



# Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas

Artigos

## MODERNIZAÇÃO DO ESPAÇO AÉREO BRASILEIRO: UM ESTUDO SOBRE O SISTEMA CNS/ATM

Kaius Lucena Costa de Araújo<sup>1</sup>

Raul Bonadia Rodrigues<sup>2</sup>

### RESUMO

O aumento da complexidade do tráfego aéreo tem impulsionado a modernização do gerenciamento do espaço aéreo por meio do arcabouço CNS/ATM. Este artigo analisa a implementação brasileira, com foco no programa SIRIUS-BR e nas tecnologias ADS-B, CPDLC, PBN e GBAS, bem como na digitalização de dados (AIXM) e na integração via SWIM. A pesquisa, de caráter qualitativo e exploratório, fundamenta-se em análise documental (AICs do DECEA publicadas entre 2024 e 2025; DCA 351-7/2025), relatórios internacionais (ICAO GANP 2023; SESAR 2024–2025; FAA NextGen 2024–2025; EUROCONTROL 2024) e literatura científica recente (2022–2025) sobre segurança cibernética, carga de trabalho e automação adaptativa. Os resultados indicam avanços concretos, como o cronograma para operacionalização do ADS-B, a expansão do CPDLC no espaço aéreo continental, a consolidação do PBN e a disponibilização de dados em AIXM. Entre os benefícios, destacam-se a maior previsibilidade operacional, a redução de erros de comunicação, a ampliação da cobertura de vigilância em áreas remotas e ganhos ambientais associados a CCO/CDO e TBO. Persistem, entretanto, desafios em cibersegurança, integração de sistemas e gestão do fator humano. Recomenda-se fortalecer a integração internacional, robustecer a governança de segurança cibernética e consolidar métricas padronizadas de desempenho.

**Palavras-chave:** CNS/ATM; SIRIUS-BR; ADS-B; CPDLC; PBN; Cibersegurança.

<sup>1</sup> Bacharel em Ciências Aeronáuticas pela PUC Goiás, com experiência sólida em operações na Amazônia, região que demanda elevado preparo técnico, disciplina e tomada de decisão em cenários

desafiadores. Mais de 7.000 horas totais de voo, sendo 6.300 horas no Boeing 737. PUC/GO. E-mail: [cmtekaius@hotmail.com](mailto:cmtekaius@hotmail.com)

<sup>2</sup> Piloto e pesquisador em segurança operacional, bacharel em Aviação Civil pela Universidade Anhembi Morumbi (2016), com especialização em Segurança da Aviação e Aeronavegabilidade Continuada pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA (2016) e MBA em Liderança, Gestão de Equipes e Produtividade pela PUC-RS (2025). Membro da Royal Aeronautical Society (RAeS), possui licenças de piloto emitidas pela FAA e pela ANAC. American Society for Quality, Education Division. E-mail: [raul.bonadia@outlook.com](mailto:raul.bonadia@outlook.com)

## **MODERNIZATION OF BRAZILIAN AIRSPACE: A STUDY ON THE CNS/ATM SYSTEM**

### **ABSTRACT**

*The increasing complexity of air traffic has driven the modernization of airspace management through the CNS/ATM framework. This article analyzes the Brazilian implementation, focusing on the SIRIUS-BR program and technologies such as ADS-B, CPDLC, PBN, and GBAS, as well as the digitalization of aeronautical information (AIXM) and integration through SWIM. The study, of qualitative and exploratory nature, is based on documentary analysis (DECEA AICs published between 2024 and 2025; DCA 351-7/2025), international reports (ICAO GANP 2023; SESAR 2024–2025; FAA NextGen 2024–2025; EUROCONTROL 2024) and recent scientific literature (2022–2025) addressing cybersecurity, workload, and adaptive automation. The results indicate concrete advances, such as the regulatory schedule for ADS-B operationalization, the expansion of CPDLC in continental airspace, the consolidation of PBN, and the provision of data in AIXM format. Among the main benefits are enhanced operational predictability, reduction of communication errors, expanded surveillance coverage in remote areas, and environmental gains associated with CCO/CDO and TBO. However, challenges remain regarding cybersecurity, system integration, and human factors management. The study recommends strengthening international integration, reinforcing cybersecurity governance, and consolidating standardized performance metrics.*

**Keywords:** CNS/ATM; SIRIUS-BR; ADS-B; CPDLC; PBN; Cybersecurity.

## **1 INTRODUÇÃO**

A densidade e a variabilidade do tráfego aéreo mundial vêm aumentando de forma contínua, ao passo que a sociedade exige níveis cada vez mais elevados de

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 5, n. 4, p. 106-118, ago/set. 2025.

segurança, pontualidade e sustentabilidade. Para responder a esse desafio, a Organização da Aviação Civil Internacional (OACI/ICAO) consolidou, ao longo das últimas décadas, o arcabouço CNS/ATM, que combina comunicação digital, navegação baseada em performance, vigilância cooperativa e uma gestão do tráfego orientada por dados e por desempenho. No Brasil, o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) estrutura a evolução do SISCEAB por meio do Programa SIRIUS-BR, com ênfase na implementação de tecnologias como ADS-B, CPDLC, PBN e GBAS, na disseminação do modelo AIXM e na adoção de práticas de colaboração e integração compatíveis com iniciativas internacionais como o NextGen (EUA) e o SESAR (UE). Este estudo busca sintetizar, com base em fontes oficiais e na literatura acadêmica recente, os impactos da modernização na segurança operacional, na carga cognitiva de operadores e na eficiência do tráfego aéreo, além de discutir implicações ambientais e de governança.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

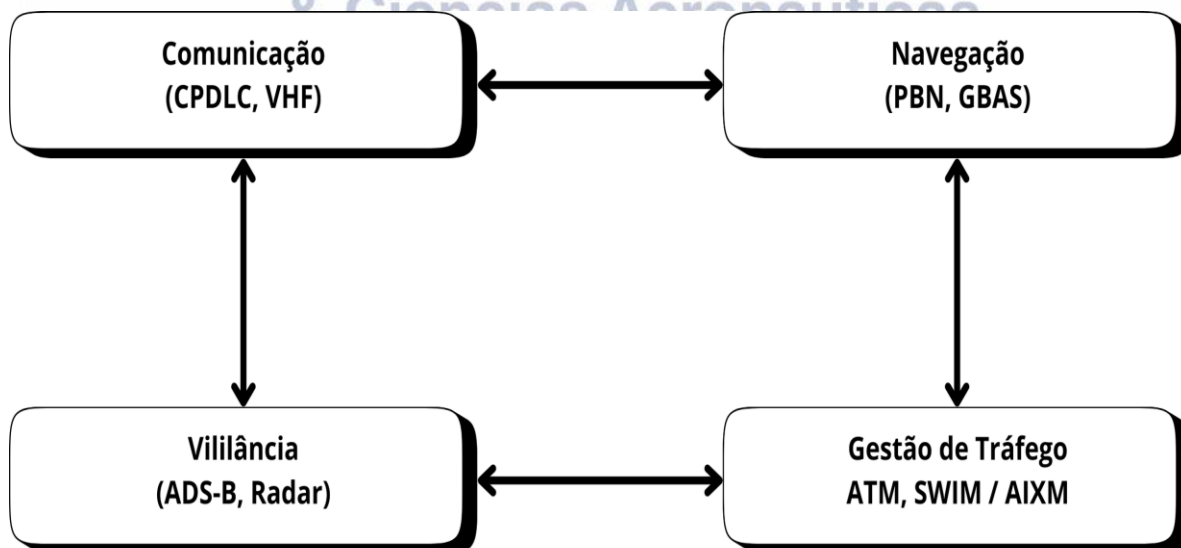
A revisão de literatura focaliza três eixos: (i) adoção tecnológica e interoperabilidade; (ii) segurança cibernética e resiliência; (iii) fator humano e automação. No primeiro eixo, documentos estratégicos recentes – como o ICAO Global Air Navigation Plan (GANP, 7ª edição, 2023), o European ATM Master Plan (2024/2025) e os relatórios NextGen (FAA, 2024/2025) – descrevem a transição para operações baseadas em trajetória (TBO), a consolidação do PBN/CCO/CDO e a digitalização de dados e serviços (SWIM). No segundo eixo, pesquisas de 2022 a 2025 destacam vulnerabilidades do ADS-B e os requisitos de autenticação e integridade para o CPDLC, propondo soluções de detecção de ataques, criptografia e modelos de aprendizado de máquina.

No terceiro eixo, estudos da EASA sobre fadiga dos controladores (2024) e trabalhos sobre detecção de carga cognitiva com fNIRS/EEG reforçam a necessidade de automação adaptativa e de desenho de interfaces que mantenham o operador no ciclo de decisão. Em paralelo, a literatura aponta que benefícios operacionais dependem de padronização, treinamento e métricas de performance consistentes.

### 3 METODOLOGIA

A pesquisa é qualitativa, exploratória e descritiva. A coleta de dados compreendeu: (a) análise documental de publicações oficiais do DECEA (AICs 20/2024 – AIXM; 28/2024 – PBN; 68/2024 – ADS-B; 83/2024 – CPDLC) e da Diretriz DCA 351-7 (2025); (b) relatórios internacionais (ICAO, EUROCONTROL, SESAR, FAA) publicados entre 2022 e 2025; (c) artigos acadêmicos e relatórios técnicos de 2022–2025 em bases como IEEE Xplore, ScienceDirect, ACM, MDPI e repositórios institucionais; (d) notas e portais oficiais de desempenho/ATFM. Foram priorizados estudos com evidência empírica ou diretrizes operacionais.

Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas  
Figura 1 – Estudos priorizados



A análise seguiu uma abordagem temática em três dimensões (segurança operacional e cibersegurança; fator humano; eficiência/ambiente), com triangulação entre documentos oficiais, literatura e estudos de caso.

## 4 RESULTADOS E AVALIAÇÃO

### 4.1 ADS-B E VIGILÂNCIA COOPERATIVA

As publicações oficiais brasileiras de 2024 consolidam a operacionalização do ADS-B no espaço aéreo brasileiro, com definição de requisitos técnicos, avaliação de cobertura, fases de implantação e cronograma regulatório. Em especial, formaliza-se a obrigatoriedade do ADS-B OUT compatível com DO-260B (1090ES) acima do FL245 a partir de fevereiro de 2027, com diretrizes para o registro de aeronaves e para exceções operacionais. Essa medida endereça lacunas de vigilância em regiões remotas, melhora a consciência situacional e viabiliza separações mais eficientes.

### 4.2 CPDLC NO ESPAÇO AÉREO CONTINENTAL

A expansão do CPDLC para setores continentais no Brasil segue plano em fases, com ênfase em enlaces VDL Modo 2 e SATCOM, procedimentos de logon e fallback por voz, e requisitos mínimos de equipamento. A adoção do CPDLC é consistente com experiências europeias e norte-americanas, nas quais se observam reduções de erros de leitura/“*readback*” e maior eficiência no gerenciamento tático.

### 4.3 PBN E PROCEDIMENTOS CCO/CDO

O Brasil atualizou diretrizes de PBN em 2024, enfatizando benefícios operacionais e ambientais (trajetórias mais curtas, perfis verticais otimizados, redução de vortagem radar e de emissões). A consolidação de STAR/SID RNAV1/RNP1 e de

aproximações RNP AR tende a elevar a previsibilidade do fluxo e a capacidade das TMA mais complexas.

#### 4.4 DIGITALIZAÇÃO DE DADOS AERONÁUTICOS (AIXM) E RUMO AO SWIM

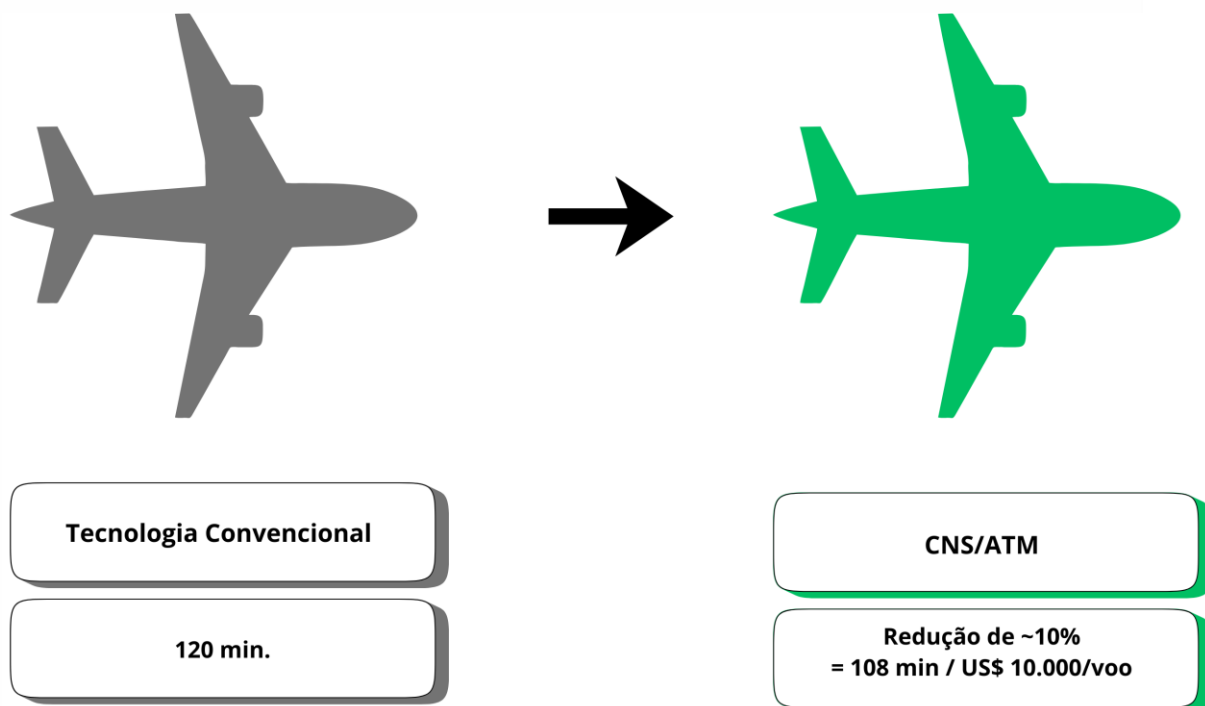
A disponibilização de dados AIXM 5.1 para download e visualização pública representa um passo crucial rumo ao ecossistema SWIM, permitindo a interoperabilidade com ferramentas de planejamento, análise de desempenho e aplicações de terceiro.

#### 4.5 DIRETRIZES ESTRATÉGICAS ATÉ 2040 (DCA 351-7/2025)

A Diretriz de 2025 alinha a evolução do SISCEAB às recomendações da OACI e estabelece prioridades para segurança, eficiência, resiliência e sustentabilidade, com enfoque em performance e integração tecnológica. Ela amarra iniciativas de UAM/eVTOL, gestão de informação aeronáutica, operações baseadas em trajetória e governança de cibersegurança.

ISSN 2763-7697

Figura 2 – Comparação de tecnologias



Fonte: ICAO – Global Air Navigation Plan (GANP, 7º Ed. 2023);  
RAND Corporation (2009).

\*Valores ilustrativos para fins comparativos com base nos estudos.

#### 4.6 INDICADORES E DESEMPENHO

Relatórios recentes de desempenho e documentos de rede (EUROCONTROL) reforçam a necessidade de métricas padronizadas para atrasos, eficiência vertical (CCO/CDO), emissões e previsibilidade. No Brasil, consolidam-se painéis e boletins de performance, e o CGNA mantém *briefings* táticos diários de ATFM, que dão transparência à gestão de demanda/capacidade.

## 5 DISCUSSÃO: INTEGRAÇÃO, CIBERSEGURANÇA E FATOR HUMANO

### 5.1 INTEGRAÇÃO E INTEROPERABILIDADE

Os maiores ganhos do CNS/ATM emergem quando comunicações, navegação, vigilância e gestão de informação operam de forma integrada. As iniciativas SESAR/NextGen mostram que TBO, SWIM e A-CDM reduzem ineficiências sistêmicas, mas exigem padronização, governança de dados e interfaces abertas. A agenda brasileira aponta nessa direção com PBN, AIXM e CPDLC, mas requer investimentos e coordenação interinstitucional.

### 5.2 CIBERSEGURANÇA APLICADA AO ATM

A difusão de tecnologias sem fio e de dados abertos expõe superfícies de ataque. Trabalhos recentes destacam vulnerabilidades do ADS-B (falsificação de alvos, injeção/"ghosts", deriva de velocidade) e demandam camadas de detecção e correlação multi-sensor. Para o CPDLC, há propostas de protocolos robustos de autenticação e troca de chaves, além de abordagens com aprendizado federado para detecção de anomalias.

Em paralelo, a União Europeia avança com Part-IS (EASA) e marcos como a Diretiva NIS2, pressionando ANSPs a formalizar gestão de riscos, cadeia de suprimentos e resposta a incidentes. Recomenda-se instituir um Centro de Operações de Segurança (SOC) dedicado ao ATM brasileiro, com testes de penetração periódicos, 'red teaming' e integração com CERTs nacionais.

### 5.3 FATOR HUMANO, FADIGA E AUTOMAÇÃO ADAPTATIVA

A literatura recente indica prevalência baixa a moderada de fadiga entre ATCOs europeus, com riscos concentrados em jornadas noturnas e arranjos específicos de escala. Estudos com fNIRS/EEG avançam na detecção de carga cognitiva em tarefas multi-tarefa e em simulação de controle, sugerindo oportunidades para automação adaptativa supervisionada (ajuste de níveis de assistência conforme workload). Ao mesmo tempo, novas propostas de alocação ‘voo-a-voo’ entre humano e colega digital buscam evitar papéis excessivamente supervisórios, preservando habilidades críticas.

### 6 CONTEXTO GLOBAL E IMPLICAÇÕES PARA O BRASIL

A demanda por transporte aéreo mantém trajetória de crescimento, com o retorno a níveis pré-pandemia e projeções de expansão ao longo da próxima década. O CORSIA entra em fase 1 (2024–2026) com baseline de 85% das emissões de 2019, implicando compromissos de compensação e pressão por rotas e perfis mais eficientes.

Figura 3 - Diretriz DCA 351-7 (2025)

## Modernização do Espaço Aéreo Brasileiro



Fonte: Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA).

AICs Publicadas (2024–2025).

Na Europa, o avanço do TBO e das operações CCO/CDO é acompanhado por metas de desempenho e relatórios de rede (EIPAR/PRR). Nos EUA, a expansão do Data Comm e de ferramentas de superfície (TFDM) integra a gestão de fluxos em tempo real. Para o Brasil, o alinhamento regulatório e técnico com esses movimentos — sem perder de vista particularidades como a geografia amazônica e a ionosfera de baixas latitudes — é crucial para garantir interoperabilidade com FIRs vizinhas e previsibilidade em operações transfronteiriças.

## 7 RECOMENDAÇÕES

- Consolidar o cronograma do ADS-B e ampliar sua cobertura em áreas remotas, com correlação multi-sensor e detecção de anomalias.
- Escalar o CPDLC em setores de maior complexidade, com indicadores de redução de readbacks incorretos e tempos de coordenação.
- Fortalecer PBN com metas de CCO/CDO, medição de eficiência vertical e integração com TBO.
- Instituir um SOC-ATM nacional, com políticas de criptografia, *hardening* de infraestruturas de enlace e planos de continuidade.
- Padronizar treinamento continuado em CPDLC/PBN/cibersegurança e práticas de automação adaptativa com monitoramento fisiológico opcional.
- Ampliar a adoção de AIXM/SWIM, fomentando ecossistema de dados e pesquisa aplicada com universidades.
- Estabelecer um observatório de performance com KPIs alinhados a ICAO/EUROCONTROL (atraso, previsibilidade, emissões, VFE).

## 8 CONCLUSÃO

A modernização do espaço aéreo brasileiro progride de forma tangível, alicerçada em diretrizes atualizadas, cronogramas regulatórios e digitalização de dados. Os benefícios projetados — mais segurança, menor carga de trabalho, maior eficiência e redução de emissões — dependem da integração plena entre vigilância, comunicação, navegação e gestão de informação, e de uma governança que una cibersegurança, fator humano e métricas de desempenho. A próxima fase requer acelerar a interoperabilidade internacional, consolidar a resiliência cibernética e institucionalizar a tomada de decisão baseada em dados.

## REFERÊNCIAS

ABNT NBR 6023:2018. Informação e documentação – Referências – Elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

AHMED, W. Automatic dependent surveillance-broadcast (ADS-B): overview and challenges. PMC, 2025.

ABU AL-HAIJA, Q. Secure aviation control through a streamlined ADS-B perception system. Data, v. 7, n. 2, p. 27, 2024.

DE ROOIJ, G. Flight-based control allocation: towards human–automation ‘digital colleagues’. Aerospace, v. 11, n. 11, p. 919, 2024.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). AIC N 20/2024 – Disponibilização de dados aeronáuticos no padrão AIXM. AISWEB, 28 nov. 2024. Disponível em: <https://aisweb.decea.mil.br/eaip/>

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). AIC N 28/2024 – Implementação operacional do conceito de PBN no espaço aéreo brasileiro. AISWEB, 28 nov. 2024. Disponível em: <https://aisweb.decea.mil.br/eaip/>

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). AIC N 68/2024 – Operacionalização do ADS-B no espaço aéreo brasileiro. AISWEB, 28 nov. 2024. Disponível em: <https://aisweb.decea.mil.br/eaip/>.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). AIC N 83/2024 – Plano de implementação do CPDLC no espaço aéreo brasileiro. AISWEB, 28 nov. 2024. Disponível em: <https://aisweb.decea.mil.br/eaip/>.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). DCA 351-7 – Diretriz da Aeronáutica para o controle do espaço aéreo brasileiro. 26 fev. 2025.

EUROPEAN AVIATION SAFETY AGENCY (EASA). ATCO fatigue study – Final report. Colônia: EASA, maio 2024.

EUROPEAN AVIATION SAFETY AGENCY (EASA). Easy access rules for information security (Part-IS). Colônia: EASA, jun. 2024.

EUROCONTROL. Implementation plan and report (EIPAR) 2024. Bruxelas: EUROCONTROL, 2024.

EUROCONTROL. Network strategy plan 2025–2029. Bruxelas: EUROCONTROL, 2024.

EUROCONTROL. Performance review report 2023. Bruxelas: EUROCONTROL, maio 2024.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). NextGen annual report 2023. Washington, DC: FAA, jan. 2025.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). NAS infrastructure roadmaps. Washington, DC: FAA, 2025.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION (ICAO). Doc 9750 – Global air navigation plan (GANP). 7. ed. Montreal: ICAO, 2023.

KHAN, S. AKAASH: a realizable authentication, key agreement, and handover scheme for CPDLC. International Journal of Critical Infrastructure Protection, 2023.

SESAR 3 JOINT UNDERTAKING. Bi-annual work programme 2024–2025. Bruxelas: SESAR, 2025.

SESAR 3 JOINT UNDERTAKING. European ATM master plan 2025. Bruxelas: SESAR, 2025.

RBAC & CIA  
Revista Brasileira de Aviação Civil  
& Ciências Aeronáuticas

ISSN 2763-7697