UAV. A análise dos especialistas atribuiu uma média de 3,7 e sugere que essa abordagem é relevante, embora possa exigir melhorias adicionais para alcançar a eficácia desejada.

Também a falta de sistemas eletrônicos que possam ajudar na identificação rápida e controle de eventuais falhas nos sistemas UAV que viessem a interferir com o controle de tráfego aéreo. A utilização desses recursos técnicos poderia ser uma estratégia eficaz para identificar e mitigar interferências com a prestação do ATS devido a falhas nos sistemas UAV. Os especialistas atribuíram uma média de 4,6 para essa medida, destacando sua importância na proteção sistêmica do ATCO amparando suas ações em caso de possíveis falhas do UAV.

O treinamento adequado dos ATCO é muito importante para capacitar esses profissionais a identificarem e lidar com eventuais falhas nos sistemas UAV que possam impactar no serviço. A média de 3,9 atribuída pelos especialistas indica que o treinamento dos ATCO é uma medida relevante, embora possam exigir ajustes para garantir uma preparação completa e eficaz dos ATCO.

Outra correlação com o Perigo 2 é a possibilidade de interferência nas comunicações, tratada na Assertiva 8, que teve atribuída uma média geral de 4,3 pelos especialistas. O estabelecimento de um amparo legal por meio de atualizações de normas e manuais foi considerado muito importante pelos especialistas, média 4.6, visando amparar as ações necessárias do ATCO em ocorrências dessa natureza.

A utilização de sistemas eletrônicos de controle dos UAV poderia ajudar a identificar e mitigar a possibilidade de interferência nas comunicações e foi analisado com importância pelos especialistas, indicado pela média de 4,1. Esses sistemas implantados no ATS, podem monitorar e controlar o espaço aéreo de forma mais precisa, reduzindo o risco de interferências e garantindo a segurança das comunicações.

O treinamento adequado dos ATCO também é essencial para acelerar a identificação de ocorrências dessa natureza e evitar que interferências nas comunicações, como evidenciado pela média de 3,9 atribuída pelos especialistas posam levar a consequências que prejudiquem a segurança operacional. Esse treinamento pode incluir práticas de comunicação eficaz, protocolos de emergência e técnicas de resolução de problemas para lidar com essas situações de forma rápida e eficiente.

Para reforçar as medidas mitigadoras, especialistas recomendam estabelecer requisitos de comunicação para UAS com o mesmo rigor aplicado a aeronaves tripuladas, protegendo o ATS contra falhas por interferência nas comunicações e garantindo a segurança e eficiência das operações de controle de tráfego aéreo.

Assim as Assertivas A6 e A8 com suas respectivas implementações de medidas mitigadoras, relacionadas ao Perigo 2, tem o potencial de proteger a prestação dos serviços contra falhas nos sistemas UAV, garantindo assim a segurança e eficiência das operações de controle de tráfego aéreo.

4.4.3 Perigo 3: Falha do piloto

Ainda analisando o *framework* proposto na Figura 8, observa-se o chamado Perigo 3, que se concentra na falha do piloto. Relacionam-se com essa classificação as assertivas A3 - Descumprimento da legislação de tráfego aéreo, A5 - Erros de operação e A7 - colisão do UAS com aeronaves não tripuladas.

Relacionado ao Perigo 3, a possível falha do piloto, ocorre pela possibilidade de deficiência na informação e divulgação das mudanças que estão sendo implementadas, provocando descompasso das ações que devem ser tomadas de ambos os lados e levando a perda de consciência situacional por inobservância da nova normatização, da nova estrutura, configuração do espaço aéreo ou dos novos procedimentos implementados devido à mudança. É essencial assegurar que os pilotos, tanto de aeronaves tripuladas como das não tripuladas, tenham total conhecimento e recebam informações básicas e fundamentais, por meio de canais apropriados, palestras ou vídeos informativos.

Somente a disseminação eficaz dessas informações contribuirão para a conscientização dos operadores envolvidos, minimizando potenciais falhas decorrentes de falta de conhecimento ou compreensão inadequada.

A realização de treinamentos contínuos e campanhas educativas pode reforçar a importância da aderência às informações fornecidas, reduzindo as chances de falhas decorrentes de lacunas no entendimento por parte dos pilotos. Essas medidas contribuem para aprimorar a segurança operacional e fortalecer a cooperação entre os pilotos e os órgãos de controle de tráfego aéreo, propiciando um ambiente operacional mais seguro e eficiente.

A Assertiva 3, analisada pelos especialistas e identificadas na literatura, se ajusta perfeitamente, uma vez que a possibilidade de descumprimento de legislação de tráfego aéreo por parte dos pilotos de UAV, foi considerado um fator importante, média 5,0. A atualização das normas e manuais relacionados ao ATS ajudaria a compor o arcabouço normativo visando ampliar os conhecimentos e fiscalizar o cumprimento da legislação de tráfego aéreo por parte dos pilotos de UAV, sendo analisado com média 4.1.

O emprego de recursos de tecnologia também facilitaria a prestação dos serviços de tráfego aéreo por permitir a identificação antecipada do eventual descumprimento de legislação de tráfego aéreo pelos pilotos de UAV, média 4.6, propiciando que os UAV pudessem ser detectados mais precocemente minimizando a possibilidade de violação do espaço aéreo ou das rotas ATS pelos UAV. Já o treinamento dos ATCO foi considerado de pouco impacto em relação a este tema, média 3.6, pelo fato de que o ATCO teria pouca ação para evitar a ocorrência do descumprimento da legislação de tráfego aéreo pelos pilotos de UAV

A Assertiva 5 apresentada aos especialistas também está conectada ao Perigo 3, uma vez que sempre existe a possibilidade erros de operação do piloto de UAV e foi considerado relevante pela maioria dos consultados, média 4,9. Dessa maneira a importância da atualização das normas e manuais relacionados ao ATS teria potencial de mitigar as consequências dessa eventualidade acelerando os processos de reconhecimentos da ocorrência, média 3,7.

A utilização de sistemas eletrônicos para prestação dos serviços de controle poderia ajudar a detectar precocemente e a mitigar a ocorrência de erros de operação dos pilotos de UAV, dessa forma atribuíram média 4,7. Já o treinamento dos ATCO visando evitar esse tipo de ocorrência foi considerado de pouco impacto para evitar que a ocorrência de erros influenciasse de forma negativa nas ações cotidianas e recebeu média 3,1. Contudo foi sugerido que uma melhoria na formação, capacitação,

treinamento recorrente dos operadores de UAV e ações de conscientização do operador poderia provocar uma melhoria da segurança operacional.

A análise dos especialistas em relação a possibilidade de colisão do UAS com aeronaves não tripuladas, foi feita por meio da Assertiva 7, e foi considerado um fator importante e que deve ser levado em conta durante a prestação do ATS, recebendo média 4,3. Entretanto este tipo de ocorrência é externo ao ambiente operacional e extrapola as atribuições ATCO, sem a possibilidade de atuação para evitar esses acontecimentos, sendo apontada mais como um erro do sistema de pilotagem. Dessa forma a atualização das normas e manuais relacionados ao ATS foi avaliada como de pouca efetividade nesse tipo de evento e receberam uma média 3,3 na análise dos especialistas.

A utilização de sistemas eletrônicos nos órgãos de controle para identificar e mitigar eventuais possibilidade de colisão do UAS com aeronaves não tripuladas, poderia contribuir para mitigar as consequências para o ATC provenientes desse tipo de ocorrência. Assim recebeu avaliação considerável dos especialistas com média 4.3, pois poderia alertar com antecedência a possibilidade desse evento.

O treinamento dos ATCO teria pouca efetividade nesse tipo de evento e foi avaliado com média 3.3, uma vez que não haveria ação específica que pudesse evitar a ocorrência da eventual possibilidade de colisão do UAV com aeronaves não tripuladas. Foi sugerido pelos especialistas que os operadores deveriam implementar mecanismos para melhorar os requisitos comunicação, navegação e vigilância para monitoramento dos sistemas próprios com a utilização de recursos para evitar colisão (TCAS) semelhantes aos utilizados nas aeronaves.

A Tabela 11 apresenta a distribuição dos perigos verificados na literatura, segunda a proposta do framework apresentada com os ajustes para os impactos no ambiente interno do ATC e a média da importância atribuída pelos especialistas considerando essa condição. Essa análise fornece uma visão abrangente das preocupações e prioridades em relação aos perigos associados à mudança.

Um fato apontado superficialmente como significativo para a implementação, objetivando que a mudança seja dinâmica e sem a perda de continuidade do serviço prestado, foi a necessidade de se estudar o momento da transição de um sistema para outro.

Tabela 11 - Tabela de distribuição dos perigos identificados ajustadas ao framework proposto

| Perigo | Causas | Importância Geral | Normas e manuais relacionados ao ATS desatualizados | Sistemas eletrônicos de apoio à operação desatualizado | Falta de Treinamento específico dos ATCO |
|-----------------|---|-------------------|---|--|--|
| Falha do ATCO | A1- Colisão dos UAV com aeronaves tripuladas | 4,9 | 4,3 | 5,0 | 4,7 |
| | A2- Colisão dos UAV com estruturas no solo | 3,4 | 3,3 | 3,7 | 2,9 |
| | A4- Colisão de UAV com pessoas no solo | 3,3 | 3,4 | 4,4 | 2,6 |
| Falha dos meios | A6 - Falhas no sistema UAV | 5,0 | 3,7 | 4,6 | 3,9 |
| | A8 - Interferência nas comunicações | 4,3 | 4,6 | 4,1 | 3,9 |
| Falha do Piloto | A3- Descumprimento de legislação de tráfego aéreo pelo piloto UAV | 5,0 | 4,1 | 4,6 | 3,6 |
| | A5 -Erros de operação do piloto de UAV | 4,9 | 3,7 | 4,7 | 3,1 |
| | A7 - Colisão do UAV com aeronaves não tripuladas | 4,3 | 3,3 | 4,3 | 3,3 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Esse seria um processo complementar essa análise tratando da possibilidade de falha no momento da mudança, no momento da implementação, poderia melhorar a segurança operacional uma vez que esse processo pode ser irreversível. Isso se deve ao fato de que existe a necessidade da antecipação das informações, motivadas por normas e pela possibilidade de voos de longo curso e que no momento da mudança poderão estar em diferentes fases determinando preparações antecipadas embarcados e nos sistemas de prestação dos serviços de tráfego aéreo, tanto comunicações quanto navegação e vigilância.

O acréscimo do procedimento sugerido busca não apenas antecipar possíveis falhas, mas também criar um ambiente propício para uma transição bem-sucedida, com medidas proativas que podem assegurar a continuidade dos serviços de controle de tráfego aéreo e a manutenção da segurança operacional, mesmo diante dos desafios inerentes à implementação da mudança operacional.

4.5 VALIDAÇÃO DO *FRAMEWORK* JUNTO AOS ESPECIALISTAS

O framework foi apresentado aos especialistas consultados visando a sua validação e na seção a seguir, são apresentados os resultados dessas avaliações e os ajustes proposto, acrescido das apreciações dos especialistas.

Inicialmente foi solicitada a avaliação global do framework proposto e que fosse analisada também a possibilidade de replicar essa metodologia em outros processos de mudança.

O Especialista E1 avalia com grande potencial a aplicabilidade e a replicabilidade em outros trabalhos semelhantes de Gerenciamento de Risco de Segurança Operacional (GRSO) reconhecendo a utilidade do framework proposto para orientar o trabalho da equipe e destacando a relevância de abranger uma boa parte dos elementos do sistema de tráfego aéreo necessários para avaliar os riscos de segurança operacional.

O Especialista E2 expressa que o framework é uma proposta muito promissora, e ressalta que algumas lacunas podem ser aprofundadas na reunião do GRSO, especialmente considerando a apresentação de um cenário futuro mais abrangente que favoreceria uma análise mais completa do problema, especialmente relacionados ao período de transição. Acrescenta que o documento atual aborda de maneira genérica os requisitos para operação de UAV, mas que isso ocorre pelo viés do estudo focalizado para os impactos no tráfego aéreo caracterizando o foco nesse cenário operacional.

Quanto à replicabilidade do framework em outros trabalhos semelhantes de GRSO, o Especialista E2 considera que, por ser bem genérico, o trabalho pode sim ser aplicado em diferentes contextos, desde que seja esclarecido que se trata de um trabalho complementar ao processo de GRSO estabelecido nas normas específicas garantindo que haja a adaptação às necessidades específicas de cada situação.

O Especialista E3 reconhece o potencial do framework proposto e enfatiza a necessidade de aprimoramentos para garantir sua eficácia e aplicabilidade em diferentes cenários e contextos de GRSO relacionados aos impactos do UAV no ATM. Abordar cada ponto de interação sistêmica, conforme proposta apresentada no *framework*, é um mecanismo importante e com forte potencial para a identificação das fontes de perigo.

Assim a estrutura de framework proposto, ao delimitar em três principais fontes de perigo principais e suas respectivas causas por grupos de similaridade é uma abordagem organizada e estratégica para gerenciar os riscos associados a mudanças, permitindo uma análise particionada, abrangente e detalhada dos potenciais riscos em cada área de operação.

O Especialista E3 considera que o *framework* proposto é robusto e adequado para uma avaliação de segurança de alto nível, permitindo a aplicação em diferentes casos e situações e a divisão em três áreas de fontes de perigo facilita uma análise detalhada e a identificação de medidas preventivas e corretivas adequadas.

Para o especialista E4 o framework é uma ferramenta adequada para orientar o trabalho em equipe, com o conjunto de perigos e causas apontados apresentando um modelo sólido, especialmente considerando os aspectos iniciais de discussão. Ressalta que durante as reuniões do grupo de GRSO, é essencial aprofundar ainda mais esses aspectos e adaptar o *framework* conforme necessário e que o framework pode ser replicado em outros trabalhos semelhantes de GRSO. Enfatiza que é preciso considerar e implementar os ajustes definidos em colaboração com a equipe multidisciplinar para garantir que o *framework* seja adaptado às necessidades específicas de cada contexto.

O Especialista E5 expressa sua visão positiva em relação ao *framework* proposto para orientar o trabalho em grupo, assim como sua replicabilidade em outros projetos similares de gerenciamento de riscos, considerando adequado para orientar o trabalho em equipe. Enfatiza que fornece uma estrutura genérica que pode ser adaptada às necessidades específicas de diferentes projetos apresentando a flexibilidade necessária para lidar com uma variedade de contextos e desafios encontrados nas mudanças.

O Especialista E6 oferece uma análise positiva sobre a adequação do framework para orientar o trabalho em equipes de gerenciamento de risco, bem como sua replicabilidade em contextos semelhantes. Reconhece que o *framework* oferece uma estrutura organizada e funcional para o início e organização dos trabalhos, especialmente para equipes menos experientes, destacando a sua utilidade na condução inicial dos trabalhos e na garantia de uma abordagem sistemática na análise de riscos.

Acrescenta consideração em relação à sua replicabilidade em outros trabalhos semelhantes abordando que o *framework* pode potencialmente limitar o espectro de

análises dos perigos, o que poderia resultar na exclusão de aspectos importantes da análise de riscos, especialmente em cenários onde há mudanças significativas. No entanto, reforça que, apesar dessa preocupação, o framework continua sendo uma ferramenta adequada e funcional, especialmente para equipes menos experientes e na fase inicial dos trabalhos.

O Especialista E7 destaca a importância de uma abordagem realizada por uma equipe multidisciplinar e ressalta que o termo "grupo" seja substituído por "equipe", indicando que o framework é adequado para orientar o trabalho em equipe.

Analisa que o *framework* poderia ser replicado em outros trabalhos semelhantes no gerenciamento de risco da segurança operacional, destacando que mudanças específicas devam ser introduzidas durante a reunião e com a aprovação da equipe multidisciplinar sendo ajustadas para os diferentes contextos relacionados à segurança operacional.

Essas observações indicam que, para E7, o *framework* apresentado é adequado e replicável para orientar a implementação de mudanças nos serviços de tráfego aéreo, garantindo a conformidade com os requisitos de segurança operacional e promovendo uma abordagem colaborativa e multidisciplinar.

Em seguida foi solicitado aos especialistas que avaliasse o *framework* nos aspectos de classificação organização perigos por ponto de interação sistêmica separando por grupo de similaridade e aderência de área visando organizar o processo.

Na primeira causa do Perigo 1, relacionado à possibilidade de falha operacional do controlador de tráfego aéreo, o Especialista E1 destaca a importância do conhecimento das novas regras reforçando a possibilidade de ATCO que não compreendam completamente as mudanças, o que pode resultar em ações inadequadas. Portanto, a falta de compreensão das normas pode ser uma fonte significativa de riscos operacionais havendo a necessidade de se incrementar os processos de treinamento.

O especialista E2 considera a proposta de simplificar os tipos de perigos adequada, mas ressalta que a operação integrada do UTM no ATM é extremamente complexa e pode surgir devido ao novo relacionamento que aparecerá por consequência da grande capacidade do sistema UAV e das limitações nas habilidades dos controladores de tráfego aéreo em lidar com o tráfego misto de aeronaves

tripuladas e não tripuladas. Isso poderá gerar perigos inéditos, desafiando as práticas convencionais dos ATCO e do serviço de controle de tráfego aéreo.

Esses requisitos podem ser atendidos acrescentando ao treinamento as adaptações necessárias, tais como simulações adequadas, para abranger todos os padrões de perigos potenciais e ajudar no estabelecimento de medidas mitigadoras para minimizar os riscos associados à integração do UTM no ATM.

O Especialista E3, sugeriu que nas causas fossem realizadas adequações da terminologia retirando o termo “desconhecimento” e trocando por “falha” dos novos procedimentos operacionais. Sugeriu também a adoção da palavra “falha” para o item relacionado a nova configuração do espaço aéreo acrescentando que as mudanças são para o novo contexto operacional. Sugeriu a alteração para “falha” da nova configuração operacional do órgão ATC devida a reorganização do ambiente interno do órgão operacional. Além disso sugeriu que seja utilizado o conceito de deficiências na regulamentação incluindo as demais áreas da legislação e não só a interna do órgão.

Em relação aos aspectos psicológicos decorrentes da mudança acrescentou a necessidade da inclusão e consulta aos profissionais de Fatores Humanos para especificar os perigos relacionados aos aspectos psicológicos, sendo essa uma medida importante para abordar adequadamente esse aspecto. Sugeriu incluir como causa a possibilidade de ocorrer um treinamento deficiente para os profissionais de controle de tráfego aéreo havendo a necessidade de se constituir um processo interno de acompanhamento e avaliação das ações relacionadas ao treinamento.

O Especialista E4, opinando sobre o Perigo 1, onde é levantada a possibilidade de falha operacional do ATCO, opina que na primeira causa deveria ser trocado para “Falha no entendimento dos processos operacionais” uma vez que isso pode ocorrer pelo desconhecimento ou inadequada interpretação dos novos procedimentos operacionais. Esse fato se reflete na importância do treinamento anterior à mudança que teria o objetivo de evitar falhas operacionais que pudessem afetar a segurança. Assim acrescentou também como causa a necessidade de se analisar a possibilidade de um treinamento deficiente. Aos demais itens de causa desse perigo, considerou adequada a terminologia para análise inicial da equipe de GRSO.

O Especialista E5 destaca que, embora a abordagem de identificação de perigos e falhas não seja a única maneira de realizar o gerenciamento de riscos, ela é extremamente útil por apontar inicialmente todos os aspectos que precisam ser

considerados. Ao identificar e analisar os perigos potenciais e as causas de falhas, é possível implementar medidas proativas para mitigar os riscos e garantir a segurança e eficácia das operações de controle de tráfego aéreo.

Essas mesmas considerações do Especialista E5 foram apresentadas para os três perigos classificados no *framework*, que considerou adequada a proposta, mas ressaltando a importância do grupo multidisciplinar para o ajuste em cada classificação dos perigos e a obtenção da amplitude necessária.

O Especialista E6, em relação a possibilidade de falha operacional por parte dos controladores de tráfego aéreo, destacou a importância de se estabelecer procedimentos operacionais bem definidos, treinamento adequado e acompanhamento próximo pelos profissionais de fator humano e reconhece que o *framework* proposto aborda esses aspectos. Reforça a preocupação com a necessidade de investimento em treinamento, padronização e regulamentação dos processos operacionais como parte integrante da gestão de riscos, destacando que a clareza e precisão desses procedimentos são essenciais para garantir o desempenho seguro e eficiente das funções de controle de tráfego aéreo.

O especialista E7 afirma que o *framework* apresentado, focando na possibilidade de falha operacional do controlador de tráfego aéreo e nas causas que poderiam levar a essa falha, está adequado à finalidade proposta, contudo destaca a necessidade de se aprimorar como causa específica aspectos psicológicos, especialmente naqueles relacionados aos fatores humanos que podem afetar a segurança operacional devido à mudança.

Acrescenta também a preocupação relacionada ao tipo de treinamento fornecido aos controladores e a imperiosa necessidade de acompanhamento desses profissionais antes da implementação da mudança, durante o treinamento e nas atividades de planejamento, bem como posteriormente à implementação.

Essas observações enfatizam a importância de abordar não apenas os aspectos técnicos, mas também os aspectos humanos na análise de segurança operacional a fim de garantir uma melhoria na segurança operacional e um ambiente de trabalho seguro e eficiente.

Em relação ao Perigo 2, que aborda as possíveis falhas nos meios técnicos necessários para a prestação do serviço, o Especialista E1 entende que as propostas do *framework* são adequadas e levanta uma questão sobre a necessidade de instalações de equipamentos nos UAV que permitam ao ATCO identificar com

antecedência a presença irregular dessas aeronaves com potencial de interferência nas operações correntes. Concorde fortemente com necessidade de se fazer uma avaliação de possíveis causas relacionadas a falha de equipamentos técnicos e em especial ao de identificação de movimentação de UAV em área não permitida, visto que a celeridade na identificação da presença dessas aeronaves tem impacto na rapidez das ações esperadas dos ATCO.

Sobre o assunto, possibilidade de falhas técnicas nos equipamentos de prestação de serviços de controle de tráfego aéreo, o Especialista E2 destacou a importância da capacidade de detecção tanto das aeronaves não tripuladas quanto das aeronaves tripuladas. Essa capacidade é fundamental para permitir que os controladores de tráfego aéreo tomem decisões exatas e oportunas.

O Especialista E3, nesse segundo perigo, que trata das falhas nos meios para a prestação do serviço, sugeriu a substituição do termo falha do equipamento radar por falhas nos sistemas de vigilância, incluindo assim outros sistemas como multilateração e sistemas dependentes automáticos de vigilância (ADS). Não apresentou sugestões para as causas de falha da telefonia fixa, deficiência da base de dados e falta de energia apenas destacando a importância de medidas de contingência e redundância para garantir a continuidade dos serviços. Sugeriu uma causa a esse perigo que a falha do serviço de informações aeronáuticas e atualizações das mensagens necessárias aos serviços de tráfego aéreo, por entender que esses sistemas acrescentam informações antecipadas e ajudam no planejamento e nas ações de prevenção a eventuais ocorrências de tráfego aéreo.

A opinião de E4 sobre a possibilidade de falhas dos meios para a prestação do serviço é que as causas que poderiam levar a falhas são abordadas no escopo da mudança e poderiam ser consideradas conformes, visto que já estão em operação na concepção do sistema atualmente em uso, contudo é importante que sejam atualizadas para o novo conceito e devem ser ajustadas, pela equipe de GRSO, para as novas condições da integração dos atuais sistemas à circulação UTM.

O Especialista E5 analisou de forma genérica o conjunto dos perigos e causas apontados e mostrou uma visão favorável ao *framework* apresentado incluindo esse aspecto das possíveis causas relacionadas aos critérios técnicos, não acrescentando nenhuma observação específica.

O Especialista E6, apesar de expressar preocupação com a regulamentação técnica para os novos equipamentos que serão introduzidos na prestação do serviço, considera o *framework* proposto como adequado. Reforça que existe a necessidade de regulamentação técnica adequada e ajustada ao novo conceito operacional para garantir a segurança, eficácia e adequabilidade dos novos equipamentos que eventualmente venham a ser instalados.

O Especialista E7 mostrou uma visão favorável ao *framework* apresentado e as causas propostas relacionadas aos critérios técnicos, não acrescentando nenhuma observação específica, considerando que as análises mais aprofundadas serão conduzidas pela equipe multidisciplinar com acompanhamento de um profissional de fator humano.

Sobre o Perigo 3, que trata da possibilidade de falha do piloto, o Especialista E1 concorda com os aspectos abordados no *framework* e acrescenta aspectos relacionados a importância que deve ser dada ao desconhecimento dos novos processos operacionais e da nova configuração do espaço aéreo também por parte dos pilotos. Esses fatores podem influenciar diretamente as decisões e ações dos pilotos durante o voo, destacando a importância de uma comunicação clara e eficaz das mudanças operacionais.

O Especialista E2, confirma a adequabilidade do *framework* proposto, porém observa a necessidade de reforçar que a possibilidade de falha é dos pilotos de UAV, podendo gerar um viés de entendimento se piloto de aeronaves tripuladas ou não tripulada. Este fato poderia levar a análises diferenciadas na aplicação das medidas mitigadoras.

O Especialista E3, considerou o *framework* adequado e ao analisar as possíveis falhas do piloto potencialmente provocadas pela falta de informação, divulgação, desconhecimento das novas regulamentações incluiu como causas possíveis deficiências nos sistemas de aeronaves não tripuladas e treinamento deficiente dos pilotos. Contudo reconhece que essas ações estão fora do espectro de atuação do ATS, dessa forma, fora do escopo desse trabalho, mas que deveriam ser incluídas para fomentar um conjunto de ações que permitissem ao controlador reagir ao identificar ou ser informado da ocorrência de um problema dessa ordem.

Em relação ao Perigo 3, a opinião de E4 sobre a possibilidade de falha do piloto, aborda a questão da falha na divulgação da informação, e assim sugere incluir a presença de representantes de classe como expectadores nos treinamentos, palestras e briefings direcionados. Isso visa dar visibilidade e promover assessoria de imprensa junto aos meios de divulgação.

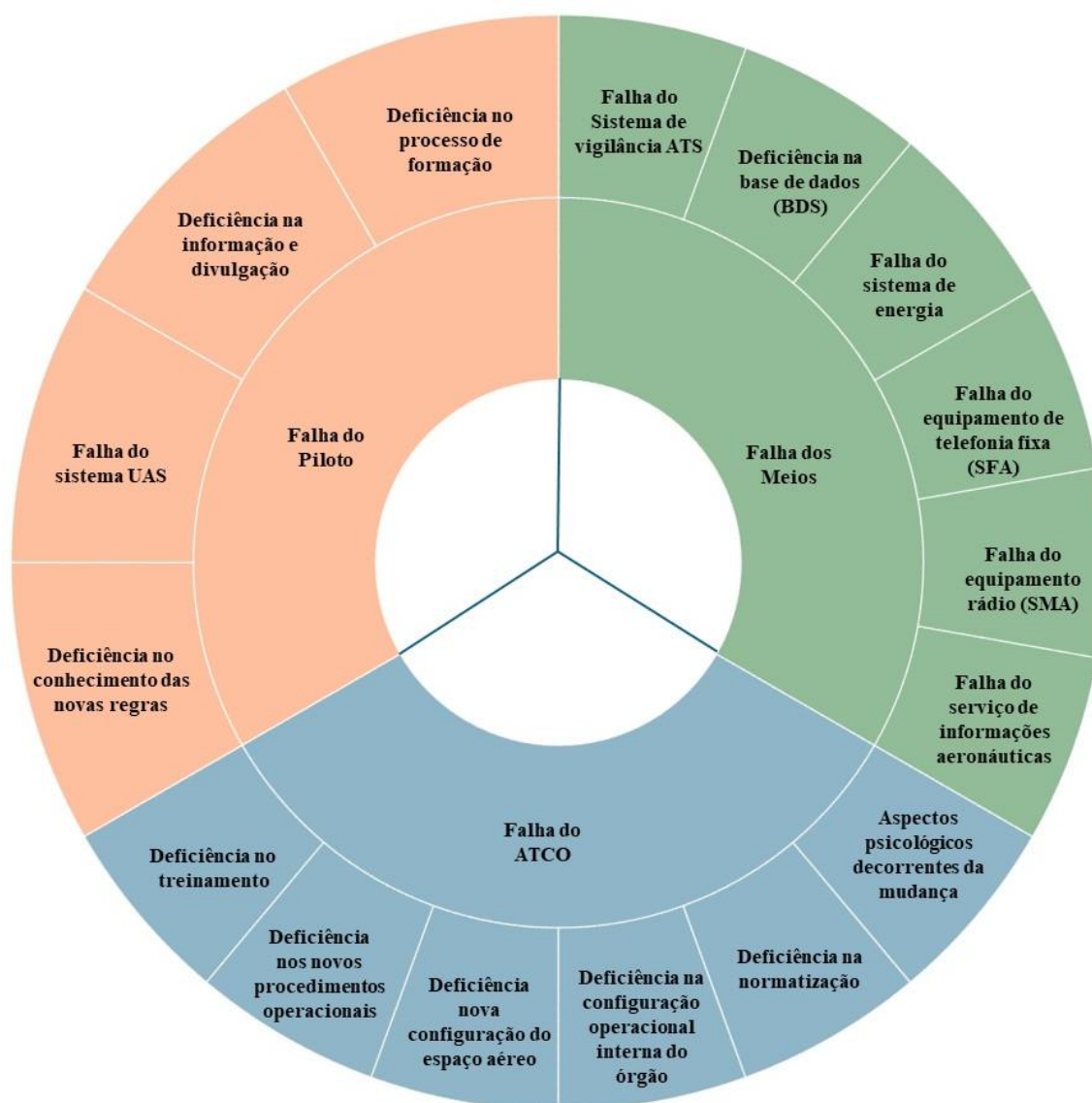
O Especialista E5 analisou de forma genérica o conjunto dos perigos e causas apontados e mostrou uma visão favorável ao *framework* apresentado incluindo esse aspecto das possíveis causas relacionadas às possibilidades de falhas dos pilotos, não acrescentando nenhuma observação específica.

O Especialista E6 considerou o *framework* adequado e não apresentou observações, contudo ressaltou a importância de se incluir pilotos e seus representantes como expectador no treinamento dos controladores para a implementação do novo sistema visando dar conhecimento das ações e divulgação do processo que está sendo implementado.

O Especialista E7 mostrou uma visão favorável ao *framework* apresentado e as causas propostas relacionadas aos pilotos, não acrescentando nenhuma observação específica, considerando que as ações sobre o grupo de pilotagem devem ocorrer pelos operadores que também deverão promover o necessário GRSO para a mudança.

O *framework* foi modificado a partir das sugestões dos especialistas em segurança operacional consultados e representa um avanço na formatação inicial para as reuniões dos grupos multidisciplinares de GRSO. Foi reconhecido pelos especialistas de maneira unanime como uma proposta promissora e com capacidade de simplificar a execução de uma tarefa complexa ao estabelecer uma forma de organização de pensamento visando facilitar e definir um modelo de trabalho que será aplicado pela equipe convocada.

Figura 10: Framework para análise de riscos adaptado após validação



Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim a nova proposta de *framework* com a inclusão das considerações dos Especialistas consultados está apresentada na Figura 9.

5 DISCUSSÃO

A operação de UAV apresenta grande potencial de riscos para a aviação, incluindo colisões no ar e acidentes no solo devido a erros de pilotagem ou falhas de comunicação terra-ar (ZARÉA *et al.*, 2013). Para minimizar esses riscos, é necessário desenvolver métodos de mitigação específicos e realizar estudos que possam manter ou aumentar os níveis de segurança operacional. O *framework* de gerenciamento de riscos desenvolvido por meio da pesquisa realizada aborda diretamente esse ponto, proporcionando métodos específicos de mitigação para os perigos identificados, apresentando luz sobre um aspecto ainda não estudado que é a integração do UTM no ATM, sob a perspectiva do controle de tráfego aéreo, minimizando os riscos avaliados e garantindo operações mais seguras e eficientes para os usuários do sistema.

O estudo desenvolvido aponta a urgência de preparar o ambiente do sistema de controle de tráfego aéreo para a integração com o novo sistema de gerenciamento de aeronaves não tripuladas (BESADA *et al.*, 2019). Isso vem de encontro com o *framework* de gerenciamento de riscos desenvolvido, haja vista este atender aos apontamentos, definindo um método específico para mitigar riscos avaliados como resultado da identificação dos perigos afeitos ao sistema de controle de tráfego aéreo. Dessa forma, o *framework* facilita uma integração segura e eficiente dos sistemas UTM e ATM, garantindo operações harmoniosas e seguras de UAV no espaço aéreo controlado.

Foi identificada também uma preocupação sobre a integração segura de drones no espaço aéreo, sugerindo como as limitações dos sistemas a detecção de drones, a formação de pilotos e controladores de tráfego aéreo e o uso não colaborativo de drones ou atividades ilegais não autorizada (KOPARDEKAR *et al.*, 2016), aspectos abordados nos direcionamentos do estudo desta tese. O *framework* para gerenciamento de riscos desenvolvido trata essas preocupações, fornecendo uma estrutura sistemática para a identificação e mitigação de riscos com orientações para que a equipe de gerenciamento de riscos possa apontar medidas mitigadoras para uma integração transparente dos sistemas e operacionalização da mudança, assegurando que os riscos sejam efetivamente gerenciados e mitigados.

No contexto deste estudo, a pesquisa na literatura levantada mostrou terem sido abordados os perigos da operação dos drones no espaço aéreo. Contudo, não

foram identificados trabalhos direcionados à integração do espaço aéreo UTM no ATM tendo como enfoque o ponto de vista do controle de tráfego aéreo. Esse enfoque é essencial, uma vez que a segurança operacional é obtida por meio dos serviços prestados pelos ATCO, que têm por obrigação manter a segurança do controle de tráfego aéreo (WANG *et al.*, 2020; ZHANG; GUO; LIAO, 2021). Diversas ações são necessárias tanto em relação aos serviços prestados quanto aos equipamentos de prestação de serviços e organização da estrutura do espaço aéreo, entre outras, visando garantir a segurança operacional.

Este trabalho colabora com o preenchimento da lacuna inicialmente identificada na literatura, porque apresenta uma análise dos impactos da introdução dos drones no controle de tráfego aéreo (conforme mostrado nas subseções 4.2 e 4.4 da presente tese). Isso viabiliza atender as prescrições da ICAO (2018) em relação ao gerenciamento de riscos como processo de identificar perigos e ameaças, avaliar e classificar riscos, determinar medidas mitigadoras e aceitar (ou não) o nível dos riscos.

Do ponto de vista científico, a pesquisa sobre a introdução dos UAV no sistema de controle de tráfego aéreo avança na compreensão desse processo e pode ser utilizada com segurança em um ambiente de grande complexidade e dinamicidade, abordando, entre outros temas, questões relativas à detecção de perigos, mitigação dos riscos associados à introdução dos drones nas atividades do Controle de Tráfego Aéreo (ATC) e ao desenvolvimento de novas tecnologias e métodos de controle de tráfego aéreo (GROTE *et al.*, 2022).

A solução proposta por meio da análise global dos perigos afetos à mudança devido à integração do UTM no ATM (subseção 4.4), somada às respostas e validações dos especialistas (subseção 4.5), tem potencial para manter ou até mesmo aumentar os níveis aceitáveis de segurança operacional, atingindo os objetivos propostos por ICAO (2018), uma vez que o gerenciamento da mudança pode promover aumento da confiabilidade dos serviços prestados pelos controladores de tráfego aéreo, especialmente após a implementação de uma grande mudança.

A integração segura de drones no espaço aéreo foram abordadas nesse *framework*, indicando a direção para resolver questões intervenientes (KOPARDEKAR *et al.*, 2016), oferecendo uma estrutura para identificar os perigos e mitigar riscos, melhorar sistemas técnicos, apontando para o aperfeiçoamento dos controladores e dos pilotos nos eixos propostos por Wells e Rodrigues (2003) -

homem, meio e máquina -, promovendo uma barreira a fatores causais (SPEIJKER; LEE; VAN DER LEIJGRAAF, 2011).

Deste modo, a trajetória desenvolvida por meio do estudo proposto e da pesquisa realizada possibilitou não apenas detectar uma lacuna a ser preenchida numa determinada área confluyente de conhecimentos. Esse percurso também viabilizou promover reflexões a partir de trabalhos já desenvolvidos por meio da participação de especialistas que lidam com as questões diretamente relacionadas ao tema da pesquisa.

A validação por especialistas desempenha um papel relevante na legitimidade e robustez do framework apresentado como produto de pesquisa. Ao submeter uma estrutura conceitual à revisão de profissionais com profundo conhecimento e experiência na área, assegurou-se que as abordagens, métodos e diretrizes propostos fossem rigorosos, aplicáveis e coerentes com a prática e teoria estabelecidas. Esse processo de validação não só fortaleceu a confiabilidade do *framework*, mas também identificou possíveis lacunas ou melhorias, contribuindo para a sua evolução contínua e a sua relevância na aplicação prática e na pesquisa científica.

6 CONCLUSÃO

Esta tese buscou apresentar uma ferramenta para a identificação de perigos relacionados à atividade de controle de tráfego aéreo resultantes da introdução de drones na circulação aérea. Os objetivos de pesquisa propostos foram atingidos, uma vez que não havia anteriormente um framework que fornecesse orientação para organizar a análise dos riscos gerados para o controle de tráfego aéreo, visando ajudar a equipe multidisciplinar de GRSO a propor medidas mitigadoras necessárias, especificamente no caso da integração do UTM no ATM, ou seja, a introdução dos veículos aéreos não tripulados na circulação aérea geral hoje existente.

A metodologia empregada permitiu que, após levantados os perigos apontados na literatura relacionados aos impactos da operação dos UAV para o controle de tráfego aéreo, especialistas em segurança operacional pudessem atribuir a importância relacionada aos perigos levantados na literatura para uma análise de risco. Considerando as contribuições dos especialistas em relação a esses perigos, foram agrupados e a organização dessas propostas adequadas em forma de um *framework*, que foi submetido à validação dos próprios especialistas. Estes, de forma unânime, consideraram adequado o estudo em questão e a possibilidade de sua replicação, com ajustes necessários pela equipe de GRSO, em novos gerenciamentos de riscos devido a mudanças.

Assim, como resultado da pesquisa, foi estabelecido uma orientação que pode ajudar os gestores e responsáveis pela segurança operacional na identificação dos perigos que poderiam surgir tendo em vista a introdução das aeronaves não tripuladas na circulação aérea geral, garantindo a manutenção ou até o incremento da segurança do espaço aéreo, tanto na transição quanto na implementação diária dos procedimentos.

A discussão desenvolvida a partir dos achados da pesquisa reforçam o fato de que o estudo realizado atinge os objetivos propostos, alavancando as garantias de uma integração segura de drones no espaço aéreo, fortalecendo a confiança no sistema de gerenciamento de tráfego aéreo e maximizando os benefícios dessa tecnologia para a sociedade.

Este estudo apresentou contribuiu para a teoria, uma vez que foi preenchida uma lacuna de pesquisa identificada na literatura onde não foi verificada nenhuma publicação literária que abordasse esse tema. Assim a apresentação do presente estudo irá preencher essa lacuna literária e contribuir para a teoria acrescentando conhecimento à ciência.

Os resultados desse trabalho contribuirão para a prática na medida em que permitirão aos gestores e profissionais da segurança operacional terem uma diretriz inicial que permita, nas reuniões de GRSO da equipe multidisciplinar, identificar todos os possíveis perigos que possam surgir antecipadamente à mudança, permitindo a tomada de decisões em forma de ações preventivas que minimizem a possibilidade de ocorrências que venham a comprometer a segurança operacional das aeronaves, tripuladas ou não, tornando mais segura a implementação dessa nova tecnologia.

Algumas limitações deste trabalho devem ser destacadas, pois o estudo foi baseado na opinião de profissionais da segurança operacional destacados, instrutores e de atuação relevantes para a área da segurança operacional e com grande influência na formação de opinião, contudo, existe a limitação de serem poucos no país e quase todos com a formação técnica oriunda da mesma escola técnica. As análises foram específicas e voltadas para a mudança em questão, integração do UTM no ATM, mas é claro a possibilidades de expansão para diversas outras possíveis mudanças futuras.

Como sugestão de pesquisa futura, para que os resultados possam ser generalizados, sugere-se a realização de uma pesquisa buscando aplicabilidade em outras áreas e assuntos correlatos visando a ampliação dos resultados apresentados nessa tese e sendo confirmada, a extrapolação desses dos resultados obtidos para outras eventuais mudanças. Outros estudos também poderão examinar as implicações sociais e econômicas do uso de drones no controle de tráfego aéreo (HU *et al.*, 2020), incluindo a possibilidade de redução dos custos operacionais e aumento da eficiência em aeroportos, bem como a criação de novas oportunidades de negócios e empregos relacionados à tecnologia dos drones, garantindo a segurança das operações aéreas e minimizando os riscos de acidentes.

REFERÊNCIAS

- ABIRI-JAHROMI, A.; FOTUHI-FIRUZABAD, M.; ABBASI, E. An efficient mixed-integer linear formulation for long-term overhead lines maintenance scheduling in power distribution systems. **IEEE transactions on Power Delivery**, v. 24, n. 4, p. 2043-2053, 2009.
- ALHAQBANI, A; KURDI, H; YUCEF-TOUMI, K. Fish-inspired task allocation algorithm for multiple unmanned aerial vehicles in search and rescue missions. **Remote Sensing**, v. 13, n. 1, p. 27, 2020.
- AURELL, J.; GULLETT, B.; HOLDER, A.; KIROS, F.; MITCHELL, W.; WATTS, A.; OTTMAR, R. Wildland fire emission sampling at Fishlake National Forest, Utah using an unmanned aircraft system. **Atmospheric Environment**, v. 247, p. 118193, 2021.
- BARDIN, L. **El análisis de contenido**. Ediciones Akal, 1986
- BESADA, J. A.; CAMPAÑA, I.; BERGESIO, L.; BERNARDOS, A. M.; MIGUEL, G. Drone flight planning for safe urban operations: UTM requirements and tools. In: **2019 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops)**. IEEE, 2019. p. 924-930.
- BOLOURIAN, N; HAMMAD, A. LiDAR-equipped UAV path planning considering potential locations of defects for bridge inspection. **Automation in Construction**, v. 117, p. 103250, 2020.
- BROOKER, P. Air traffic safety: Continued evolution or a new paradigm. **Aeronautical Journal**, v. 112, n. 1132, p. 333-343, 2008.
- BU, J.; ZHANG, H.; HU, M.; LIU, H. Risk Assessment of Unmanned Aerial Vehicle Flight Based on K-means Clustering Algorithm. **Transactions of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics**, v. 37, n. 2, p. 263-273, 2020.
- CLOTHIER, R. A.; PALMER, J. L.; WALKER, R. A.; FULTON, N. L. Definition of an airworthiness certification framework for civil unmanned aircraft systems. **Safety science**, v. 49, n. 6, p. 871-885, 2011.
- CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- DOO, J. T.; PAVEL, M. D.; DIDEY, A.; HANGE, C.; DILLER, N. P.; TSAIRIDES, M. A.; MOOBERRY, J. **NASA Electric Vertical Takeoff and Landing (eVTOL) Aircraft Technology for Public Services – A White Paper**. 2021.
- ERMACORA, G.; ROSA, S.; TOMA, A. Fly4SmartCity: A cloud robotics service for smart city applications. **Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments**, v. 8, n. 3, p. 347-358, 2016.
- FERREIRA, R. B.; BAUM, D. M.; NETO, E. C. P.; MARTINS, M. R.; ALMEIDA, J. R.; CUGNASCA, P. S.; CAMARGO, J. B. A risk analysis of unmanned aircraft systems

(UAS) integration into non-segregate airspace. In: **2018 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)**. IEEE, 2018. p. 42-51.

FORZA, C. Survey research in operations management: a process-based perspective. **International journal of operations & production management**, 2002.

GROTE, M.; PILKO, A.; SCANLAN, J.; CHERRETT, T.; DICKINSON, J.; SMITH, A.; MARSDEN, G. Sharing airspace with Uncrewed Aerial Vehicles (UAVs): Views of the General Aviation (GA) community. **Journal of Air Transport Management**, v. 102, p. 102218, 2022.

HAMISSI, A.; DHRAIEF, A. A Survey on the Unmanned Aircraft System Traffic Management. **ACM Computing Surveys**, v. 56, n. 3, p. 1-37, 2023.

HENDERSON, I. L. Examining New Zealand Unmanned Aircraft Users' Measures for Mitigating Operational Risks. **Drones**, v. 6, n. 2, p. 32, 2022.

HU, X., PANG, B., DAI, F., LOW, K. H. Risk assessment model for UAV cost-effective path planning in urban environments. **IEEE Access**, v. 8, p. 150162-150173, 2020.

ISO, ISO 31000:2018 - Risk Management - Principles and Guidelines, **International Organization for Standardization**, 2018.

ICAO. Manual on remotely piloted aircraft systems (RPAS). **International Civil Aviation Organization**, Montreal, 2015.

_____, S. M. Doc 4444 – Procedures for Air Navigation Services: Air Traffic Management. **International Civil Aviation Organization**. Montreal, 2016a.

_____. Doc 9750-AN/963 – Global Air Navigation Plan 2016–2030. **International Civil Aviation Organization**, Montreal, 2016b.

_____, S. M. Doc 9859, Safety Management Manual (SMM). **International Civil Aviation Organization**. Montreal, 2018.

MUTUEL, L. H.; WARGO, C. A.; DIFELICI, J. Functional decomposition of Unmanned Aircraft Systems (UAS) for CNS capabilities in NAS integration. In: **2015 IEEE Aerospace Conference**. IEEE, 2015. p. 1-17.

JAHANPOUR, E. S.; BERBERIAN, B.; IMBERT, J. P.; ROY, R. NCognitive fatigue assessment in operational settings: a review and UAS implications. **IFAC-PapersOnLine**, v. 53, n. 5, p. 330-337, 2020.

JENSEN, T.; KHAN, M. M. H.; ALBAYRAM, Y.; FAHIM, M. A. A.; BUCK, R.; COMAN, E. Anticipated emotions in initial trust evaluations of a drone system based on performance and process information. **International Journal of Human-Computer Interaction**, v. 36, n. 4, p. 316-325, 2020.

KEYVANFAR, A; SHAFAGHAT, A. Emerging Dimensions of Unmanned Aerial Vehicle's (UAV) 3D Reconstruction Modeling and Photogrammetry in Architecture and Construction Management. ACE: **Arquitectura, Ciudad y Entorno**, 2022.

KLIUS, Y.; IVCHENKO, Y.; IZHBOLDINA, A.; IVCHENKO, Y. International approaches to organizing an internal control system at an enterprise in the digital era. **Economic Annals-XXI**, v. 185, 2020.

KOPARDEKAR, P.; RIOS, J.; PREVOT, T.; JOHNSON, M.; JUNG, J.; ROBINSON, J. E. Unmanned aircraft system traffic management (UTM) concept of operations. In: **AIAA Aviation and Aeronautics Forum (Aviation 2016)**, 2016.

KUENZ, A.; LIEB, J.; RUDOLPH, M.; VOLKERT, A.; GEISTER, D.; AMMANN, N.; WALTHER, H. Live Trials of Dynamic Geo-Fencing for the Tactical Avoidance of Hazard Areas. **IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine**, v. 38, n. 5, p. 60-71, 2023.

LI, W. C.; KEARNEY, P.; ZHANG, J.; HSU, Y. L.; BRAITHWAITE, G. The analysis of occurrences associated with air traffic volume and air traffic controllers' alertness for fatigue risk management. **Risk analysis**, v. 41, n. 6, p. 1004-1018, 2021.

LOPEZ, RAMON. New plans for easing air traffic congestion. **Aerospace America**, v. 39, n. 10, p. 34-36, 2001.

LYKOU, G.; MOUSTAKAS, D.; GRITZALIS, D. Defending airports from UAS: A survey on cyber-attacks and counter-drone sensing technologies. **Sensors**, v. 20, n. 12, p. 3537, 2020.

MACIEJEWSKA, M.; KARDACH, M.; GALANT, M.; FUĆ, P. The risk of hazards analysis in unmanned aerial vehicle flight. **Journal of KONBiN**, v. 49, n. 3, p. 351-374, 2019.

MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D. G.; PRISMA GROUP. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **International Journal of Surgery**, v. 8, n. 5, p. 336-341, 2010.

MUNARETTO, L. F.; CORRÊA, H. L.; CUNHA, J. A. C. Um estudo sobre as características do método Delphi e de grupo focal, como técnicas na obtenção de dados em pesquisas exploratórias. **Revista de Administração da Universidade Federal de Santa Maria**, v. 6, n. 1, p. 9-24, 2013.

NAKANO, D. N. Métodos de pesquisa adotados na engenharia de produção e gestão de operações. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**, 2010.

PEREIRA, A. Pesquisa prática e pesquisa aplicada em educação: reflexões epistemometodológicas. **Revista Educação e Cultura Contemporânea**, v. 20, p. 1-21, ISSN 2238-1279, 2023.

RASIAH, D. ATM risk management and controls. **European Journal of Economics, Finance and Administrative Sciences**, v. 21, n. 2014, p. 161-171, 2010.

REICHE, C.; COHEN, A. P.; FERNANDO, C. An initial assessment of the potential weather barriers of urban air mobility. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, v. 22, n. 9, p. 6018-6027, 2021.

ROWE, G.; WRIGHT, G. The Delphi technique as a forecasting tool: issues and analysis. **International journal of forecasting**, v. 15, n. 4, p. 353-375, 1999.

ROWLEY, Jennifer; SLACK, Frances. Conducting a literature review. **Management research news**, v. 27, n. 6, p. 31-39, 2004.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. P. B. **Metodologia de Pesquisa**. Porto Alegre: Penso, 2013.

SANZ, D.; VALENTE, J.; DEL CERRO, J.; COLORADO, J.; BARRIENTOS, A. Safe operation of mini-UAVs: a review of regulation and best practices. **Advanced Robotics**, v. 29, n. 19, p. 1221-1233, 2015.

SARGHINI, F.; DE VIVO, A. Interference analysis of an heavy lift multirotor drone flow field and transported spraying system. **Chemical Engineering Transactions**, v. 58, p. 631-636, 2017.

SHAIKH, I.; PADHI, P. On the relationship of ex-ante and ex-post volatility: A sub-period analysis of S&P CNX Nifty Index Options. **Journal of Emerging Market Finance**, v. 14, n. 2, p. 140-175, 2015.

SPEIJKER, L. J. P.; LEE, X.; LEIJGRAAF, R. Framework for unmanned aircraft systems safety risk management. **SAE International Journal of Aerospace**, v. 4, n. 2, 2011.

SUBOTIC, B.; OCHIENG, W.; MAJUMDAR, A. Equipment failures in ATC: Finding an appropriate safety target. **The Aeronautical Journal**, v. 109, n. 1096, p. 277-284, 2005.

TIEPOLO, M.; BELCORE, E.; BRACCIO, S.; ISSA, S.; MASSAZZA, G.; ROSSO, M.; TARCHIANI, V. Method for fluvial and pluvial flood risk assessment in rural settlements. **MethodsX**, v. 8, p. 101463, 2021.

ULLRICH, M.; POTHANA, P.; THORNBY, J.; SNYDER, P. e VIDHYADHARAN, S. Determining the Saturation Point for UAV Operations in Airport Environments: A Probabilistic Approach. In: **2024 Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS)**. IEEE, 2024. p. 1-11

VAMVAKAS, P.; TSIROPOULOU, E. E.; PAPAVASSILIOU, S. Risk-aware resource management in public safety networks. **Sensors**, v. 19, n. 18, p. 3853, 2019.

VELAZQUEZ, E.; SANDOVAL, O. A.; TREJO, H.; PALACIOS, A. Low-cost technological strategies for smallholders sustainability: A review. **Journal of technology management & innovation**, v. 15, n. 1, p. 105-113, 2020.

YU, P.; FENNEL, S.; CHEN, Y.; LIU, H.; XU, L.; PAN, J.; GU, S. Positive impacts of farmland fragmentation on agricultural production efficiency in Qilu Lake watershed: Implications for appropriate scale management. **Land Use Policy**, v. 117, p. 106108, 2022.

WALL, T.; MONAHAN, T. Surveillance and violence from afar: The politics of drones and liminal security-scapes. **Theoretical criminology**, v. 15, n. 3, p. 239-254, 2011.

WALLAR, A.; PLAKU, E.; SOFGE, D. A. Reactive motion planning for unmanned aerial surveillance of risk-sensitive areas. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering**, v. 12, n. 3, p. 969-980, 2015.

WANG, C. J.; TAN, S. K.; LOW, K. H. Three-dimensional (3D) Monte-Carlo modeling for UAS collision risk management in restricted airport airspace. **Aerospace Science and Technology**, v. 105, p. 105964, 2020.

WANG, R.; CHEN, B.; QIU, S.; ZHU, Z.; QIU, X. Data assimilation in air contaminant dispersion using a particle filter and expectation-maximization algorithm. **Atmosphere**, v. 8, n. 9, p. 170, 2017.

WANG, W.; AN, B.; YANG, W.; WU, G.; GUO, Y.; ZHU, H.; YAO, T. Process, mechanisms, and early warning of glacier collapse-induced river blocking disasters in the Yarlung Tsangpo Grand Canyon, southeastern Tibetan Plateau. **Science of the Total Environment**, v. 816, p. 151652, 2022.

WELLS, A. T.; RODRIGUES, C. C. **Commercial aviation safety**. 5. Ed. New York: McGraw-Hill, 2003.

ZARÉA, M.; POGNONEC, G.; SCHMIDT, C.; SCHNUR, T.; LANA, J.; BOEHM, C.; RIGAUD, E. First steps in developing an automated aerial surveillance approach. **Journal of Risk Research**, v. 16, n. 3-4, p. 407-420, 2013.

ZHAO, X.; XUE, L.; WHINSTON, B. Managing interdependent information security risks: Cyberinsurance, managed security services, and risk pooling arrangements. **Journal of Management Information Systems**, v. 30, n. 1, p. 123-152, 2013.

ZHANG, Y.; GUO, J. C.; LIAO, J. D. Construction and Research of Safety Management System for Machine Patrol Operation. **Mathematical Problems in Engineering**, v. 2021, p. 1-7, 2021.

ZHANG, J.; ZOU, X.; WU, Q.; XIE, F.; LIU, W. Empirical study of airport geofencing for unmanned aircraft operation based on flight track distribution. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 121, p. 102881, 2020.

ZHENG, X; WANG, F; LI, Z. A multi-UAV cooperative route planning methodology for 3D fine-resolution building model reconstruction. **ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing**, v. 146, p. 483-494, 2018.

APÊNDICE A - Questionário para Pesquisa sobre Gerenciamento de Riscos relacionado à integração do UTM no ATM.

- Após extensa pesquisa bibliográfica nas bases acadêmicas foram levantados os perigos e as considerações sobre a convivência nos espaços aéreos ATS de UAS e aeronaves tripuladas.
- Essa convivência é uma consequência da integração dos espaços aéreos UTM e ATM. Dessa forma como parte do processo de contribuição para que nessa integração sejam mantidos os Níveis Aceitáveis de Segurança Operacional (NADSO) será conduzida a pesquisa abaixo visando a discussão do assunto e apresentação do tema para apreciação da comunidade acadêmica.
- Os temas levantados na literatura são de caráter geral e dessa forma, em alguns aspectos, aparentam não ter conexão com a prestação do ATS, mesmo assim será apresentado para a análise dos especialistas, visando dar uniformidade de análise para todos os aspectos apontados.
- Será garantido o anonimato do especialista.
-

Qual é a sua função atual?

Qual o seu tempo de atuação na área de segurança operacional?

Qual o seu local de trabalho?

Por favor, responda às seguintes afirmações usando a escala Likert de 1 a 5, apresentando sua opinião sobre os temas citados abaixo:

- 1 - Discordo totalmente
- 2 - Discordo parcialmente
- 3 - Neutro/Não tenho opinião
- 4 - Concordo parcialmente
- 5 - Concordo totalmente

a) Colisão de UAS com aeronaves tripuladas:

1. Sobre a possibilidade de Colisão dos UAS com aeronaves tripuladas, é um fator importante e que deve ser considerado durante a prestação do ATS

2. A atualização das normas e manuais relacionados ao ATS ajudaria no arcabouço normativo visando evitar ou mitigar a possibilidade de Colisão dos UAS com aeronaves tripuladas
3. Recursos de tecnologia facilitariam a prestação do ATS visando a prevenção da colisão de UAS com aeronaves tripuladas
4. Treinamento dos ATCO podem ajudar na prevenção da colisão de UAS com aeronaves tripuladas
5. Além das mitigadoras analisadas acima, quais ações deveriam ser acrescentadas visando minimizar a possibilidade de colisão do UAS com aeronaves tripuladas.

b) Colisão de UAS com estruturas no solo:

6. Sobre a possibilidade de Colisão dos UAS com estruturas no solo, é um fator importante e que deve ser considerado durante a prestação do ATS
7. A atualização das normas e manuais relacionados ao ATS ajudaria no arcabouço normativo visando evitar ou mitigar a possibilidade de Colisão dos UAS com estruturas no solo.
8. Recursos de tecnologia facilitariam a prestação do ATS visando a prevenção da colisão dos UAS com estruturas no solo
9. Treinamento dos ATCO podem ajudar a evitar a ocorrência da colisão dos UAS com estruturas no solo
10. Além das mitigadoras analisadas acima, quais ações deveriam ser acrescentadas visando minimizar a possibilidade de colisão do UAS com estruturas no solo.

c) Descumprimento de legislação de tráfego aéreo pelos pilotos de UAS:

11. A possibilidade de descumprimento de legislação de tráfego aéreo por parte dos pilotos de UAS, é um fator importante e que deve ser considerado durante a prestação do ATS
12. A atualização das normas e manuais relacionados ao ATS ajudaria no arcabouço normativo visando facilitar o cumprimento de legislação de tráfego aéreo
13. Recursos de tecnologia facilitariam a prestação do ATS visando a permitir a identificação antecipada do descumprimento de legislação de tráfego aéreo pelos pilotos de UAS.

14. Treinamento dos ATCO podem ajudar a evitar a ocorrência do descumprimento da legislação de tráfego aéreo pelos pilotos de UAS.

15. A instituição da punibilidade, havendo a violação das normas, seria eficiente para evitar esse tipo de evento.

16. Além das mitigadoras analisadas acima, quais ações deveriam ser acrescentadas visando minimizar a possibilidade de descumprimento de legislação de tráfego aéreo.

d) Colisão do UAS com pessoas no solo:

17. A possibilidade colisão de UAS com pessoas no solo, é um fator importante e que deve ser considerado durante a prestação do ATS

18. A atualização das normas e manuais relacionados ao ATS ajudaria no arcabouço normativo visando mitigar a possibilidade de colisão de UAS com pessoas no solo.

19. A utilização de sistemas eletrônicos de controle dos UAS poderia mitigar a ocorrência de colisão de UAS com pessoas no solo.

20. Treinamento dos ATCO podem ajudar a evitar a ocorrência de colisão de UAS com pessoas no solo.

21. Além das mitigadoras analisadas acima, quais ações deveriam ser acrescentadas visando minimizar a possibilidade de colisão do UAS com pessoas no solo.

e) Erros de operação do piloto de UAS:

22. A possibilidade erros de operação do piloto de UAS, é um fator importante e que deve ser considerado durante a prestação do ATS

23. A atualização das normas e manuais relacionados ao ATS ajudaria no arcabouço normativo visando mitigar a possibilidade de erros de operação do piloto de UAS.

24. A utilização de sistemas eletrônicos de controle dos UAS poderia mitigar a ocorrência de erros de operação do piloto de UAS.

25. Treinamento dos ATCO podem ajudar a evitar a ocorrência de erros de operação do piloto de UAS.

26. Além das mitigadoras analisadas acima, quais ações deveriam ser acrescentadas visando minimizar a possibilidade de erros de operação do piloto de UAS interferirem na prestação do ATS.

f) Falhas no sistema UAS.

27. A possibilidade falhas no sistema UAS, é um fator importante e que deve ser considerado durante a prestação do ATS

28. A atualização das normas e manuais relacionados ao ATS ajudaria no arcabouço normativo visando identificar e mitigar eventuais interferências com a prestação do ATS devido a possibilidade falhas no sistema UAS.

29. A utilização de sistemas eletrônicos de controle dos UAS poderia ajudar a identificar e mitigar eventuais interferências com a prestação do ATS devido a possibilidade falhas no sistema UAS.

30. Treinamento dos ATCO podem ajudar a identificar e mitigar eventuais interferências com a prestação do ATS devido a possibilidade falhas no sistema UAS.

31. Além das mitigadoras analisadas acima, quais ações deveriam ser acrescentadas visando minimizar a possibilidade de falhas no sistema UAS interferirem na prestação do ATS.

g) Colisão do UAS com aeronaves não tripuladas:

32. A possibilidade de colisão do UAS com aeronaves não tripuladas, é um fator importante e que deve ser considerado durante a prestação do ATS

33. A atualização das normas e manuais relacionados ao ATS ajudaria no arcabouço normativo visando identificar e mitigar eventuais possibilidade de colisão do UAS com aeronaves não tripuladas.

34. A utilização de sistemas eletrônicos de controle dos UAS poderia ajudar a identificar e mitigar eventuais possibilidade de colisão do UAS com aeronaves não tripuladas.

35. Treinamento dos ATCO podem ajudar a identificar e mitigar eventuais possibilidade de colisão do UAS com aeronaves não tripuladas.

36. Além das mitigadoras analisadas acima, quais ações deveriam ser acrescentadas visando minimizar a possibilidade de colisão do UAS com aeronaves não tripuladas

h) Interferência dos UAS nas comunicações:

- 37. A possibilidade de interferência nas comunicações é um fator importante e que deve ser considerado durante a prestação do ATS
- 38. Recursos de tecnologia facilitariam a prestação do ATS visando a prevenção da Interferência nas comunicações.
- 39. A utilização de sistemas eletrônicos de controle dos UAS poderia ajudar a identificar e mitigar eventuais possibilidade da ocorrência da interferência nas comunicações.
- 40. Treinamento dos ATCO podem ajudar a identificar e evitar a ocorrência da interferência nas comunicações.
- 41. Além das mitigadoras analisadas acima, quais ações deveriam ser acrescentadas visando minimizar a possibilidade da interferência nas comunicações.

Informações adicionais:

- 42. Na sua opinião, quais perigos deveriam ser considerados, e não foram abordados pelos estudos, visando que a integração do UTM no ATM transcorra sem que haja comprometimento do NADSO.
- 43. De maneira genérica, sugira medidas mitigadoras para os perigos apontados acima.

Muito obrigado por participar desta pesquisa! Suas respostas são extremamente valiosas para nossa análise e contribuirão para o avanço do conhecimento nessa área.

APÊNDICE B - Proposta de framework para validação dos especialistas

Com a criação de um espaço aéreo para a gestão das aeronaves não tripuladas (UTM), há a necessidade da integração desse novo espaço aéreo com o já existente para as aeronaves tripuladas (ATM).

Em continuidade à pesquisa, gentilmente respondida pelos senhores e senhoras, foi realizada uma proposta de framework visando orientar e ajudar no processo de GRSO para a mudança referente a integração do UTM no ATM.

Assim consulto a opinião dos senhores sobre a viabilidade da aplicabilidade do framework proposto visando orientar o processo que será realizado pela equipe multidisciplinar. Ressalto que o foco são os serviços prestados pelos órgãos de tráfego aéreo.

A questão básica é:

- 1) É um guia adequado para orientar o trabalho em grupo?
- 2) Poderia ser replicado em outros trabalhos semelhantes de GRSO?

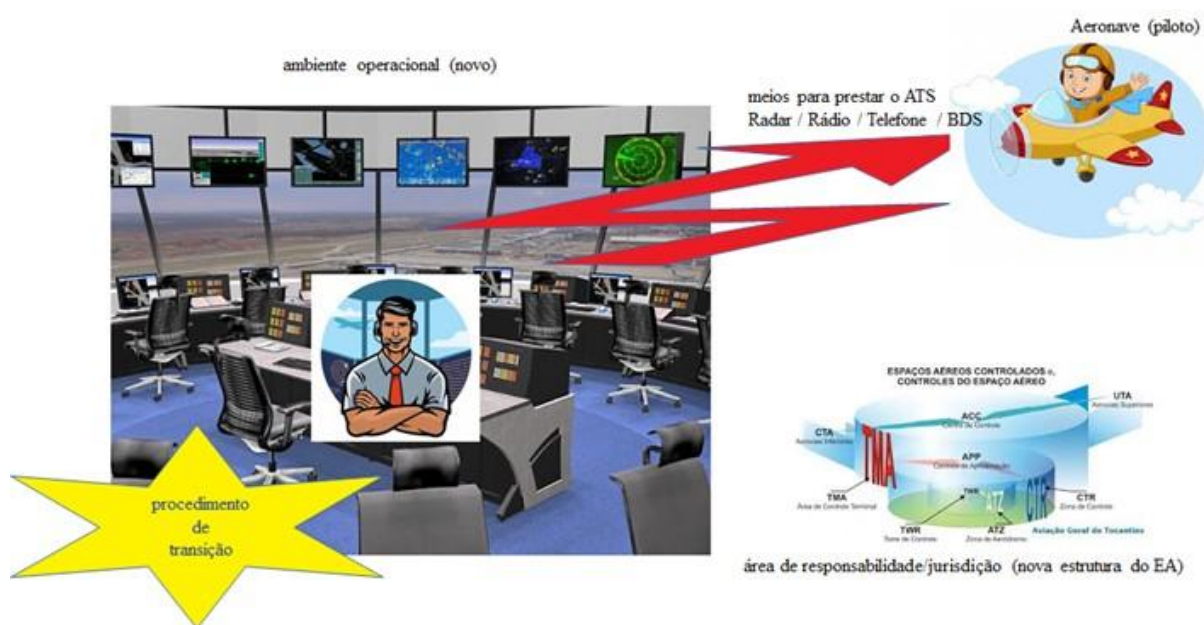
Caso haja concordância consulto enviar um arquivo (áudio ou escrito) visando a finalização do processo. Em havendo alguma consideração a acrescentar, consulto também a possibilidade de encaminhar, pelos meios citados acima as proposições julgadas adequadas visando o ajuste do framework proposto.

Proposta de framework

A integração bem-sucedida de UAV no controle de tráfego aéreo é um grande desafio que requer uma abordagem especializada e multidisciplinar. Com objetivo de criar uma metodologia de análise e avaliação desse sistema complexo e considerando as diversificadas e complexas opiniões dos especialistas consultados o framework representa um passo essencial na direção de uma gestão de riscos eficiente, estabelecendo as bases para a introdução e operação segura e eficaz dos UAV na circulação aérea geral. Essa proposta tem o potencial de facilitar as análises e ações visando a implementação desse novo conceito operacional, considerando especificamente a visão do controle de tráfego aéreo.

Inicialmente é preciso se estabelecer a maneira como funciona o controle de tráfego aéreo e o ambiente operacional. Dessa forma a Figura 7 apresentada o cenário operacional e requer uma compreensão sob a seguinte abordagem metodológica: o Controlador de Tráfego Aéreo (ATCO), os meios que são os equipamentos técnicos necessários para prestação do ATS e os pilotos em suas aeronaves.

Figura 7: Cenário operacional



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 8 resume a proposta sugerida, mas não se restringe à totalidade dos assuntos, uma vez que a equipe multidisciplinar de gerenciamento de risco poderá apresentar propostas adicionais, contudo será distribuída dentro da estrutura geral apresentada.

Figura 8: Proposta de Framework baseado nos levantamentos literários



Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi considerado cada ponto de interação sistêmica como um perigo, que deve ser classificado por grupo de similaridade e aderência de área visando organizar o processo. Dessa maneira, a proposta inicial do framework poderia ser descrita e orientada conforme abaixo:

PERIGO 01: possibilidade de FALHA OPERACIONAL DO ATCO, ou seja, quais as causas poderiam levar o ATCO a falhar.

- Desconhecimento dos novos processos operacionais;
- Desconhecimento da nova configuração do espaço aéreo (ambiente externo);
- Desconhecimento da configuração operacional interna do órgão (ambiente interno);
- Deficiência na normatização interna; e

- e) Aspectos psicológicos decorrentes da mudança.

PERIGO 02: possibilidade de FALHAS DOS MEIOS PARA A PRESTAÇÃO DO SERVIÇO, ou seja, as causas que poderiam levar a falhar os MEIOS de prestação dos serviços.

- a) Falha do equipamento rádio (Serviço Móvel Aeronáutico - SMA);
- b) Falha do equipamento de detecção radar;
- c) Falha do equipamento de telefonia fixa (Serviço Fixo Aeronáutico - SFA);
- d) Deficiência da base de dados (BDS); e
- e) Falta de energia.

PERIGO 03: possibilidade de FALHA DO PILOTO, ou seja, as causas que poderiam provocar uma falha do PILOTO.

- a) Falha na informação e divulgação;
- b) Falta de conhecimento das novas regras; e
- c) Sistemas UAS.