



Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas

Artigos

FREE ROUTE AIRSPACE: UMA NOVA ABORDAGEM PARA ESTRUTURA DE ROTAS NO ESPAÇO AÉREO BRASILEIRO

Fábio Luiz Langowski¹

Pedro Arthur Linhares Lima²

RESUMO

O conceito *Free Route Airspace* (FRA) consiste em um espaço aéreo específico, onde os usuários podem planejar livremente uma rota entre um ponto de entrada definido e um ponto de saída definido, com a possibilidade de rotear por pontos significativos intermediários, sem referência à rede de rotas aéreas. Nesse contexto, o conceito FRA propõe uma configuração de rotas livres e desimpedidas, mais dinâmicas e adaptáveis às necessidades operacionais. No cenário atual, a possibilidade de otimizar a estrutura de rotas, tornando-a mais eficiente e flexível, tem se ampliado com os avanços tecnológicos nos sistemas de navegação aérea e na infraestrutura aeroespacial. Diante disso, este artigo tem como objetivo verificar a estrutura atual do espaço aéreo brasileiro e as perspectivas para aplicação do conceito *Free Route Airspace* (FRA). Para isso, a partir de trabalhos científicos, foram consideradas experiências internacionais, os impactos observados em outros países e os desafios e oportunidades para sua implementação no Brasil. A pesquisa adota uma abordagem exploratória e descritiva, sendo classificada como do tipo bibliográfica e documental, com metodologia de natureza quali-quantitativa.

Palavras-chave: *Free Route Airspace*; Controle de tráfego aéreo; Estrutura de Rotas Aéreas; Rotas Aéreas Otimizadas.

¹ Graduado em Gerenciamento de Tráfego Aéreo pelo Centro de Instrução e Adaptação da Aeronáutica (CIAAR - 2019), graduado em Ciências Aeronáuticas pela Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL - 2015), aluno do curso de mestrado em Ciências Aeroespaciais da Universidade da Força Aérea (UNIFA - 2024), atualmente trabalha no Instituto de Cartografia Aeronáutica. Possui experiência em controle de tráfego aéreo, gerenciamento de espaço aéreo e na elaboração de procedimentos de tráfego aéreo. E-mail: langowskifll@gmail.com.br

² Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ - 2003), Mestre em Ciência da Computação pelo Air Force Institute of Technology (AFIT – 1994), atualmente é professor de nível superior da Universidade da Força Aérea (UNIFA), ministrando a disciplina Fundamentos de Segurança e Defesa Cibernética no Programa de Pós-graduação em Ciências Aeroespaciais da Universidade da Força Aérea (PPGCA). E-mail: linharespall@fab.mil.br

FREE ROUTE AIRSPACE: A NEW APPROACH TO STRUCTURE ROUTES IN BRAZILIAN AIRSPACE

ABSTRACT

The concept of Free Route Airspace (FRA) refers to a specific airspace in which users are allowed to freely plan a route between a defined entry point and a defined exit point, with the possibility of navigating through significant intermediate points, without reference to the conventional air route network. In this context, the FRA concept proposes a configuration of free and unrestricted routes, which are more dynamic and adaptable to operational needs. In the current scenario, the potential to optimize the route structure, making it more efficient and flexible, has increased with technological advancements in air navigation systems and aerospace infrastructure. In this context, this article aims to examine the current structure of Brazilian airspace and the prospects for the application of the Free Route Airspace (FRA) concept. To this end, based on scientific studies, international experiences, the impacts observed in other countries, and the challenges and opportunities for its implementation in Brazil were considered. The research adopts an exploratory and descriptive approach and is classified as a bibliographic and documentary study, with a qualitative-quantitative methodological nature.

Keywords: Free Route Airspace; Air Traffic Control; Air Route Structure; Optimized Air Routes.

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, é notória a importância da Aviação Civil, no que concerne a relevância no desenvolvimento e na atividade econômica de diversos países. Muitos Estados dependem significativamente da indústria da aviação para sustentar e estimular o crescimento econômico, além de auxiliar na prestação de

serviços essenciais às comunidades locais (ICAO, 2005). A evolução constante do transporte aéreo consolidou essa modalidade como segura e rápida, contribuindo para o aumento contínuo do fluxo aéreo. Em 2024, foram registrados aproximadamente 1.935.000 movimentos no espaço aéreo brasileiro, representando um aumento de 7,4% em relação ao ano anterior (CGNA, 2024), evidenciando a crescente importância da aviação civil para a economia e a conectividade global.

Diante do crescente volume de aeronaves em operação no espaço aéreo brasileiro, torna-se indispensável a existência de uma estrutura de rotas e de sistemas que atendam de forma eficiente às necessidades dos usuários, assegurando, simultaneamente, um nível aceitável de segurança operacional. Nesse contexto, e com o intuito de acompanhar a evolução tecnológica dos sistemas de voo e de controle de tráfego aéreo, bem como de responder às demandas específicas do setor, buscam-se medidas que visem à modernização e à otimização da gestão do espaço aéreo nacional.

A otimização do espaço aéreo pode gerar impactos significativos para as companhias aéreas, sobretudo no que se refere à eficiência operacional. Nesse cenário em constante evolução, tanto tecnológica quanto conceitual, surge a necessidade de adoção de novas estratégias de gerenciamento do tráfego aéreo. Entre essas propostas inovadoras, destaca-se o conceito de *Free Route Airspace* (FRA), que vem sendo considerado como uma alternativa promissora para promover ainda mais flexibilidade, economia e sustentabilidade nas operações aéreas.



FRA é um espaço aéreo específico, onde os usuários podem planejar livremente uma rota entre um ponto de entrada definido e um ponto de saída definido, com a possibilidade de rotear por pontos significativos intermediários, sem referência à rede de rotas ATS (Eurocontrol, 2023, p. 283).

O conceito *Free Route Airspace* (FRA), ou Rotas Livres Desimpedidas, pode ser adotado por países ou regiões conforme as diretrizes da Organização

Internacional de Aviação Civil (ICAO), visando tornar o espaço aéreo mais eficiente e flexível. A eficiência buscada com a aplicação do FRA é um dos objetivos estratégicos da ICAO, que prioriza o aumento da capacidade e modernização da infraestrutura de navegação aérea. Além disso, é essencial garantir um sistema de navegação aérea seguro, eficiente e sustentável em níveis global, regional e nacional para manter a vitalidade da aviação civil (ICAO, 2024). Isso requer a implementação de um sistema de gerenciamento de tráfego aéreo que utilize ao máximo os avanços técnicos disponíveis.

No cenário Internacional, principalmente na Europa, o conceito FRA está sendo progressivamente implementado pelo EUROCONTROL, especialmente focado em sua efetivação operacional, com previsão de implementação total até 2030. Análises preliminares realizadas por Nava Gaxiola (2019) demonstram que, nesse contexto, é possível alcançar economias consideráveis: com uma projeção de 32.000 voos diários no ano de 2024, estimou-se uma economia de cerca de 547.000 milhas náuticas percorridas por dia.

Sob esta perspectiva, a implementação deste conceito no espaço aéreo brasileiro ganha relevância. No entanto, pesquisas sobre o tema no contexto nacional ainda são escassas, sobretudo devido às particularidades do espaço aéreo do Brasil, marcado por grandes extensões geográficas, uma circulação complexa e um volume crescente de tráfego aéreo.

Dessa maneira, a presente pesquisa tem como objetivo verificar a estrutura atual do espaço aéreo brasileiro e as perspectivas para aplicação do conceito *Free Route Airspace* (FRA). Para isso, a partir de trabalhos científicos publicados, foram considerados experiências internacionais, impactos observados em outros países, além de desafios e oportunidades para sua implementação no Brasil. A pesquisa adota uma abordagem exploratória e descritiva, sendo classificada como do tipo bibliográfica e documental, com metodologia de natureza quali-quantitativa.

A escolha deste tema justifica-se pela importância de soluções inovadoras e tecnológicas na gestão do espaço aéreo, tendo em vista que as rotas

aéreas impactam diretamente a eficiência operacional das companhias aéreas e o meio ambiente. A implementação do conceito *Free Route Airspace* representa uma oportunidade estratégica para modernizar a estrutura de rotas, promovendo maior flexibilidade, que pode gerar economia de combustível, redução de emissões de gases poluentes e otimização das trajetórias de voo.

2. CONCEITO FREE ROUTE AIRSPACE

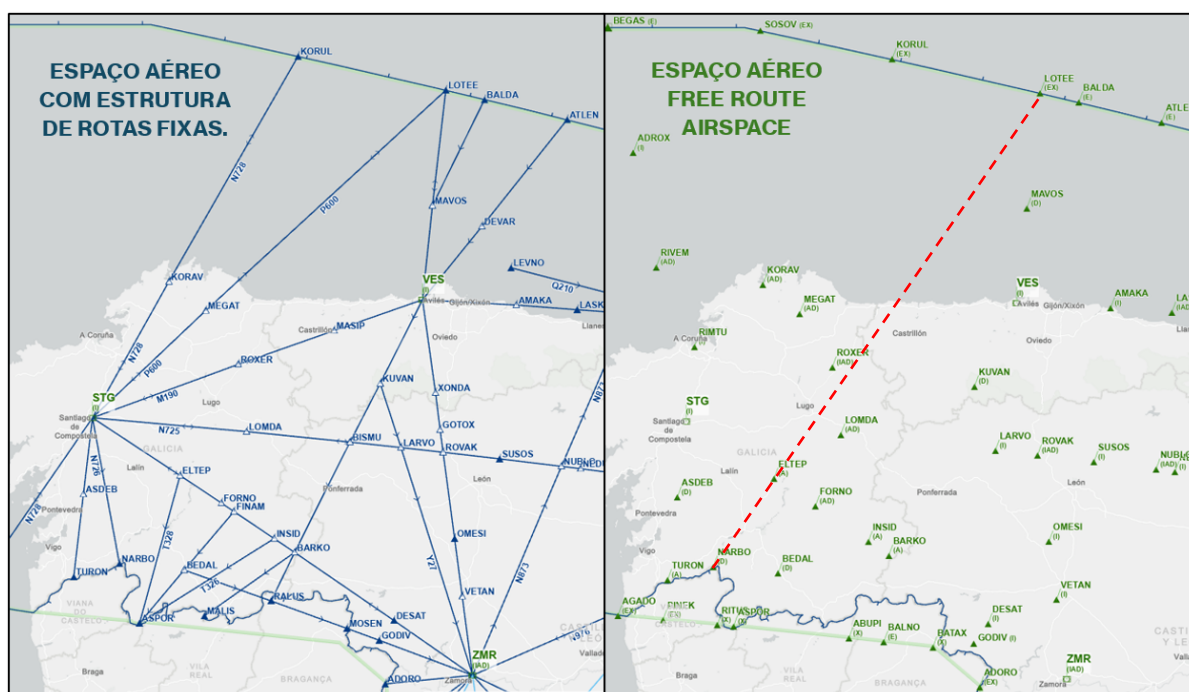
A base para o conceito FRA é que o espaço aéreo passa a ser visto como algo dinâmico, que pode ser usado de maneira flexível. Neste espaço aéreo, as rotas não são mais predeterminadas por aerovias. Os usuários podem planejar livremente uma rota entre um ponto de entrada e um ponto de saída definidos. (EUROCONTROL, 2024). Essa abordagem transforma o gerenciamento do espaço aéreo ao promover maior liberdade na definição de rotas.

Para Pejovic, Lazarovski e Pavlovic (2019), o conceito FRA elimina a necessidade de utilizar a rede de rotas predefinidas, oferecendo maior flexibilidade para o planejamento das trajetórias, enquanto mantém os voos sujeitos ao Controle de Tráfego Aéreo (ATC). Nesta perspectiva, o serviço de controle de tráfego aéreo será prestado independentemente de haver aerovias ou não, sendo que no caso do FRA o Controle é essencial para garantir a evolução e separação dos tráfegos, principalmente em pontos de convergência.

Além disso, conforme destacado por Brussels (2019), a aplicação deste conceito, o Estado deve viabilizar uma coordenação civil e militar em tempo real. Esta preocupação também é necessária, pois para que a utilização do espaço aéreo seja realizada de maneira flexível, os espaços aéreos reservados para aviação militar não seriam mais exclusivos, mas sim utilizados de maneira flexível, por esta razão, a aplicação do conceito FRA está diretamente associada com a aplicação do conceito do Uso Flexível do Espaço Aéreo (FUA).

A figura abaixo demonstra uma porção do espaço aéreo da Espanha com rotas fixas e outra com o conceito FRA.

Figura 1 -Espaço aéreo Rotas Fixas X FRA.



Fonte: ENAIRE, 2025.

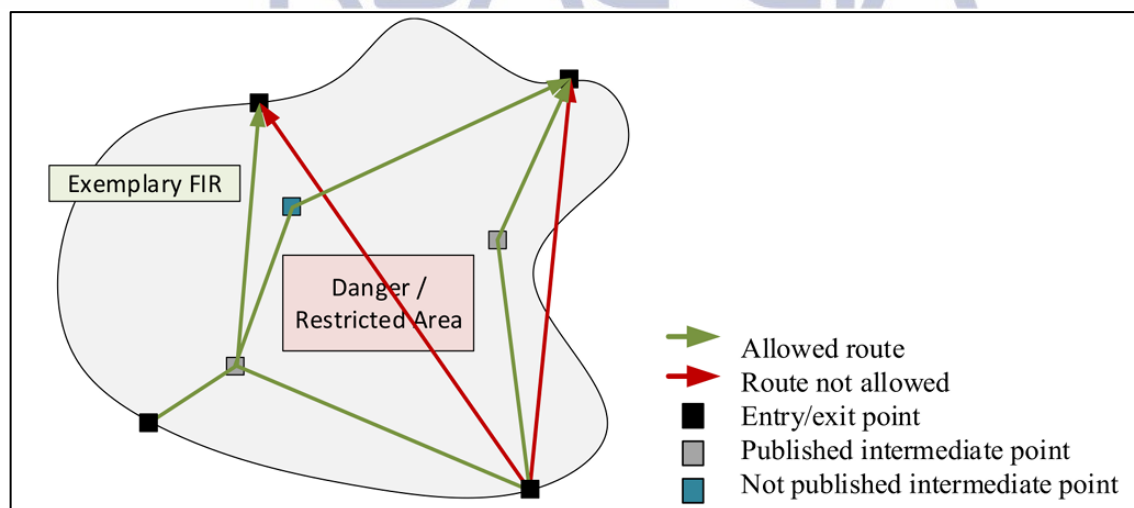
À esquerda, observa-se a estrutura tradicional baseada em rotas fixas em azul, com o uso de aerovias predefinidas. Nesse modelo, as aeronaves devem seguir trajetórias estabelecidas entre pontos específicos, o que pode resultar em percursos menos diretos e maior consumo de combustível.

À direita, a mesma porção do espaço aéreo é representada com a aplicação do conceito de FRA. Nesse modelo, não há aerovias, as aeronaves têm a possibilidade de planejar suas trajetórias utilizando os pontos indicados em verde na carta, podendo assim voar rotas diretas entre os pontos de entrada e

saída do espaço aéreo. Como por exemplo, a linha tracejada em vermelho representa uma possibilidade de trajetória, onde a aeronave ingressa pela NARBO e sai pela posição LOTEE. Diferentemente da estrutura convencional, não há a obrigatoriedade de seguir aerovias fixas, o que pode proporcionar maior flexibilidade e eficiência operacional.

Nesta outra figura abaixo, observa-se a utilização de pontos intermediários no planejamento da rota, evidenciando a necessidade de ajustes devido à presença de espaço aéreo restrito. A rota direta, representada pela linha vermelha, não pôde ser utilizada, demandando um desvio conforme indicado pelas linhas verdes. No contexto do desenho do espaço aéreo baseado no conceito FRA os pontos intermediários devem ser estrategicamente inseridos, permitindo o planejamento eficiente das rotas, mesmo em situações de ativação de áreas restritas. Essa abordagem garante maior flexibilidade e segurança na gestão do tráfego aéreo.

Figura 2 - Pontos intermediários FRA.



Fonte: DUDEK, KRYZKOWSKA-PIOTROWSKA; 2021.

O conceito FRA evolui o entendimento de gerenciamento do espaço aéreo, passando de uma estrutura de rotas fixas para pontos flexíveis no espaço. Contudo, para compreender plenamente sua aplicação e impacto, é essencial verificar os benefícios e as desvantagens que esse modelo traz em diferentes

contextos ao redor do mundo. A seguir serão abordados os resultados dos principais estudos nesta área.

3 FRA EM OUTROS PAÍSES

Um dos principais benefícios do conceito FRA é a flexibilidade, permitindo rotas mais dinâmicas que podem trazer vantagens significativas. No entanto, a aplicação desse conceito varia conforme as com as características específicas de cada Estado, como a dimensão, a complexidade, o volume de tráfego e outras particularidades regionais do espaço aéreo. A seguir, serão elencados os principais pontos positivos e negativos destacados nos trabalhos mais relevantes sobre o tema.

O estudo realizado por ROSENOW et al. (2019) analisou a implementação do conceito FRA no Espaço Aéreo Europeu, o qual constatou uma redução de 10,8% no consumo de combustível e 28% na emissão de CO₂. Da mesma maneira o estudo realizado por Nava-Gaxiola (2019) apresentou uma redução de 85 toneladas de combustível por dia e redução de 266 toneladas de CO₂. Ambos os estudos realizados no espaço aéreo europeu demonstraram benefícios em relação à redução no consumo de combustível e na emissão de CO₂, visto que as duas variáveis estão diretamente ligadas, pois quanto menor o consumo de combustível, menor a emissão de gases poluentes.

No que tange a redução de milhas voadas, o estudo de Vagner-Ferencová no espaço aéreo da Eslováquia, a economia foi de até 1.940 milhas náuticas no total. Da mesma maneira o estudo de Dudoit-Stankunas (2018) no espaço aéreo da Lituânia, Polônia e Kaliningrado a redução média de 6,91 km a 46,52 km, dependendo da origem e do destino. Tais resultados corroboram que não utilizar rotas predeterminadas em alguns casos podem proporcionar rotas aéreas mais curtas.

A análise da carga de trabalho dos controladores de tráfego aéreo (ATCO), considerando o tempo de realização de tarefas, número de conflitos

potenciais e alterações de altitude, rumo e velocidade, indicou uma redução de 5,2% após a implementação do conceito de FRA (Rosenow *et al.*, 2019, p. 170). Essa redução reflete a eficiência do FRA em minimizar a complexidade operacional e otimizar o fluxo de tráfego. Ademais, estudos complementares demonstram que as mudanças implementadas não comprometeram os níveis de segurança operacional, tampouco geraram sobrecarga para os controladores, evidenciando que o sistema é capaz de equilibrar o aumento de tráfego com a manutenção de padrões de segurança e eficiência (Pejovic *et al.*, 2019, p. 7). Esses resultados reforçam o potencial do FRA para transformar a gestão do espaço aéreo, promovendo operações mais seguras e controladas.

Em relação à variável segurança, a qual é essencial em qualquer tipo de modificação no sistema de controle de tráfego aéreo, foram observados tanto pontos positivos quanto negativos. No estudo referente ao espaço aéreo do Norte da Europa (NEFRA), houve uma redução de 35% nas perdas potenciais de separação e uma diminuição de quase 70% no índice de exposição ao risco, destacando a eficácia do FRA em melhorar o desempenho da segurança operacional ao longo de rotas otimizadas (Pejovic, Lazarovski, Pavlovic, 2019, p. 6). Adicionalmente, estudos realizados no Espaço Aéreo Superior da Europa sugerem que, apesar das variações na complexidade do espaço aéreo, a implementação do FRA não comprometeu de forma significativa a segurança, promovendo uma operação mais eficiente e adaptável às demandas do tráfego aéreo (Pejovic; Crnogorac; Netjavsov, 2019, p. 8). Esses resultados reforçam o potencial do FRA para mitigar riscos e otimizar o uso do espaço aéreo.

Por outro lado, a implementação do FRA também apresentou desafios relacionados à segurança, especialmente em cenários com alta demanda de tráfego. No espaço aéreo do *Functional Airspace Block Europe Central* (FABEC), foi observada uma correlação positiva entre o aumento do tráfego, a complexidade e os riscos de perdas potenciais de separação (Pejovic; Crnogorac; Netjavsov, 2019, p. 7). No espaço aéreo superior da Europa, apesar da eficiência geral, verificou-se um aumento nos conflitos potenciais, evidenciando a necessidade de métodos mais

robustos para prever e gerenciar interações no espaço aéreo livre (Pejovic; Crnogorac; Netjavsov, 2019, p. 8). Esses resultados indicam que avanços tecnológicos adicionais são necessários para enfrentar os riscos de segurança associados à previsibilidade das operações em ambientes de alta complexidade.

Diante dos estudos já realizados, é possível observar grandes benefícios, principalmente em relação ao consumo de combustível, emissão de CO₂ e redução de milhas voadas. Esses benefícios variam em termos de mensuração, tendo em vista o tipo de metodologia utilizada e o espaço aéreo a qual foi observado. Já em relação à segurança, com o aumento da complexidade, foi possível verificar um aumento no número de potenciais conflitos e perda na redução de separação.

Considerando os resultados apresentados, a aplicação desse conceito no espaço aéreo brasileiro ganha relevância, ainda mais quando se espera melhoria na eficiência operacional.

4 ESTRUTURAÇÃO DO ESPAÇO AÉREO BRASILEIRO.

4.1 RELAÇÃO BRASIL E ICAO.

Ao tratar de assuntos referentes ao desenvolvimento da aviação civil, ressalta-se a importância global da Organização de Aviação Civil Internacional (ICAO), da qual o Brasil é membro. Esta Organização foi criada na Convenção de Aviação Civil Internacional (CACI), realizada em 1944, cujo principal propósito está previsto em seu preâmbulo.

Considerando que o desenvolvimento futuro da aviação civil internacional pode contribuir poderosamente para criar e conservar a amizade e a compreensão entre as nações e os povos do mundo, mas que seu abuso pode transformar-se em ameaça ou perigo para a segurança geral.

Nesta Convenção, o Brasil assumiu um compromisso internacional ao ser signatário da CACI e, juntamente com outros 51 países, aceitou a criação da Organização de Aviação Civil Internacional (OACI) para tratar dos assuntos referentes ao futuro da aviação. O principal objetivo, conforme Art. 44 da CACI

(1944), é o “desenvolvimento de princípios e técnicas de navegação aérea internacional e a organização e o progresso dos transportes aéreos, de modo a favorecer a segurança, a eficiência, a economia e o desenvolvimento dos serviços aéreos”. Dessa forma, a ICAO nasce com um propósito bem claro, de ordenar e implementar novas técnicas para o progresso da Aviação Civil entre os países membros, para que a operação seja interoperável e com regras uniformes.

Como membro da ICAO, o Brasil segue a agenda e diretrizes dessa organização. A evolução do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB) segue de maneira harmônica e integrada aos planejamentos da ICAO através do Plano Global de Navegação Aérea (GANP), o qual é um documento estratégico que visa impulsionar a evolução do sistema global de navegação aérea.

O GANP oferece uma abordagem metodológica chamada Aviation System Blocks Upgrade (ASBU). Essa metodologia organiza as implementações em blocos sequenciais, com cronogramas definidos e interdependências claras, facilitando a harmonização entre os Estados e as partes interessadas (Canadá, 2019). Além disso, o ASBU fornece diretrizes que consideram as capacidades tecnológicas e operacionais de cada região, promovendo um avanço equilibrado e progressivo.

No cenário nacional, esse processo de modernização é operacionalizado por meio dos projetos estratégicos contemplados no Programa SIRIUS Brasil, iniciativa estruturante do DECEA voltada à transformação e aperfeiçoamento da gestão do espaço aéreo.



O Programa SIRIUS é o instrumento voltado para a evolução do SISCEAB, em resposta às demandas provenientes do crescimento e do aumento da diversidade do tráfego aéreo previsto para as próximas décadas e das evoluções tecnológicas no campo da aviação (DECEA, 2024).

Dessa forma, o Programa SIRIUS Brasil atua como instrumento de operacionalização das diretrizes estabelecidas ASBU. Dentre os módulos contemplados, destaca-se o referente às Operações Aprimoradas por Meio de Trajetórias Aprimoradas (*Flight and Flow Information for a Collaborative*

Environment – FRTO), inserido na área de Tecnologia. É nesse contexto que se insere o conceito de *Free Route Airspace*, o qual propõe uma transição gradual das estruturas tradicionais de navegação aérea para operações baseadas em trajetórias mais flexíveis.

Como processo de evolução e otimização do espaço aéreo, algumas iniciativas foram implementadas no espaço aéreo brasileiro com o passar dos anos. Com a crescente complexidade operacional e as demandas por maior eficiência, o Brasil iniciou um processo de modernização de sua infraestrutura de controle aéreo. Dentro do programa SIRIUS, foi estabelecido o empreendimento chamado Implementação Operacional PBN, cujo objetivo atender a uma série de benefícios operacionais, como o aumento da segurança da navegação aérea e a eficiência no uso do espaço aéreo (DECEA, 2017, p. 3). Essa iniciativa representou um marco na reestruturação das rotas brasileiras, substituindo gradualmente as rotas convencionais por trajetórias baseadas em navegação PBN.

Em outubro de 2017, ocorreu o projeto PBN-SUL, que atualizou a circulação aérea nas Terminais de Controle de Porto Alegre, Florianópolis, Navegantes e Curitiba, abrangendo também todas as rotas que cruzavam as regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do país (DECEA, 2017). De acordo com Pagliarini, Garcia e Henkes (2021), o PBN-SUL trouxe diversos benefícios para a aviação, destacando-se a economia de combustível, a redução na emissão de CO² e a otimização de descidas e subidas em perfis mais eficientes, além de diminuir as distâncias voadas.

Mais recentemente, na perspectiva de melhorar a estrutura de rotas do espaço aéreo brasileiro, o Projeto Eficiência, realizado em 2023 como parte do Programa SIRIUS Brasil, teve como objetivo a reestruturação do espaço aéreo brasileiro. Esse projeto otimizou trajetórias de voo, reduzindo as distâncias percorridas. Foram modificadas 127 aerovias nas Regiões de Informação de Voo (FIR) de Brasília e Recife e 213 procedimentos de navegação aérea. Como resultado, houve uma redução de 73.000 milhas náuticas voadas em um ano,



economizando cerca de 440 toneladas de querosene de aviação e reduzindo 1.340 toneladas de emissões de gás carbônico (DECEA, 2023).

Tais iniciativas fortalecem o processo de melhoria contínua, promovendo a evolução dos sistemas e conceitos conforme as diretrizes da ICAO, especialmente por meio do Programa SIRIUS Brasil.

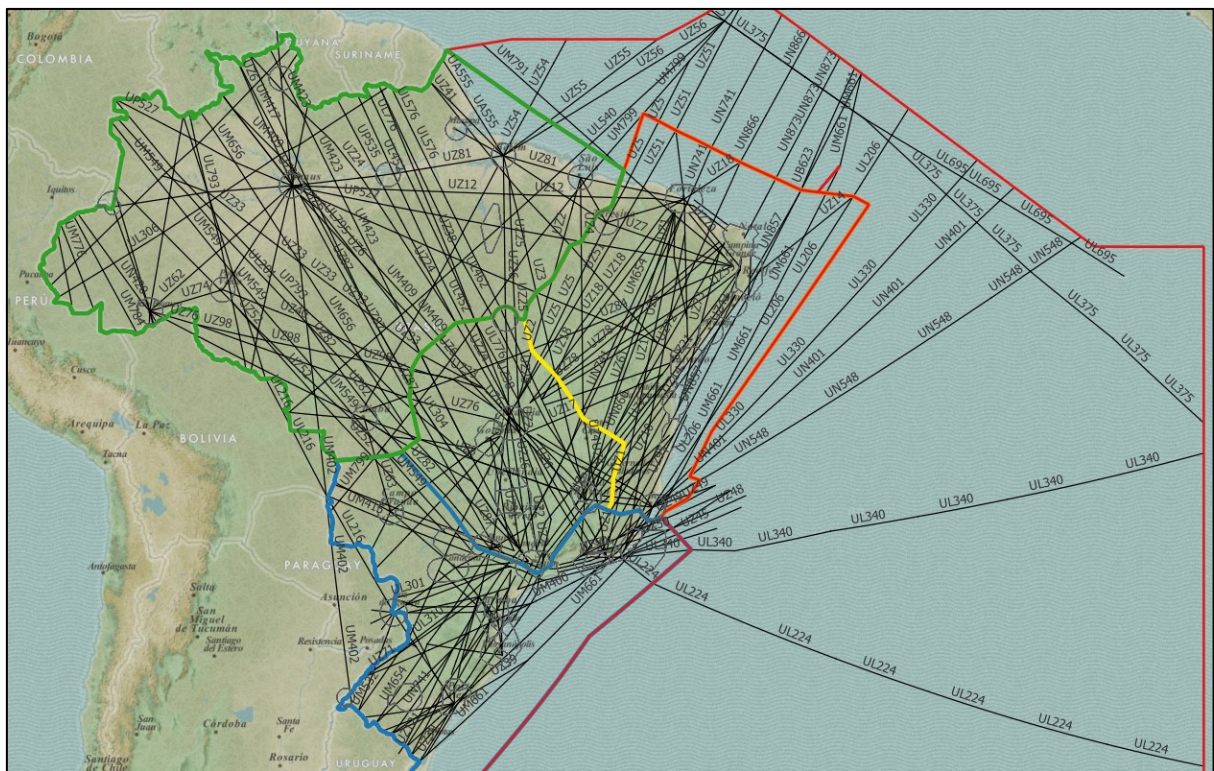
4.2 ESTRUTURA DE ROTAS BRASILEIRAS.

No Brasil, a concepção da estrutura de rotas fica a cargo da Força Aérea, a qual desempenha suas atribuições de maneira dual, cuidando tanto do Controle de Tráfego Aéreo quanto da Defesa Aérea. Os dois componentes-chave para a soberania do espaço aéreo nacional são o Sistema de Defesa Aeroespacial Brasileiro (SISDABRA) e o Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB). O SISDABRA se encarrega das ações de defesa, enquanto o SISCEAB controla o espaço aéreo e realiza atividades de Proteção ao Voo (Brasil, 2020). Apesar de ambos serem independentes, se complementam e funcionam por meio de Sistemas integrados. Os sistemas são compartilhados de maneira a atender as demandas dos dois tipos de funções, ou seja, o desenvolvimento da Aviação Civil acaba por aprimorar os sistemas de navegação, comunicação e vigilância, o que contribui para o sistema como um todo.

No âmbito da estrutura do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB), o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) atua como órgão central, sendo o principal responsável pela coordenação e supervisão do controle do espaço aéreo nacional. Em conjunto com o Instituto de Cartografia Aeronáutica (ICA) e o Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea (CGNA), estabelecem uma rede abrangente e complexa de rotas aéreas para os diversos usuários do espaço aéreo, além de desenvolver e implementar soluções voltadas à otimização e à modernização contínua do sistema.



Figura 3 - Estrutura de rotas fixas do Espaço Aéreo Brasileiro



Fonte: QGIS, 2024.

No contexto do espaço aéreo brasileiro, o planejamento de voo pode ser realizado através dos seguintes tipos de rotas: Rota Preferencial, Rota Preferida do Usuário (UPR) e Rotas Diretas (DCT). Neste sentido, as rotas Preferenciais são planejadas através da estrutura de rotas fixas por meio de aerovias, tais rotas são obrigatórias e publicadas entre localidades específicas ou trechos determinados. Por outro lado, as Rotas Preferidas do Usuário (UPR), são rotas otimizadas estabelecidas por meio de um processo colaborativo entre o gestor do espaço aéreo e os usuários, para proporcionar uma rota mais eficiente. Por fim, as rotas Diretas (DCT) permitem voos diretos utilizando *waypoints* publicados, exigindo pontos de entrada e saída na Região de Informação de Voo (Brasil, 2023).

No que tange às Rotas DCT, elas foram implementadas em 2020 com o objetivo de reduzir custos e tornar o espaço aéreo mais eficiente. Atualmente, grande parte do Espaço Aéreo Brasileiro já utiliza Rotas DCT, para planejamento de voo, conforme área em verde na figura abaixo. Contudo, em regiões com alta complexidade de tráfego e grande demanda, como observado na área da FIR

Apesar desses avanços, o modelo de rotas fixas continua representando um desafio para atender às demandas contemporâneas de eficiência e sustentabilidade. Para Gaxiola (2019), a estrutura rígida das rotas fixas limita as trajetórias possíveis, forçando os voos a seguirem caminhos ineficientes, o que aumenta desnecessariamente a distância percorrida e o consumo de combustível. No caso do espaço aéreo brasileiro, embora os avanços com a navegação PBN tenham sido significativos, ainda existem oportunidades de evolução. A transição de rotas fixas para o conceito de FRA representa o próximo passo na modernização da gestão do espaço aéreo, permitindo operações mais flexíveis e eficientes. No próximo tópico, exploraremos quais são os sistemas necessários para implementação do conceito FRA no espaço aéreo brasileiro.

5 SISTEMAS ESSENCIAIS PARA OPERAÇÃO FRA

Os avanços na Gestão do Espaço Aéreo requerem sistemas tecnológicos com alto grau de maturidade, garantindo a evolução segura e alinhada às diretrizes do ASBU. A implementação dos sistemas previstos em cada bloco de evolução é essencial para a aplicação eficaz do conceito FRA. Caso algum dos sistemas listados a seguir não possa ser implementado, isso poderá representar um obstáculo significativo para a implementação do FRA, comprometendo a modernização e a eficiência do espaço aéreo.

5.1 SETORIZAÇÃO DINÂMICA

A setorização Dinâmica, como elemento do ASBU, faz parte do Módulo Operações Aprimoradas por meio de Trajetórias de Rota Otimizadas (FRTO), o qual trata da otimização do espaço aéreo.

De acordo com o GANP (2025), a ferramenta de setorização dinâmica possibilita o gerenciamento dinâmico de diversas configurações de setor, avaliando continuamente a demanda e a complexidade do tráfego aéreo com base em configurações pré-definidas do ATC. Por meio de um sistema automatizado, são propostas soluções ideais de setorização para otimizar a gestão do espaço aéreo. Assim, é possível modelar em tempo real volumes de espaço aéreo, adicionando e removendo setores, para serem alocados em posições de trabalho que ficarão sob responsabilidade de um controlador de tráfego aéreo.

Gerdes, Temme e Schultz (2016) destacam que “uma setorização adaptativa e mais flexível resultaria numa utilização mais eficiente do espaço aéreo, especialmente em caso de fenômenos meteorológicos significativos, áreas temporariamente restritas (espaços aéreos condicionados, cinzas vulcânicas) ou deficiências operacionais”. Nesse contexto, a setorização dinâmica se alinha diretamente ao conceito de FRA, pois ambos buscam maior flexibilidade na gestão do espaço aéreo. O FRA busca rotas mais eficientes, levando em conta as demandas e particularidades do espaço aéreo no momento do voo, enquanto a setorização dinâmica ajusta os volumes de espaço aéreo conforme a demanda e as condições operacionais. Desse modo, a integração dessas abordagens contribui para um uso mais otimizado do espaço aéreo.

5.2 USO FLEXÍVEL DO ESPAÇO AÉREO (FUA) APRIMORADO E GERENCIAMENTO DE DADOS DO ESPAÇO AÉREO EM TEMPO REAL

Da mesma forma, o Uso Flexível do Espaço Aéreo (FUA) faz parte do ASBU, dentro do módulo FRTO. O conceito de FUA trata o espaço aéreo como um recurso único, acessível a todos os usuários, eliminando a separação rígida entre o espaço aéreo civil e militar. Antes da adoção desse conceito, determinadas áreas eram permanentemente destinadas a usos específicos, impedindo o acesso de outras aeronaves. Como consequência, as rotas precisavam ser desviadas, frequentemente resultando em trajetórias mais longas e ineficientes. Com a

implementação do FUA, é possível otimizar a utilização do espaço aéreo, reduzindo restrições e melhorando a eficiência das operações.

Para Brussels (2019), caso haja necessidade de segregar parte desse espaço aéreo para uso civil ou militar, essa segregação jamais poderá ter caráter permanente. Objetiva-se com isso uma melhor utilização do espaço aéreo por usuários civis e militares. Dessa forma, a utilização do espaço aéreo passa a ser dinâmica e mediante coordenação mediante um processo colaborativo entre os atores envolvidos.

Conforme previsto no GANP (2025), o conceito FUA é aprimorado com o compartilhamento de informações entre os responsáveis pelo gerenciamento do tráfego aéreo (ATM), os usuários do espaço aéreo e o controle de tráfego aéreo (ATC). Os dados sobre o planejamento e a gestão das áreas reservadas do espaço aéreo são trocados e atualizados em tempo real entre os sistemas de gerenciamento. Por conseguinte, a cooperação entre as autoridades civis e militares, além de ser essencial, será fortalecida para garantir um uso mais eficiente do espaço aéreo.

Sendo assim, o sistema de gerenciamento do Espaço Aéreo (ASM) deve ser capaz de realizar a troca automatizada de dados em tempo real. As informações do sistema ASM serão compartilhadas entre os sistemas ASM e os sistemas de Serviço de Tráfego Aéreo e comunicadas à função de rede de Gerenciamento de Tráfego Aéreo nas fases tática e de execução (Canadá, 2025). O sistema será capaz de notificar sobre a ativação, modificação e liberação do espaço aéreo, garantindo que esses dados sejam disponibilizados a outras partes interessadas e usuários do espaço aéreo, promovendo maior eficiência e transparência na gestão.

O conceito FUA permite que áreas anteriormente segregadas, como as de uso exclusivo militar, sejam utilizadas por outras aeronaves quando não estiverem ativas, flexibilizando o espaço aéreo e reduzindo restrições operacionais. Da mesma forma, o conceito FRA aproveita as informações do sistema ASM para identificar em tempo real quais áreas estão ativas ou

desativadas, possibilitando a definição de rotas mais diretas e eficientes, otimizando a gestão do tráfego aéreo.

5.3 INTERCÂMBIO AUTOMÁTICO DE DADOS ENTRE INSTALAÇÕES (AIDC).

O AIDC permite a troca automática de mensagens entre sistemas, dispensando a coordenação de voz entre órgãos ATC. Este sistema representa um avanço significativo na automação, otimizando a coordenação e a transferência de controle entre unidades ATS adjacentes. Dessa forma, garante que todas as informações de voo necessárias estejam disponíveis para o outro órgão conforme o acordo preestabelecido (Canadá, 2025).

Normalmente, durante a transferência de um voo entre órgãos de Controle de Tráfego Aéreo, é essencial que informações, como identificação da aeronave, ponto de entrada, nível de voo e horário estimado de chegada, sejam coordenadas com o órgão ATC adjacente. Essa coordenação é fundamental para manter a fluidez do tráfego aéreo e para que o órgão aceitante avalie e aceite as condições propostas. Geralmente, esse processo é realizado por meio de comunicação de voz entre os controladores, o que aumenta a carga de trabalho e limita o número de voos que podem ser coordenados ao mesmo tempo.

A transição da coordenação por voz para o intercâmbio de dados entre órgãos ATC adjacentes representa um avanço significativo na gestão do tráfego aéreo. Essa abordagem permitirá a troca simultânea de informações de múltiplos voos de forma mais rápida e confiável, minimizando erros e aliviando a carga de trabalho dos controladores. No contexto do FRA, o intercâmbio de dados automatizado facilitará as coordenações, principalmente caso seja necessário modificações na rota em função de mudanças no espaço aéreo durante a evolução do tráfego.

5.4 FERRAMENTAS APRIMORADAS DE DETECÇÃO DE CONFLITOS E MONITORAMENTO DE CONFORMIDADE

O sistema de detecção de conflitos é essencial para apoiar os Controladores de Tráfego Aéreo (ATCO) na identificação e resolução de conflitos entre aeronaves. O termo conflito refere-se a perda da separação regulamentar entre duas ou mais aeronaves (ICAO, 2006). Segundo Rytter e Skorupski (2017), os ATCO contam com o suporte de diversos sistemas técnicos, incluindo os de detecção e resolução de conflitos, cuja principal função é identificar situações de perda da separação mínima entre aeronaves. A necessidade desses sistemas torna-se ainda mais evidente com a implementação do conceito FRA, no qual as aeronaves não seguem trajetórias fixas ao longo de aerovias predefinidas. Como resultado, os pontos de conflito deixam de ser fixos e evidentes, exigindo um sistema capaz de detectar potenciais conflitos em um ambiente dinâmico e sem referências estáticas.

Para garantir a eficiência operacional e reduzir a carga de trabalho dos Controladores de Tráfego Aéreo, o sistema de detecção de conflitos deve integrar funcionalidades de Detecção de Conflitos de Médio Prazo (MTCD) e Alerta de Monitoramento (MONA). O MTCD opera em um horizonte de planejamento de até 20 minutos, ou seja, a trajetória da aeronave é projetada de acordo com várias possibilidades e caso haja possíveis pontos de colisão o ATCO é alertado. Essa funcionalidade permite que os ATCO se concentrem nos conflitos prováveis dentro do período predefinido, filtrando e descartando detecções com menor probabilidade de ocorrência, otimizando assim o processo de tomada de decisão (Canadá, 2025).

Por conseguinte, em um cenário sem aerovias, a função MONA torna-se indispensável. Essa funcionalidade permite que o sistema identifique desvios da trajetória planejada e forneça alertas, mensagens ou notificações ao controlador de tráfego aéreo decisão (Canadá, 2025). Dessa forma, o ATCO pode detectar

rapidamente eventuais variações na rota da aeronave e tomar as medidas corretivas necessárias para garantir evolução segura do fluxo de tráfego aéreo.

Dessa forma, observa-se que, diferentemente do espaço aéreo estruturado com Rotas DCT, a aplicação do conceito FRA exige a adoção de sistemas mais avançados de gestão do espaço aéreo, que garantam a manutenção da segurança operacional. Esses sistemas, além de viabilizarem a implementação do FRA, também contribuem para a evolução do sistema de controle de tráfego aéreo como um todo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve como objetivo verificar a estrutura atual do espaço aéreo brasileiro e as perspectivas para aplicação do conceito *Free Route Airspace* (FRA), à luz de experiências internacionais, dos impactos observados em outros países e dos principais desafios e oportunidades relacionados à sua implementação no Brasil. Para isso, o ponto de partida foi a apresentação do conceito de FRA, seguida da análise dos resultados de sua aplicação no cenário internacional. Em seguida, foi apresentada uma visão geral da estrutura do espaço aéreo brasileiro, destacando como suas modificações e a evolução dos conceitos operacionais seguiram diretrizes da ICAO, através do Plano de Navegação Global, por meio do ASBU. Além disso, foi destacada a importância do Programa SIRIUS no Brasil, o qual operacionaliza as propostas de modernização e evolução previstas pela ICAO.

A análise dos estudos no âmbito internacional, especialmente no espaço aéreo europeu, demonstra os ganhos operacionais e ambientais obtidos com a implementação do conceito FRA. Os estudos revisados evidenciam redução no consumo de combustível, nas emissões de CO₂ e nas distâncias percorridas pelas aeronaves, o que reforça a eficiência deste conceito. Adicionalmente, os resultados indicam que a aplicação do FRA pode contribuir para a diminuição da

carga de trabalho dos controladores de tráfego aéreo, sem comprometer os níveis de segurança operacional. No entanto, em regiões de tráfego intenso, a complexidade e os riscos de perdas potenciais de separação aumentaram, tal fato reforça a necessidade de sistemas que garantam previsibilidade e segurança em ambientes de alta complexidade.

No âmbito nacional, grande parte da estrutura de rotas já opera em espaço aéreo com Rotas DCT e tem demonstrado ganhos significativos em relação ao consumo de combustível, milhas voadas e emissão de CO₂. No entanto, na Região de Brasília e em uma pequena porção do espaço aéreo sob jurisdição da FIR Recife, ainda são utilizadas rotas preferenciais e rotas UPR. Essa escolha se justifica pela maior complexidade e demanda de tráfego nessas regiões, onde a previsibilidade proporcionada por tais rotas contribui para a manutenção da segurança operacional.

As Rotas DCT são consideradas o estágio inicial rumo à futura adoção do conceito FRA. Sua implementação, no espaço aéreo brasileiro, não exigiu alterações significativas na infraestrutura ou o uso de novas tecnologias, uma vez que se baseou nos recursos já existentes. Por outro lado, a aplicação do FRA requer a incorporação de sistemas mais avançados, conforme previsto no planejamento da ICAO, com o objetivo de aumentar a eficiência e garantir a segurança operacional. Sem esses recursos, não é possível avançar de forma segura e efetiva na adoção do conceito FRA.

Desta forma conclui-se, que a adoção do conceito FRA no Brasil, pode trazer benefícios, porém deve ocorrer de forma gradual e planejada, respeitando as particularidades do espaço aéreo de cada Região de Informação de voo (FIR). Para suprir os pontos de preocupação devem ser feitos avanços nos sistemas, que ajudem na vigilância, principalmente da detecção de conflitos e monitoramento do tráfego.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Comando da Aeronáutica. **Plano de Implementação ATM Nacional**. PCA 351-3. 2021.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. **Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira**. Volume I. DCA 1-1. 2020.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. **Concepção Operacional ATM Nacional**. DCA 351-2. 2021.

BRUSSELS. European Organization for the Safety of Air Navigation. **European Route Network Improvement Plan – Part 3: Airspace Management Handbook, Procedures for Airpace Management**. Brussels: Eurocontrol, 2019.

CGNA (Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea). **Anuário Estatístico de Tráfego Aéreo 2024**. Rio de Janeiro: CGNA, 2024.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO. **DECEA implementa Projeto Eficiência de Rotas**. Disponível em: https://www.decea.mil.br/?i=midia-e-informacao&p=pg_noticia&materia=decea-implementa-projeto-eficiencia-de-rotas. Acesso em: 19 jul. 2024.

DECEA – Departamento do Controle do Espaço Aéreo. **Reestruturação da Circulação Aérea das Áreas De Controle Terminal (TMA) de Curitiba, Florianópolis, Porto Alegre e do ACC-CW com Aplicação do Conceito de Navegação Baseada em Performance na Região Sul (PBN-Sul) e Entrada no Setor Oeste da TMA São Paulo**. Circular de Informação Aeronáutica – AIC N 31/17, 02/10/2017. Comando da Aeronáutica, 2017.

DUDEK, Ewa; KRZYKOWSKA-PIOTROWSKA, Karolina. **Does Free Route Implementation Influence Air Traffic Management System? Case Study in Poland**. *Journal of Transportation Engineering and Management*, 2021.

ENAIRE. **Insignia - AIP Espanha**. Disponível em: <https://insignia.enaire.es/?locale=en&TYPE=FRA>. Acesso em: 3 maio 2025.

EUROCONTROL. ERNIP Part 1: **European Airspace Design Methodology Guidelines - General Principles and Technical Specifications for Airspace Design**. Edição: 2.7. 2023.

GAXIOLA, César Antonio Nava. **The future of free route in the European airspace: A study quantifying the cost-benefits and safety-cost of its implementation**. Novembro 2019.

GERDES, I.; TEMME, A.; SCHULTZ, M. **Dynamic Airspace Sectorization using Controller Task Load**. Braunschweig, Alemanha: Institute of Flight Guidance, DLR, 2016.

ICAO. **Global Air Traffic Management Operational Concept**. Doc 9854, AN/458. First Edition, 2005.

ICAO. **International Civil Aviation Organization**. Convention on International Civil Aviation, Art. 44. Disponível em: <https://www.icao.int/publications/pages/doc7300.aspx>. Acesso em: 15 jul. 2024.

ICAO. **Manual on Global Performance of the Air Navigation System**. Doc 9883. First Edition, 2009.

ICAO. **Organização da Aviação Civil Internacional. Plano Global de Navegação Aérea – GANP: Documento 9750**. 7. ed. Montreal: ICAO, 2022. Disponível em: <https://www4.icao.int/ganportal/>. Acesso em: 13 abr. 2025.

PAGLIARINI, Anderson Marques; GARCIA, Cleo Marcus; HENKES, Jairo Afonso. **O impacto da implementação da navegação baseada em performance para as rotas mais voadas do sul do Brasil**. *R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis*, v. 1, n. 2, p. 63-82, maio. 2021.

PEJOVIC, Tamara; LAZAROVSKI, Antonio; PAVLOVIC, Goran. **Impact of Free Route Airspace Implementation on Safety Performance: Ex-post Analysis of Northern Europe Free Route Airspace (NEFRA)**. EUROCONTROL, Brussels, Belgium, 2019.

PEJOVIC, Tamara; LAZAROVSKI, Antonio; PAVLOVIC, Goran. **Impact of free route airspace implementation on safety performance: Ex-post analysis of Northern Europe free route airspace (NEFRA)**. Brussels: EUROCONTROL, 2019.

PEJOVIC, Tamara; NETJASOV, Fedja; CRNOGORAC, Dusan. **Analysis of Relationship between Air Traffic Demand, Safety and Complexity in FABEC Airspace**. Presented at 9th SESAR Innovation Days, Athens, Greece, 2-5 December, 2019.

PEJOVIC, Tamara; CRNOGORAC, Dusan; NETJASOV, Fedja. **Influence of FRA implementation on Traffic, Safety, Complexity and Workload in MUAC Airspace**. EUROCONTROL, Aviation Intelligence & Performance Review, Brussels, Belgium, 2019.

RYTTER, Adam; SKORUPSKI, Jacek. **The Concept of Initial Air Traffic Situation Assessment as a Stage of Medium-Term Conflict Detection**. Warsaw: Faculty of Transport, Warsaw University of Technology, 2017.

ROSENOW, J.; FRICKE, H.; LUCHKOVA, T.; SCHULTZ, M. **Impact of Optimised Trajectories on Air Traffic Flow Management.** *The Aeronautical Journal*, v. 123, n. 1260, p. 157-173, 2019.

VAGNER, Juraj; FERENCOVÁ, Miroslava. **The Implementation of Free Route Airspace (FRA) in Slovakia.** *Magazine of Aviation Development*, v. 6, n. 4, p. 23-27, 2018.

