

# Regulación para ADS-B<sup>1</sup> en el espacio aéreo brasileño

*Regulation for ADS-B<sup>1</sup> in Brazilian airspace*

*Regulação para o ADS-B<sup>1</sup> no espaço aéreo brasileiro*

Raul Sandoval Cerqueira <sup>1</sup>

## RESUMEN

La vigilancia de Radiodifusión Dependiente Automática (ADS-B) es una tecnología bien conocida, estandarizada internacionalmente y reconocida como una forma económica de llevar a cabo vigilancia tipo radar, incluso en lugares donde la vigilancia por radar convencional no es adecuada. La implementación de esta tecnología significa la introducción de nuevas configuraciones del espacio aéreo monitoreado y nuevas capacidades operativas que deben ser entendidas por la comunidad aeronáutica y la regulación del Departamento de Control del Espacio Aéreo (DECEA) y la Agencia Nacional de Aviación Civil (ANAC) debe proporcionar procesos adecuados. para las operaciones de la aviación civil para afrontar esta etapa evolutiva, mejorando conceptos y adaptando procedimientos. Este estudio, cuyo objetivo es contribuir al fortalecimiento de la regulación que apoyará a ADS-B en Brasil, fue desarrollado con un enfoque multimetodológico, incluyendo revisión de literatura, consulta de expertos, benchmark internacional y estudio de caso, y resultó en el identificación de 15 posibles mejoras regulatorias con impacto positivo en la implementación de ADS-B en el espacio aéreo nacional.

**Palabras clave:** ADS-B. Regulación. Vigilancia. Aviación Civil.

## ABSTRACT

*The Automatic Dependent Broadcasting Surveillance (ADS-B) is a well-known technology, internationally standardized and recognized as an inexpensive way to carry out radar-like surveillance, even in places where conventional radar surveillance is not adequate. The implementation of this technology means the introduction of new monitored airspace configurations and new operational capabilities. The regulation of the Department of Airspace Control (DECEA) and the National Civil Aviation Agency (ANAC) should provide adequate processes for civil aviation operations in order to face this evolutionary stage, improving concepts and adapting procedures. This study, whose objective is to contribute to the strengthening of the regulation that will support ADS-B in Brazil, was developed based on a hypothetical-deductive method, which included literature review, unstructured interviews of the focused type, international benchmarking and case study of ADS-B national implementation. The results showed the identification of possible regulatory improvements with a positive impact on the implementation of ADS-B in national airspace, to be subject to further verification and discussion.*

**Keywords:** ADS-B. Regulation. Surveillance. Civil Aviation.

I. Agencia Nacional de Aviación Civil (ANAC). Rio de Janeiro/RJ - Brasil. Mestrado em Advanced Master Air Navigation System Engineering and Operations pela Ecole Nationale de l'Aviation Civile(ENAC). *E-mail:* raul.cerqueira@anac.gov.br

Recibido: 18/08/21

Aceptado: 14/10/21

Las siglas y abreviaturas contenidas en el artículo corresponden a las del texto original en lengua portuguesa.

<sup>1</sup> ADS-B: Vigilância automática dependiente por radiodifusão (*Automatic Dependent Surveillance – Broadcast*).

## RESUMO

*A Vigilância Dependente Automática por Radiodifusão (ADS-B) é uma tecnologia bastante conhecida, padronizada internacionalmente e reconhecida como uma forma barata de se realizar vigilância similar ao radar, inclusive sobre locais onde a vigilância por radar convencional não é adequada. A implementação desta tecnologia significa a introdução de novas configurações de espaço aéreo monitorado e novas capacidades operacionais. A regulamentação do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) e da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) deverá prover processos adequados para as operações da aviação civil de forma a fazer frente a esta etapa evolutiva. Este estudo cujo objetivo é contribuir para o fortalecimento da regulação que dará suporte ao ADS-B no Brasil foi desenvolvido com base no método hipotético-dedutivo, subsidiado por revisão bibliográfica, entrevistas não estruturadas do tipo focalizadas, estudos de casos de regulação internacional e estudo de caso de implantação nacional do ADS-B. Resultou na identificação de hipóteses de melhorias regulatórias com impacto positivo à implementação do ADS-B no espaço aéreo nacional, a serem submetidas à verificação e discussão posteriores.*

**Palavras-chave:** ADS-B. Regulação. Vigilância. Aviação civil.

## 1 INTRODUCCIÓN

La implantación de la Vigilancia Dependiente Automática (ADS-B) en Brasil exige que la reglamentación nacional sea mejorada para acompañar este paso evolutivo y proporcionar las condiciones necesarias para el uso seguro y eficiente de esta tecnología.

Frente a este problema, este estudio pretende identificar las posibilidades de mejora de la normativa brasileña en cuanto a la aplicación de reglamento relacionado con la implantación de ADS-B.

A partir de la metodología hipotético-deductiva, acompañada de técnicas de investigación como la revisión bibliográfica, las entrevistas no estructuradas de tipo focalizado y los estudios de caso, se elaboraron dichas hipótesis de mejora de la regulación.

## 2 METODOLOGÍA

Este estudio se desarrolló con base en el método hipotético-deductivo (LAKATOS, MARCONI, 2003), el cual fue subsidiado por múltiples técnicas de investigación.

Inicialmente, mediante la revisión de la literatura, se buscó el conocimiento para identificar el problema y proponer conjeturas para abordarlo. A continuación,

se realizó una entrevista no estructurada (LAKATOS, MARCONI, 2003) con expertos en la materia, seguida de un estudio de casos sobre la normativa internacional y un estudio de casos sobre la aplicación del sistema en el espacio aéreo nacional.

Este enfoque permitió mejorar las conjeturas iniciales, llegando a las hipótesis propuestas mejorar la reglamentación nacional sobre el uso de ADS-B en el espacio aéreo nacional.

Se advierte que en el ámbito de este trabajo, tales hipótesis no fueron sometidas a pruebas que permitan corroborarlas y, por lo tanto, se entiende que las mismas serían útiles como subsidios iniciales para los procesos de análisis de impacto regulatorio de las agencias pertinentes.

## 3 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 3.1 Historial

La evolución del uso de la comunicación de enlace de datos (Data Link) para fines de aviación se remonta a la década de 1970, con el primer ACARS - "Aircraft Communication Addressing and Recording System". (SPITZER, et al., 2014).

En 1983, la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) creó el Comité Especial sobre Futuros Sistemas de Navegación Aérea (FANS) para estudiar el uso de "Automatic Dependent Surveillance" (ADS) para la aviación civil. (SPITZER, et al., 2014).

En 1998, la RTCA publicó el documento DO 242, en el que se definen las Normas Mínimas de Rendimiento para el Sistema Tecnológico de Aviación ADS-B (MASPS), y en 2000, la RTCA publicó el documento DO 260, en el que se establecen las Normas Mínimas de Rendimiento Operativo (MOPS) para los equipos ADS-B de 1090 MHz en el aire. (RTCA, 1998, 2000).

Se han desarrollado tres tecnologías de transmisión que están estandarizadas por la OACI para la ADS-B: UAT - Universal Access Transceiver (OACI Doc. 9861); VDL4 - VHF Digital Link Mode 4 (OACI Doc. 9816); 1090 MHz ES (OACI Doc. 9871), sin embargo en la Recomendación 1/7 de la "AN Conf / 11" en 2003, el Consejo de la OACI recomendó ADS-B 1090 MHz ES como el estándar internacional a utilizar. (OACI, 2012, 2016).

Debido al desarrollo de los estándares, existen tres versiones distintas de ADS-B basadas en 1090 MHz ES en uso hoy en día.

Añadiendo pasos importantes en el camino evolutivo de ADS-B, AIREON, una empresa creada en 2012, en asociación con la empresa Iridium, alojó sus receptores ADS-B especialmente diseñados en 66 satélites Iridium Next Constellation para proporcionar una cobertura ADS-B global (AIREON, 2019b, 2020).

### 3.2 Conceptos y definiciones relativos a la ADS-B

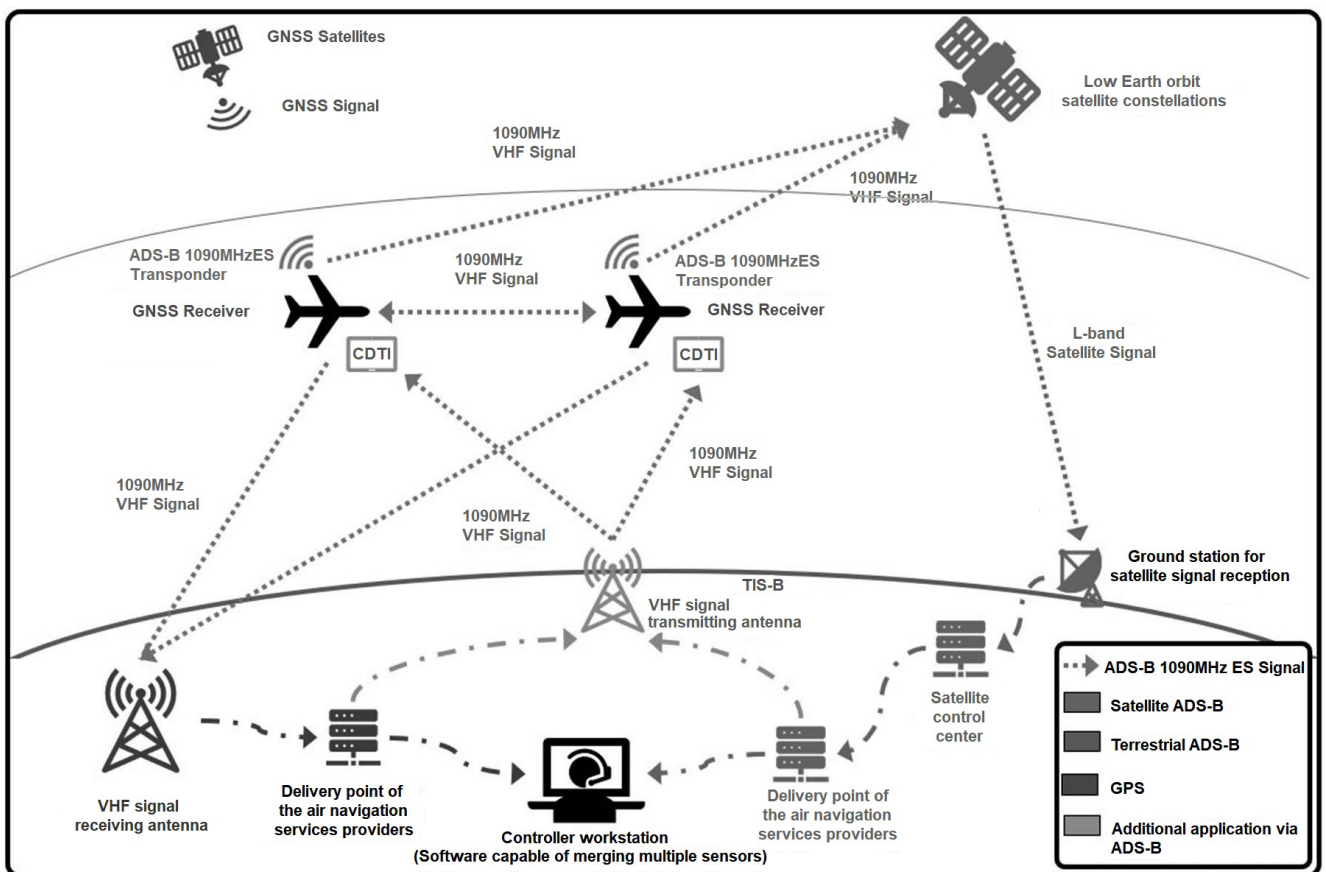
Para establecer un estándar internacional para el concepto de ADS-B, en el ANEXO 11, la OACI ha definido ADS-B como:

Vigilancia Dependiente Automática (ADS-B). Medio por el cual las aeronaves, los vehículos de aeródromo y otros objetos pueden transmitir y/o recibir automáticamente datos tales como la identificación, la posición y otros datos adicionales, según proceda, en un modo de transmisión a través de un enlace de datos. (OACI, 2016, p. 1-5, nuestra traducción al español).

Teniendo en cuenta las posibilidades al respecto, es importante destacar los dos conceptos distintos: ADS-B OUT, la capacidad principal, el medio por el cual la aeronave transmite su información de manera estandarizada y ADS-B IN, la capacidad de un vehículo o aeronave para recibir y procesar la información transmitida por otro. (OACI, 2014, p. 1-1, nuestra traducción al español).

ADS-B OUT requiere la implementación de algún tipo de capacidad de recepción para obtener resultados prácticos, que puede ser terrestre, por satélite o ADS-B IN. Además, como la información se origina en la aeronave transmisora, el número de aeronaves equipadas en el espacio aéreo es crítico para varias aplicaciones ADS-B.

Figura 1 - Sistema ADS-B basado en el transpondedor 1090MHz ES.



Fuente: Adaptado de AIREON (2019a), RTCA (2002) y CANSO (2016).

El diagrama de la Figura 1 resume el sistema ADS-B teniendo en cuenta la norma ES de 1090 MHz.

Como características comunes de todas las configuraciones ADS-B 1090MHz ES implementadas, es interesante destacar:

#### I. Información transmitida

Los transpondedores ADS-B transmiten los parámetros de la aeronave, como la identificación (dirección de 24 bits e identificación de vuelo según el plan de vuelo), la posición (latitud, longitud y altitud de presión), la velocidad tridimensional y la integridad de la posición, a través de los datos del modo de transmisión de enlace a 1090 MHz. (CANSO, 2016, p. 13, nuestra traducción al español).

#### II. Tiempo de actualización de la transmisión

La frecuencia de actualización de la información de posición es de dos veces por segundo, lo que se denomina comúnmente la frecuencia de actualización de ADS-B. (RTCA, 2000).

#### III. Requisitos de aviónica mínimos:

Sistema GNSS; transpondedor ES de 1090MHz; cuando se trata de un sistema ADS-B por satélite: transmisor de clase A1 y antena de avión montada en la parte superior. (AIREON, 2019b).

IV. Infraestructura mínima necesaria:

Una simple antena y un receptor conectados a enlaces de comunicación que entregan la información a la pantalla de situación que la muestra de forma similar a un radar. (OACI, 2012).

El sistema basado en satélites no requiere infraestructura terrestre y la información se entrega en un punto de entrega específico. (AIREON, 2019b).

V. Capacidades mínimas de vigilancia

Separación de al menos cinco millas náuticas (5 NM), sujeta al cumplimiento de ciertas condiciones.

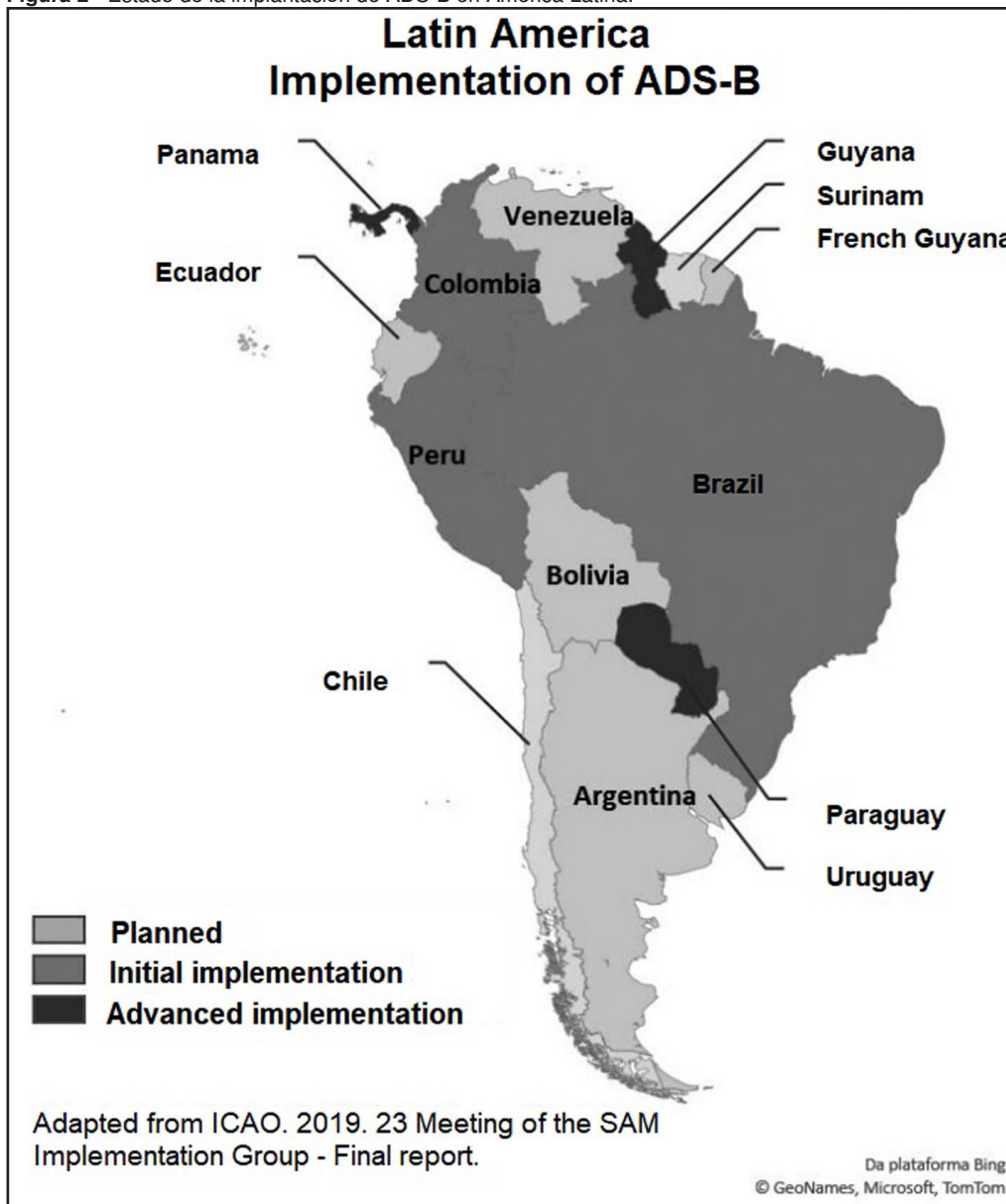
Ampliación de la cobertura de vigilancia a las bajas altitudes. (OACI, 2012).

3.3 ADS-B en América Latina

(GANP) de la OACI, Doc 9750 (OACI, 2019b), el tercer nivel es el regional. En la Oficina Regional para América Latina (SAM), la estrategia de despliegue de ADS-B prevé la cobertura de las áreas en ruta y terminales, con la participación de los usuarios y los proveedores de servicios, y se completará en 2023. (OACI, 2017a).

Los resultados alcanzados en cada estado contratante para 2019 se resumen en la Figura 2.

Figura 2 - Estado de la implantación de ADS-B en América Latina.



Fuente: Elaborado por el autor a partir de la información disponible en OACI (2019a).



Además, se realizó un estudio sobre la posibilidad de proporcionar ADS-B vía satélite, distribuyendo la señal a través de la red de comunicaciones digitales (REDDIG) existente en la región, y se concluyó que sería posible de forma económica y eficiente (OACI, 2018).

En este estudio se ha presentado una comparación de los costes estimados para los diferentes sistemas de vigilancia de la región, que puede verse en la Tabla 1.

### 3.4 ADS-B en Brasil

En concreto, en lo que respecta al despliegue de ADS-B en Brasil, un resultado factual conseguido fue el despliegue de un espacio aéreo plenamente operativo y restringido únicamente a las aeronaves equipadas con ADS-B en el TMA Macaé, en la cuenca de Campos. (OACI, 2019a).

En 2017, el plan de despliegue de ADS-B en Brasil preveía la instalación para baja altitud en las cuencas oceánicas y la instalación de 62 estaciones terrestres, norma RTCA DO 260, DO 260A y DO 260B, para la cobertura del espacio aéreo continental cubriendo áreas ATM homogéneas y principales flujos de tráfico aéreo. Además, se preveía que se hiciera antes de 2021 y sin mandatos, dividido en 04 fases como se puede ver en la Figura 3. (OACI, 2017a).

Sin embargo, con la llegada de la ADS-B basada en el espacio, este plan de implementación está siendo revisado y la nueva estrategia aún no ha sido publicada.

Un paso importante en esta dirección fue la exitosa integración de los datos ADS-B del satélite en el software utilizado por DECEA en sus rutinas de vigilancia. (AIREON, 2019a).

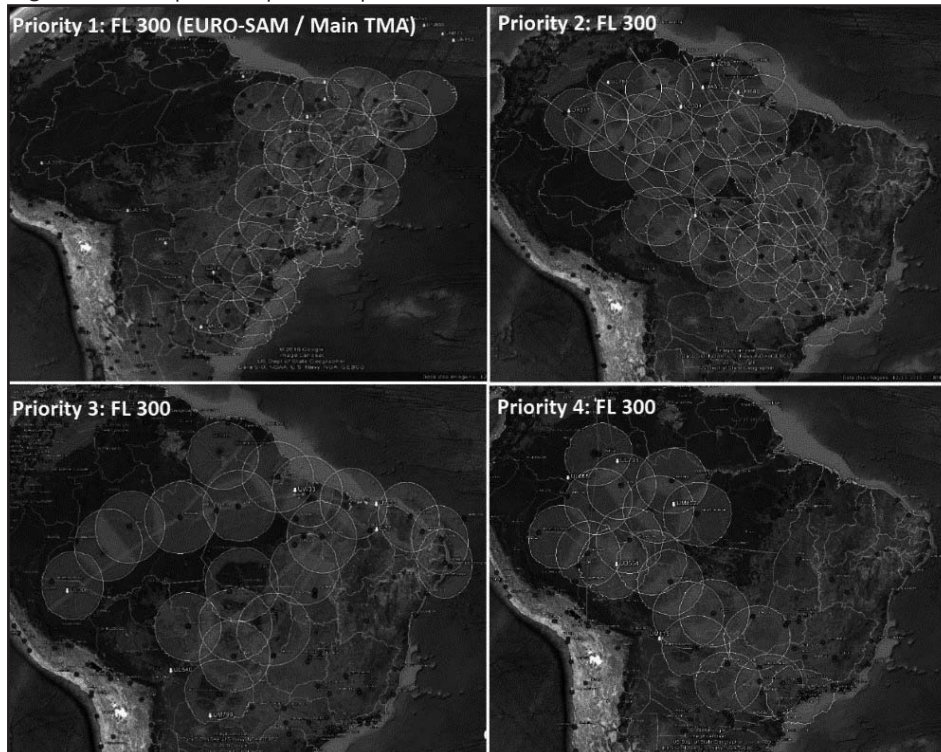
**Tabla 1** - Comparación del coste anual del sistema.

	% de cobertura		Coste anual/cobertura		
	ADS-B Sat.	SSR	ADS-B Sat.	SSR	ADS-B Terr.*
FL 100	100	27,86	0,53	4,25	1,27
FL 150	100	35,01	0,53	3,38	1,01
FL 250	100	46,26	0,53	2,56	0,77

\* Se adoptó un número ficticio de estaciones terrestres ADS-B igual al alquiler de las instalaciones SSR actuales.

Fuente: OACI (2018).

**Figura 3** - Fases previstas para la implantación de ADS-B.



Fuente: ICAO (2017a).

Además, la cooperación técnica entre Brasil y AIREON consiste en un plan de dos fases cuyo objetivo es evaluar el rendimiento del sistema en el espacio aéreo brasileño, analizando parámetros como: la precisión; la latencia; el intervalo de tiempo de actualización; los errores de posicionamiento; la disponibilidad; la continuidad; y la evaluación de diferentes configuraciones de antenas, entre otros. Aunque este plan está en su fase final, sus resultados aún no están disponibles (FAGUNDES, 2020).

### 3.5 Regulación de la ADS-B existente

El marco institucional de la aviación civil brasileña está compuesto por varias instituciones con funciones específicas. Dos de estas instituciones se complementan en la definición de la regulación de la aviación civil, son la DECEA y la ANAC. En relación con la tecnología ADS-B, dado que DECEA es el ANSP brasileño y también el regulador ATS, establece casi toda la normativa. Sin embargo, existe una interfaz normativa con la ANAC en lo que respecta a la aeronavegabilidad y las normas de vuelo.

En el marco de DECEA se menciona el ADS-B en las normas:

- DCA 351-2 Concepto operativo de la ATM nacional (BRASIL, 2011);
- ICA 100 31 Requisitos de los servicios de tráfico aéreo (BRASIL, 2017c);
- ICA 100 37 Servicios de tráfico aéreo (BRASIL, 2019b);
- CIRCEA 121-7 Inspección en vuelo para la vigilancia dependiente automática por radiodifusión (ADS-B) (BRASIL, 2017a);
- MCA 64-3 Manual de coordinación de búsqueda y rescate aeronáutico (BRASIL, 2019a);
- MCA 100-11 Cumplimentación de los formularios del plan de vuelo (BRASIL, 2017b);
- AIC 40-17 Vigilancia Automática Dependiente por Radiodifusión (ADS-B) en el TMA Macaé (BRASIL, 2018b);
- Reestructuración del espacio aéreo del Área de Control Terminal (TMA) de Macaé con la aplicación del sensor ADS-B, aumento de la cobertura VHF, implementación del concepto de espacio aéreo exclusivo ADS-B y provisión de productos meteorológicos del EMS-A (BRASIL, 2018a)).

Dentro de la ANAC, la referencia directa a la ADS-B sólo aparece en el documento IS 21-013 B “Instrucciones para obtener la aprobación para

la instalación de equipos GNSS(*Global Navigation Satellite Systems*)stand alone para las operacionesVFR eIFR”(BRASIL,2016).

La estructura básica para la reglamentación de las normas operacionales en la ANAC es establecida por el documento RBAC 091 - “Requisitos generales de operación para aeronaves civiles” (BRASIL, 2019c), que se alinea con las disposiciones contenidas en la norma norteamericana “*Code of Federal Regulations - CFR, Title 14, Chapter I, Subchapter F, part 91*” que se denomina “*General Operating and Flight Rules*”, que es la norma donde fueron definidos los requisitos obligatorios del ADS-B, en sus ítems 91.225 y 91.227. (ESTADOS UNIDOS, 2020).

Sin embargo, en la norma brasileña, los elementos correspondientes están marcados como “reservados” y no se ha definido ningún requisito. Por su parte, el requisito 91.215 establece una instrucción que permite el uso, pero no define una norma específica:

91.215 (b) Cuando el tipo de operación y/o el espacio aéreo lo requieran, la aeronave estará equipada con un transpondedor, con aprobación OTP (TSO), mantenido de acuerdo con la sección 91.413 de este Reglamento.

## 4 ANÁLISIS E IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El análisis de la normativa vigente dio lugar a la identificación de lagunas o cuestiones que no se abordan en el marco normativo actual y que pueden ser objeto de mejora con vistas a apoyar la implantación de ADS-B en el espacio aéreo nacional:

- Nuevos tipos de vigilancia del espacio aéreo: En la actualidad, sólo existe un tipo de vigilancia ATS en el espacio aéreo continental brasileño, que está basado en el radar.
- Norma de transpondedor y restricción a otros tipos: La normativa no aclara qué modelo es obligatorio en el espacio aéreo brasileño ADS-B, ni tampoco cómo deben comportarse otros tipos de aeronaves equipadas al entrar en el espacio aéreo brasileño ADS-B.
- Capacidades previstas y requisitos y limitaciones correspondientes: No está claro qué aplicaciones ADS-B se esperan y los correspondientes requisitos y limitaciones de rendimiento del sistema, incluidos los equipos aéreos.
- Flota equipada: No hay un esfuerzo continuo para lograr un mayor nivel de equipos ADS-B en la flota y esto es un problema para varias aplicaciones.
- Objetivos específicos para la implantación de ADS-B: El despliegue de ADS-B se asocia a un aumento de la seguridad y la capacidad cerca

de los aeródromos o helipuertos e incluso a la vigilancia de los movimientos en tierra.

- Los contratos de concesión aeroportuaria como oportunidad: A lo largo de las sucesivas rondas de concesiones emprendidas por el Gobierno Federal de Brasil, los contratos han evolucionado. Como los contratos pretenden aumentar la seguridad y la capacidad del aeropuerto, sería una oportunidad para introducir la instalación obligatoria de ADS-B en el aeropuerto.
- ADS-B Satélite o ADS-B Terrestre: se espera que la ADS-B Satélite logre un mejor rendimiento que el radar, aunque peor que la ADS-B Terrestre en la mayoría de los casos, si se proporciona la infraestructura adecuada.

## 5 OPINIÓN DE LOS EXPERTOS

A través de entrevistas no estructuradas de tipo focalizado (LAKATOS, MARCONI, 2003) con 7 especialistas, siendo 1 de INFRAERO, 2 de empresas privadas, 2 de DECEA y 2 de ANAC, que ocupan posiciones estratégicas en el tema y tienen experiencia en la implementación de tecnologías para la gestión del espacio aéreo nacional, se obtuvieron comentarios para los temas del problema y se organizaron y consolidaron en el texto resumido, como sigue:

- Nuevos tipos de espacio aéreo con vigilancia: el sistema debe identificar automáticamente la mejor señal en cada fase de vuelo y proporcionar la información de forma homogénea, al controlador y a la tripulación, transparente para el controlador en términos de sensores, con nuevas funcionalidades y beneficios. El personal técnico de DECEA necesitará formación y se necesitarán nuevas normas de DECEA y ANAC.
- Estándar del transpondedor y restricción de otros tipos: el ES 1090MHz (0, 1 o 2) utilizado en la Cuenca de Campos puede ser el estándar, ya que DECEA ya lo utiliza y es un estándar internacional. Más sistemas añaden complejidad a la aplicación. No hay límite previsto para los parámetros de calidad de la señal.
- Capacidades previstas y requisitos y limitaciones correspondientes: La aplicación debe buscar la rentabilidad. En los casos en que la cobertura de radar ya está prevista, una condición sería el desmantelamiento del radar tras su implantación. Los radares primarios son una preocupación de la soberanía y no debe ser desactivada. Será una vigilancia de mayor precisión con mejora de los tiempos de actualización. Proporciona servicio de

vigilancia al usuario, incluso a baja altura en espacios aéreos oceánicos. No hay planes para TIS-B, FIS-B, ADS-R o herramientas de supervisión.

- Flota equipada: las compañías aéreas estarán equipadas, ya que los nuevos aviones ya están equipados y existen mandatos internacionales. Los operadores de carga pueden ser un problema debido al envejecimiento de su flota y la aviación general puede ser un reto aún mayor. El equipamiento de los aviones será opcional, quien esté mejor equipado utilizará el servicio. Actualmente no hay información sobre qué porcentaje de la flota está equipado. Se espera que los usuarios reconozcan el sistema y esto defina su futuro. No está previsto ningún mandato, aunque probablemente sea necesario.
- Objetivos específicos para la implantación de ADS-B: La ampliación de la cobertura de la vigilancia a bajas altitudes en las cuencas oceánicas, donde el movimiento off-shore es intenso, es un objetivo específico a realizar. Para la superficie del aeropuerto sería otra opción utilizar la señal ADS-B. DECEA se rige por las necesidades operativas y éstas darán forma al sistema.
- Los contratos de concesión aeroportuaria como oportunidad: las infraestructuras de gestión del tráfico aéreo no suelen formar parte de un contrato de concesión y para casos concretos probablemente sería beneficioso incluir a DECEA en los procesos de consulta iniciales. Los usos aeroportuarios como el SMGCS son posibles, pero es el gestor aeroportuario el que debe decidir si lo aplica. DECEA define la ICA 63-18 como una referencia.
- ADS-B por satélite o ADS-B terrestre: Se considera que la solución ideal es una combinación. Hay situaciones específicas en las que uno puede beneficiarse de cada tipo. Las condiciones que definirán el alcance del uso de uno u otro dependen de los resultados de las pruebas que aún están en curso. La viabilidad de la instalación, la calidad de la señal, la redundancia y la seguridad justifican el uso de ambos sistemas. El actual plan de implementación de ADS-B considera el ADS-B terrestre con sensores estratégicamente posicionados para proporcionar servicios de vigilancia por encima de FL245, los volúmenes del espacio aéreo TMA e incluso el agua sobre las cuencas oceánicas de Santos / Espírito Santo / Campos (ya implementado). Las pruebas

ADS-B por satélite están en curso, en un entorno controlado, donde es posible integrar los datos espaciales y los del radar y comparar los resultados. Se sabe que el parámetro de latencia fue peor de lo esperado, pero esto se debió a la red utilizada.

## 6 ESTUDIOS DE CASOS DE REGULACIÓN INTERNACIONAL

Se seleccionaron tres estados como muestra de la normativa internacional sobre ADS-B y sus principales aspectos se resumen en la Tabla 2 y la Figura 4.

Un caso de referencia en cuanto a las posibilidades del sistema, Estados Unidos de América (EEUU), ha realizado un robusto despliegue, con 650 antenas, cobertura total del espacio aéreo, 02 tipos de

transpondedores en uso, servicios adicionales como TIS-B, FIS-B y ADS-R y un mandato que está en vigor desde enero de 2020 que cubre a todos los usuarios, incluida la Aviación General. Estados Unidos (2020) y Estados Unidos (2015, 2018, 2019).

Australia, que destaca por la optimización de los sistemas de comunicación, navegación y vigilancia lograda mediante el uso de ADS-B, también utiliza ADS-B en todo su espacio aéreo como sistema principal de vigilancia desde 2009. Un despliegue optimizado con unas 70 antenas, cobertura total del espacio aéreo y 01 tipo de transpondedor en uso. Ha permitido la desactivación de 179 ayudas a la navegación. Australia también ha definido cuestiones regionales específicas en el DOC 7030 de la OACI en relación con el ADS-B y tiene mandatos para la aviación comercial, pero no para la aviación general. Australia (2015, 2020a, 2020b); OACI (2017b).

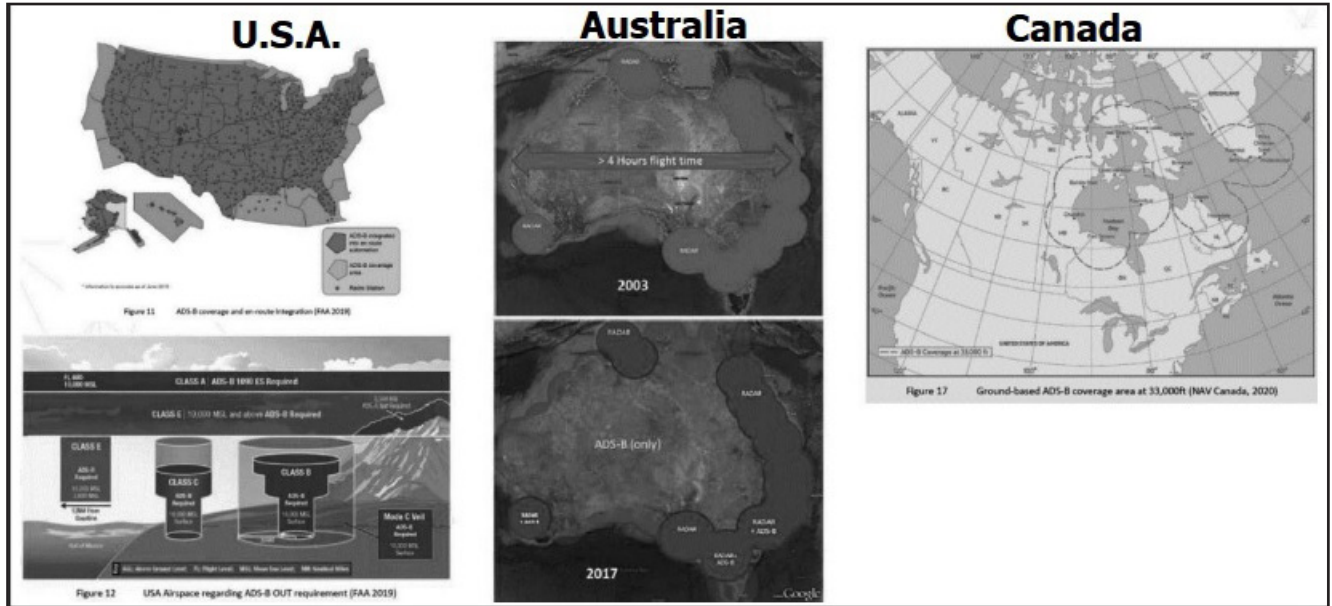
**Tabla 2** - Casos prácticos de reglamentación internacional - cuadro resumen.

Aspecto	E.U.A.	Australia	Canadá
Uso de ADS-B	Sistema de vigilancia primario	Sistema de vigilancia primario	Sistema de vigilancia primario (donde esté disponible)
Cobertura	Todo el país	Todo el país	Espacio aéreo del norte* (*plan nacional)
Infraestructura(estaciones terrestres)	650	70	15
Servicios ADS-Badicionales	TIS-B; FIS-B; ADS-R;	None	None
Aplicaciones avanzadas deADS-B	CAVS; ITP; IM	No hay	No hay
Tipo de Transponder	1090 MHz ES 2 UAT 978MHz	1090 MHz ES 0,1 o 2	1090 MHz ES
Reglamentos principales	14 CFR § 91.225; 14 CFR § 91.227; AC 90 114 B; AC 20 165 B; SRT 47 Rev.4; TSO C166b; TSO C154c	CAO 20.18; AC 21-45; AC 91-23;	AC 700 009 e;
Mandato para equipar la flota	Sí	Sí	No
El mandato incluye la aviación general	Sí	No	-
Mandato incluye a los extranjeros	Sí	Sí	-

**Fuente:** Elaborado por el autor a partir de información de documentos de Estados Unidos (2015, 2018, 2020), Australia (2015, 2020a, 2020b), NAVCanada (2020) y OACI (2017b)).



Figure 4 - Representaciones del espacio aéreo ADS-B de Estados Unidos, Australia y Canadá.



Fuente: Elaborado por el autor adaptado de OACI (2017b).

Por último, debido al tamaño de su espacio aéreo y al uso pionero de la solución satelital que es una posibilidad para Brasil y también con un vasto espacio aéreo, Canadá utiliza ADS-B desde 2010 en el espacio aéreo del noreste, con un tipo de transpondedor y no tiene un mandato definido. Es pionera en el uso de ADS-B por satélite, que está en pruebas para todo el país. NAVCanada (2020), Canadá (2011, 2018) y OACI (2017b).

### 7 ESTUDIO DE CASO TMA ME

Este es el primer caso de despliegue del sistema ADS-B en el espacio aéreo brasileño. Fue un proyecto realizado entre 2009 y 2018.

Logró importantes resultados y los correspondientes beneficios:

- Separación IFR x IFR para aeronaves bajo vigilancia: 5NM (AIC 40/17);
- Reducción de los retrasos en un 43% / Aumento de la puntualidad de los vuelos en un 16%;
- Búsqueda y rescate (SAR) más eficaces;
- Reducción del tiempo de vuelo con un ahorro de combustible estimado en hasta 1,31 millones de reales al año; y
- 122 helicópteros equipados (CANSO, 2019).

El escenario inicial y después de la aplicación se puede ver en la Figura 5.

Figura 5 - Principales aspectos del caso de implantación de ADS-B en TMA ME.

TMA ME		
Aspect	Before	After
<b>Infrastructure</b>	APP-Macaé: PSR / SSR Radar; 03 <i>offshore</i> radios	APP-Macaé: PSR Radar / SSR radar; 06 ADS-B antennas: 02 onshore/ 04 <i>offshore</i> .
<b>Coverage</b>	Sector 1: Radar; Sector 2: Conventional surveillance; From 2.000' to FL 145.	Sector 1 and 2: Fusion ADS-B + Radar; Sector 3 to 8: ADS-B (sep. 5NM) From the surface to FL 145.

Fuente: Elaborado por el autor a partir de datos extraídos de BRASIL (2018a, 2018b), OACI (2018a) e INFRAERO (2019a, 2019b).

## 8 PROPUESTAS PARA MEJORAR EL REGLAMENTO

Consolidando la información obtenida de la revisión, las entrevistas, los estudios de caso de la regulación internacional, el estudio de

caso de Terminal ME y Teniendo en cuenta las condiciones de despliegue en Brasil, con el fin de abordar las cuestiones de una mejor regulación para subvencionar el despliegue de ADS-B en el espacio aéreo nacional, se propusieron las hipótesis identificadas en la Tabla 3.

**Tabla 3 - Propuestas de mejora regulatoria para ADS-B.**

Descripción	Motivación	Principales beneficios esperados
<b>Problema: Nuevos tipos de espacio aéreo con vigilancia</b>		
<b>Propuesta:</b> ADS-B obligatorio por encima de FL290 y en el espacio aéreo oceánico		
Establecer el requisito de que las aeronaves estén equipadas cuando estén por encima de FL290 y en el espacio aéreo oceánico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Definir regla clara para exigir o equipamiento ADS-B visando a segurança operacional;</li> <li>Reducir el esfuerzo de implantación: las aeronaves mejor equipadas circulan por el espacio aéreo RVSM (por encima de FL290); el tráfico <i>off-shore</i> puede promover la instalación de ADS</li> <li>Prover condições para novas funcionalidades e benefícios inerentes ao sistema ADS-B.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Minimizar las interferencias de las aeronaves no equipadas en el espacio aéreo donde se prestan los servicios ADS-B;</li> <li>Proporcionar servicios ADS-B en una parte del espacio aéreo brasileño, con el 100% de las aeronaves usuarias equipadas;</li> </ul>
<b>Propuesta:</b> Documento específico ADS-B		
Preparar un documento específico que contenga todos los aspectos de las normas de vuelo y aeronavegabilidad relacionados con el ADS-B previstos para su uso en el espacio aéreo nacional.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Promover el cumplimiento del sistema;</li> <li>Facilitar la formación de usuarios y controladores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mejorar la seguridad operativa mediante el conocimiento.</li> </ul>
<b>Problem: norma de transpondedor y restricción a otros tipos</b>		
<b>Propuesta:</b> Norma para el transpondedor ADS-B y cero señales malas		
Establecer 1090MHz ES 0,1 o 2 como norma brasileña y exigir que otras normas no transmitan.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reducir al mínimo los casos de aeronaves con equipos no conformes;</li> <li>Optimizar la complejidad del sistema;</li> <li>Proporcionar un vector de negocio para la industria responsable del equipamiento de las aeronaves;</li> <li>Prohibición de señales inadecuadas para el ADS-B nacional.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alineación con la norma internacionalmente reconocida;</li> <li>Aumento de la disponibilidad de equipos ADS-B en la flota.</li> </ul>
<b>Propuesta:</b> Calidad mínima de la señal transmitida		
Establezca los límites de los parámetros de calidad que forman parte de la señal transmitida: NUC, NIC, NAC, SIL.	Garantizar las condiciones mínimas previstas del sistema para las funciones de vigilancia deseadas.	Mejora de la seguridad y de las condiciones básicas para las aplicaciones ADS-B.
<b>Propuesta:</b> El transpondedor que cumpla con los requisitos y esté operativo debe transmitir		
Hacer obligatorio que las aeronaves adecuadamente equipadas transmitan la señal ADS-B durante todo el vuelo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maximizar la calidad de la señal disponible en los espacios aéreos ADS-B;</li> <li>Establecer la condición para las acciones de aplicación contra la conducta insegura en el espacio aéreo ADS-B.</li> </ul>	Reducir los riesgos de que las aeronaves en vuelo no sean detectadas, contribuyendo a la mejora de la seguridad operativa.

Fuente: El autor.

**Tabla 3 - Propuestas de mejoras reglamentarias para ADS-B (continuación).**

<b>Propuesta:</b> Procedimiento para transpondedores no conformes, no operativos y excepciones		
Establecer procedimientos para tratar casos específicos relativos a vuelos sin la correspondiente transmisión ADS-B.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Asegurar las condiciones de vuelo de las aeronaves que no están debidamente equipadas;</li> <li>Garantizar las condiciones de vuelo de las aeronaves que, por razones válidas, no pueden transmitir la señal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Resolver las excepciones y permitir los vuelos con seguridad.</li> </ul>
Problema: Capacidades previstas y requisitos y limitaciones correspondientes		
<b>Propuesta:</b> Se requiere autorización para las aplicaciones avanzadas de ADS-B IN		
Establecer el requisito de obtener una autorización previa para el uso de aplicaciones avanzadas de ADS-B IN.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Certificando que o ADS-B IN avançado da ADS-B IN são realizados com o equipamento apropriado e tripulação treinada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proporcionar condiciones para la realización segura de maniobras avanzadas ADS-B IN en el espacio aéreo brasileño.</li> </ul>
<b>Propuesta:</b> Declaración de que no hay servicios ADS-B complementarios		
Disposición específica del documento para informar a los usuarios del espacio aéreo de que no hay servicios como TIS-B; FIS-B; ADS-R.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Evite la confusión con las capacidades disponibles en otros países.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mejora de la seguridad.</li> </ul>
<b>Problema: flota equipada</b>		
<b>Propuesta:</b> Seguimiento de la disponibilidad de ADS-B en la flota de aviones		
Implementar una rutina para controlar la instalación del transpondedor ADS-B 1090MHz ES en las aeronaves que utilizan el espacio aéreo nacional.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proporcionar información para planificar el despliegue de ADS-B y aplicar políticas relacionadas con su uso;</li> <li>Tratar de conseguir las condiciones necesarias para implantar aplicaciones ADS-B que requieran el 100% de la aviones equipados y transmitiendo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Activo informativo para toda la industria.</li> </ul>
<b>Problema: Objetivos específicos para la implantación de ADS-B</b>		
<b>Propuesta:</b> Desmantelamiento de la infraestructura como parte del plan		
En la planificación del despliegue, considere la posibilidad de optimizar los recursos mediante el desmantelamiento de estaciones de radar y otras ayudas cuando sea posible.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mínimizar la emisión de señales de radio en la frecuencia de 1090MHz y garantizar la capacidad de los sistemas;</li> <li>Reducir el coste operativo de los sistemas de comunicación, navegación y vigilancia del espacio aéreo en su conjunto;</li> <li>Aumentar la eficacia de los servicios de comunicación, navegación y vigilancia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Optimización de los sistemas de comunicación, navegación y vigilancia.</li> </ul>

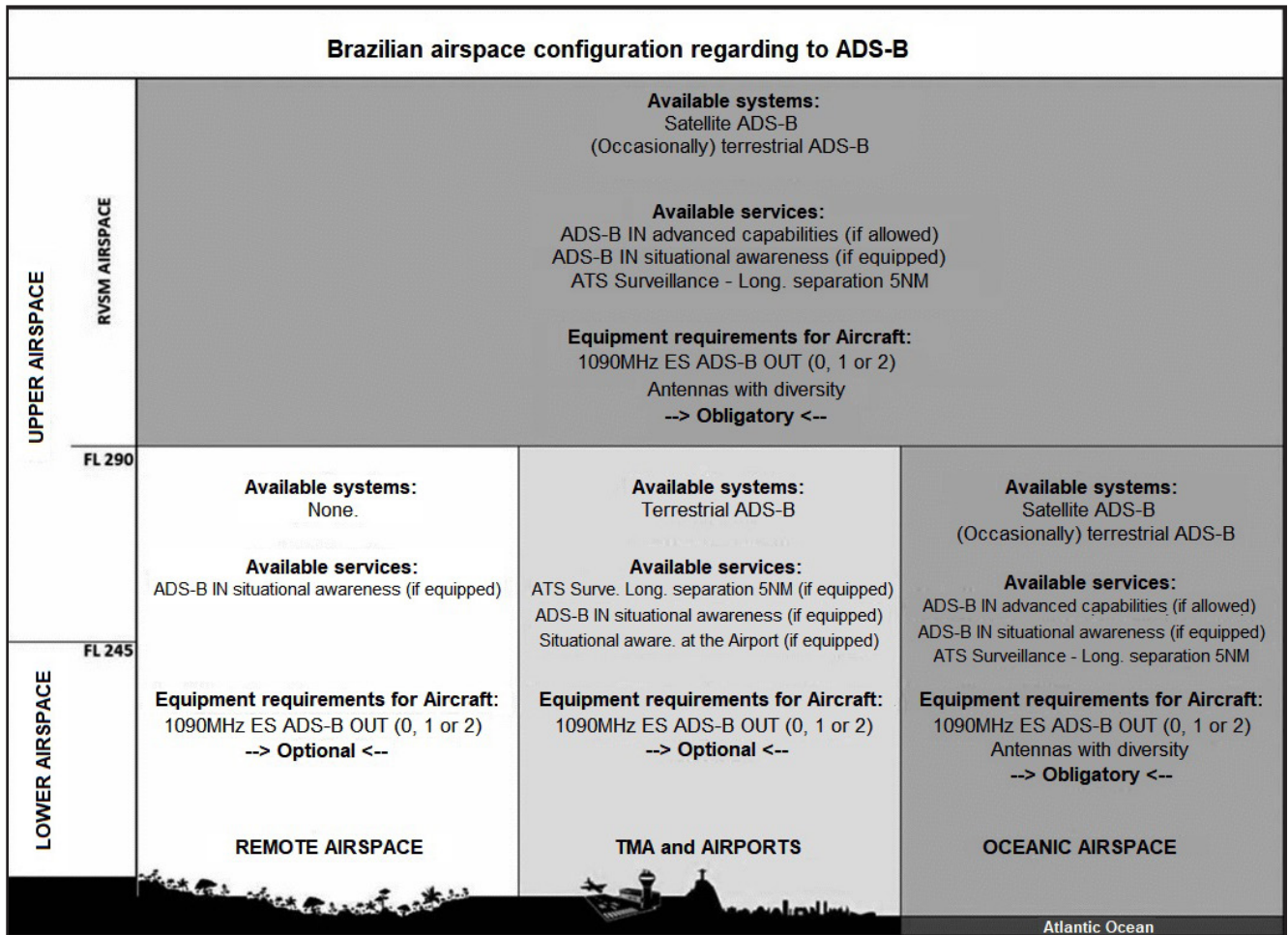
**Tabla 3 - Mejoras reglamentarias propuestas para ADS-B (continuación).**

<b>Propuesta:</b> Base de datos y herramientas de supervisión		
A la hora de configurar el sistema, hay que tener en cuenta la implementación de recursos para la recogida y el almacenamiento estructurado de datos procedentes de ADS-B.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Promover el conocimiento y el aprendizaje a partir de los datos operativos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proporcionar datos para el análisis y la mejora de la aviación nacional.</li> </ul>
<b>Problema:</b> los contratos de concesión de aeropuertos como oportunidad		
<b>Propuesta:</b> los contratos de concesión de aeropuertos como oportunidad		
A la hora de implantar el sistema, considere la posibilidad de que la instalación, la puesta en marcha y el mantenimiento del ADS-B cerca de los grandes aeropuertos se asigne al sector privado a través del contrato de concesión del aeropuerto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Asignar los costes a la entidad beneficiaria de los resultados del sistema, ya que el suministro de ADS-B en tierra aportará beneficios operativos al aeropuerto;</li> <li>Reducir el esfuerzo para la implantación del sistema, mediante inversiones privadas, que mitiguen los problemas inherentes a la obtención de recursos públicos;</li> <li>Aumentar los recursos empleados en los contratos de concesión para mejorar la seguridad operativa y aumentar la capacidad aeroportuaria.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instalación más rápida de ADS-B terrestre;</li> <li>Beneficios para la vigilancia de la superficie del aeropuerto gracias a la capacidad de recepción de la señal ADS-B.</li> </ul>
<b>Problema:</b> ADS-B Satélite o ADS-B Terrestre		
<b>Propuesta:</b> Combinación de ADS-B terrestre y ADS-B por satélite		
En la configuración del sistema, considere el despliegue de ADS-B por satélite en todo el espacio aéreo oceánico y continental superior a de FL 290 y la terrestre en 52 aeropuertos (aeropuertos con más de 200.000 pax/año).	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reducir el esfuerzo de implantación, ya que el ADS-B por satélite no requiere infraestructura y la infraestructura terrestre podría aprovechar las ubicaciones cercanas a los principales aeropuertos;</li> <li>Garantizar la alta calidad de la señal recibida en los lugares más concurridos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Menores costes de explotación;</li> <li>Una mejor cobertura;</li> <li>Nuevas capacidades;</li> <li>Información integrada.</li> </ul>

**Fuente:** El autor.



Figura 6 - Perfil del espacio aéreo brasileño en relación con la ADS-B.



Fuente: The author.

## 9 CONCLUSIONES

ADS-B es una tecnología que ofrece una cobertura de vigilancia ampliada, una separación similar a la de un radar, un tiempo de actualización mejor que el de un radar, posibilidades de aplicación mejoradas y una base para futuros usos que se están desarrollando, todo ello a un coste sustancialmente menor.

Teniendo en cuenta que la implementación está en curso y se completará pronto, es necesario mejorar la regulación, abarcando, de alguna manera, todos los aspectos relacionados con la aviación civil para garantizar el uso seguro y eficiente de la tecnología en el espacio aéreo brasileño.

En este estudio se identificaron aspectos importantes como mejoras normativas y, en una etapa posterior, se espera que sean buenas aportaciones para los debates en los foros adecuados.

## 10 SIGLAS

- ADS-B - Vigilancia Automática Dependiente por Radiodifusión;
- ADS-R - *Automatic Dependent Surveillance-Rebroadcast*;
- ATM - *Air Traffic Management*;
- FIS-B - *Flight Information Service - Broadcast*;
- FL - *Flight Level*;
- GNSS - *Global Navigation Satellite System*;
- NAC - *Navigation Accuracy Category*;
- NIC - *Navigation Integrity Category*;
- NUC - *Navigation Uncertainty Category*;
- PSR - *Primary Surveillance Radar*;
- RVSM - *Reduced Vertical Separation Minima*;
- SIL - *Source Integrity Level*;
- SMGCS - *Surface Movement Guidance and Control System*;
- SSR - *Secondary Surveillance Radar*;
- TIS-B - *Traffic Information Service - Broadcast*.

## REFERENCIAS

AIREON. **AIREON data successfully integrated with ATECH Sagitario system.** AIREON website, 2019a. Disponível em: <https://aireon.com/2019/10/21/aireon-data-successfully-integrated-atech-sagitario-system/>. Acesso em 22 jul. 2020.

AIREON. **The Executive Reference Guide to Space-Based ADS-B.** AIREON website, 2019b. Disponível em: <https://www.aireon.com>. Acesso em 27 dez. 2019.

AIREON. **Timeline.** AIREON website, 2020. Disponível em: <https://aireon.com/timeline/>. Acesso em 22 jul. 2020.

AUSTRÁLIA. Civil Aviation Agency Authority. **AC 21.45 Airworthiness approval of airborne automatic dependent surveillance broadcast equipment.** Canberra, ATC, Australia. 2015.

AUSTRÁLIA. Civil Aviation Agency Authority. **AC 91.23 ADS-B for enhancing situational awareness.** Canberra, ATC, Australia. 2020a.

AUSTRÁLIA. Civil Aviation Agency Authority. **CAO 20.18 Aircraft equipment - basic operational requirements.** Canberra, ACT, Australia. 2020b.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Concepção operacional ATM nacional (DCA 351-2).** Brasília, DF, Brasil. 2011.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Inspeção em voo para Vigilância Dependente Automática por Radiodifusão (ADS-B) (CIRCEA 121-7).** Brasília, DF, Brasil. 2017a.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Manual de Coordenação de Busca e Salvamento Aeronáutico (MCA 64-3).** Brasília, DF, Brasil. 2019.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Preenchimento dos formulários de plano de voo (MCA 100-11).** Brasília, DF, Brasil. 2017c.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Reestruturação de espaço aéreo da área de controle terminal (TMA) de Macaé com aplicação do sensor ADS-B, aumento da cobertura VHF, implementação do conceito de espaço aéreo exclusivo ADS-B e prov. de prod. met. a partir de EMS-A (AIC 47/18).** 1 ed. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: 2018a.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Requisitos dos serviços de tráfego aéreo (ICA 100-31).** Brasília, DF, Brasil. 2017b.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Serviços de Tráfego Aéreo (ICA 100-37).** Brasília, DF, Brasil. 2019.

BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Vigilância Dependente Automática por Radiodifusão (ADS-B) na TMA Macaé (AIC 40-17).** Brasília, DF, Brasil. 2018b.

BRASIL. Ministério da infraestrutura. Agência Nacional de Aviação Civil. **Brazilian Civil Aviation Sector.** Sítio da ANAC. 2021. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/en/about-anac/brazilian-civil-aviation-sector>. Acesso em 28 abr. 2020.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. Agência Nacional de Aviação Civil. **Instruções para obtenção de aprovação de instalação de GNSS (IS 21-013).** Ed. B. Brasília, DF, Brasil. 2016.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. Agência Nacional de Aviação Civil. **Requisitos gerais de operação para aeronaves civis. (RBAC 91).** ed. EMD 01. Brasília, DF, Brasil. 2019.

CANADÁ. Transport Canada. **Automatic Dependent Surveillance – Broadcast.** 02 ed. Ottawa, ON, Canada. 2011.

CANADÁ. Transport Canada. **TP 6010 Canada's Airspace.** 3 ed. Ottawa, ON, Canada. 2018.

CANSO. **ANSP Guidelines for Implementing ATS Surveillance Services Using Space-Based ADS-B.** Vol. 1. Montréal, Quebec, Canada: 2016. Disponível em: <https://www.canso.org/>. Acesso em 16 jan. 2020.

CANSO. **SIRIUS written in the stars.** Airspace 1(47), p. 32. 2019. Disponível em: <https://www.canso.org/airspace-47-q4-2019>. Acesso em 16 jan. 2020.

ESTADOS UNIDOS. U.S. Department of Transportation. Federal Aviation Administration. **AC 20 165 B - Airworthiness Approval of Automatic Dependent Surveillance - Broadcast OUT Systems.** Washington, DC, USA. 2015.

ESTADOS UNIDOS. U.S. Department of Transportation. Federal Aviation Administration. **AC 90 114 B - Automatic Surveillance-Broadcast Operations.** Ed. B. Washington, DC, USA. 2019.

ESTADOS UNIDOS. U.S. Department of Transportation. Federal Aviation Administration. **SRT 047 - Surveillance and Broadcast Services Description Document**. ed. 04. Washington, DC, USA. 2018.

ESTADOS UNIDOS. U.S. Government Publishing Office. National Archives and Records Administration. Office of the Federal Register. **CFR Title 14 Chapter I Subchapter F Part 91 - General Operating and Flight Rules**. eCFR, USA, Editor. 2020. Disponível em: <https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?node=14:2.0.1.3.10>. Acesso em 06 ago. 2020.

FAGUNDES, Marcelo Mello. **DECEA ADS-B Satelital**. Sítio do DECEA. 2020. Disponível em DECEA: <https://www.decea.mil.br/>. Acesso em 11 fev. 2021.

INFRAERO. **Manual do controle de aproximação de Macaé**. Macaé, RJ, Brasil. 2019a.

INFRAERO. **Modelo operacional do controle de aproximação Macaé - APP ME**. Macaé, RJ, Brasil. 2019b.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. Ed. São Paulo: Atlas 2003.

NAV CANADA. NAV Canada Web Site. 2020. Disponível em <https://www.navcanada.ca/EN/products-and-services/Pages/Space-based-ADS-B.aspx>. Acesso em 12 de 08 de 2020,

OACI. **23 Meeting of the SAM Implementation Group** - Final report. Program follow up. ICAO, SAM office, Lima. 2019a.

OACI. **Annex 10 – Aeronautical Telecommunications**. Vol. IV - Surveillance and Collision Avoidance Systems. 5. Ed. Montréal, Quebec, Canada: 2014.

OACI. **Annex 11 - Air Traffic Services**. 14. Ed. Montréal, Quebec, Canada: OACI 2016.

OACI. **Assessment of ADS-B and Multilateration Surveillance to Support Air Traffic Services and Guidelines for Implementation (Cir 326)**. Montréal, Quebec, Canada: OACI 2012.

OACI. **Global Air Navigation Plan – GANP**. Doc 9750. GANP Portal. 2019b. Disponível em: <https://www4.icao.int/ganpportal/>. Acesso em 16 jul. 2020.

OACI. **SAM meetings documents**. ICAO web site. 2017a. Disponível em: <https://www.icao.int/SAM/Documents/Forms/AllItems.aspx>. Acesso em 16 jul. 2020.

OACI. **Status of ADS-B implementation in Brasil (WP/08 Rev.2)**. Working paper, ICAO, SAMIG. Mexico city. 2018a.

OACI. **Study of the feasibility and convenience of using the satellite-based ADS-B service in the SAM region**. (WP/17 26/10/18). Lima. 2018.

OACI. **ICAO SAM regional group site**. GREPECAS SAM. 2017b. Disponível em <https://www.icao.int/SAM/Documents/Forms/AllItems.aspx>. Acesso em 20 jul. 2020.

RTCA. **Minimum Aviation System Performance Standards for Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B) (DO-242)**. Washington, DC, USA: RTCA Inc. 1998.

RTCA. **Minimum Aviation System Performance Standards for Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B) (DO 242 A)**. Washington, DC, USA: RTCA Inc. 2002.

RTCA. **Minimum Operational Performance Standards (MOPS) for 1090MHz Automatic Dependent Surveillance - Broadcast (ADS-B) (DO 260)**. Washington, DC, USA: RTCA Inc. 2000.

SPITZER, Cary R.; FERRELL, Uma; FERREL, Thomas. **Digital Avionics Handbook**. 3. Ed. Boca Raton, FL, United States: CRC Press. 2014.