

UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR



**ADS-B - Automatic Dependent Surveillance
Broadcast.**

Estudo do Impacto em Portugal

por

Cláudia Vanessa Coutinho Rodrigues

orientado por

Prof. Doutor Jorge Miguel Reis Silva

Engenharia Aeronáutica
Departamento de Ciências Aeroespaciais

Covilhã, Junho 2010

UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR



**ADS-B - Automatic Dependent Surveillance
Broadcast.**

Estudo do Impacto em Portugal

por

Cláudia Vanessa Coutinho Rodrigues

orientado por

Prof. Doutor Jorge Miguel Reis Silva

Engenharia Aeronáutica
Departamento de Ciências Aeroespaciais

Covilhã, Junho 2010

Dedicado aos meus pais...

Resumo

No paradigma actual de CNS/ATM, (*Communication, Navigation, Surveillance/Air Traffic Management*), o sistema ADS-B representa uma importante ferramenta para melhoria da vigilância, aumentando a eficiência da gestão de tráfego aéreo, o que se traduz em maiores parâmetros de segurança e menores atrasos. Em todo o mundo desenvolvem-se projectos e programas para implementação da tecnologia do sistema ADS-B, com testes envolvendo ANSPs (*Air Navigation Services Providers*), avaliando as funções dos controladores de tráfego aéreo, operadores avaliando as tarefas dos pilotos, além de fabricantes de aviónicos e aeronaves, com objectivo de aquilatar a eficiência, segurança e custo deste novo sistema. O objectivo deste trabalho consiste em avaliar as ineficiências que se verificam actualmente no Grupo Central dos Açores, estudar o impacto da implementação de um sistema ADS-B nessa zona, tendo em conta as tecnologias actualmente utilizadas para posterior integração. Adicionalmente, efectuou-se uma abordagem à problemática custo-benefício, bem como uma avaliação de carácter operacional sobre a utilização mais racional do espaço aéreo.

Palavras-chave: ADS-B, CNS/ATM, RIVs Portuguesas

Abstract

In today's CNS/ATM (Communication, Navigation, Surveillance/Air Traffic Management) paradigm the Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B) is a very important tool in the improvement of surveillance precision, incising the traffic efficiency with even better safety parameters and lower delays. All around the world programs and projects to implement the ADS-B technology are taking place with trials being made with the participation of Air Navigation Services Providers (ANSP's), focusing Air Traffic Controllers duties, Aircraft Operators, focusing pilots duties, and Aircraft and Avionics manufacturers, to validate the efficiency and safety of this system, as well as the cost, time and changes to make this happen. The goal for this study is to evaluate the inefficiencies presents nowadays on the Central Group of the Azores Islands, Portugal, study the impact of the implementation of as ADS-B system in this area, and it's afterwards integration with other surveillance sources. Additionally, an approach was made to the cost-benefit subject, as well as the evaluations of the operational character of the ADS-B use to provide a better way of mitigate the inefficiencies studied before.

Key words: ADS-B, CNS/ATM, Portuguese FIR's

Agradecimentos

Em primeiro lugar queria agradecer ao meu orientador, o Prof. Doutor Jorge Miguel Reis Silva, pelo apoio e acompanhamento durante toda a realização deste trabalho.

Quero também agradecer ao Sr. Fortunato Carretero, da Nav Portugal, que sempre se mostrou disponível para partilhar conhecimentos e os seus pontos de vista.

Agradeço também a todos os colegas e amigos que me acompanharam este ano, em especial ao João Oliveira, ao Luís Rodrigues, à Bárbara Pereira, ao Albano Constante e ao José Novais, que sempre se mostraram disponíveis para comigo colaborar.

Por fim, não podia deixar de referir o papel da minha família, que me apoiou incondicionalmente durante toda a minha vida, inclusivé durante toda a realização deste trabalho. Em particular ao meu pai, que reviu todo o trabalho com muita minúcia e determinação, e à minha mãe, que pacientemente me apoiou. A eles muito obrigado!

Conteúdo

Resumo	ii
Abstract	iii
Agradecimentos	iv
Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	ix
Abreviaturas	x
1 Introdução	1
1.1 Motivação do Trabalho	1
1.2 Enquadramento do Tema	1
1.3 Estrutura da Dissertação	2
2 Estado da Arte	3
2.1 Introdução	3
2.2 Ponto de Situação	3
2.3 Vigilância	5
2.3.1 Definição de Vigilância	5
2.3.2 Categorias de Vigilância	5
2.4 Radar (PSR, SSR, Modo S), <i>Multilateration</i> (MLAT) e ADS-C	6
2.4.1 Radar (PSR, SSR, Modo S)	6
2.4.2 <i>Multilateration</i> (MLAT)	7
2.4.3 <i>Automatic Dependent Surveillance Contract</i> (ADS-C)	8
2.5 <i>Automatic Dependent Surveillance Broadcast</i> (ADS-B)	9
2.5.1 Princípios de Funcionamento	10
2.5.2 Dados Transmitidos	11
2.5.3 Tecnologia Utilizada e Modificações a Bordo	11
2.5.4 Aplicações	12
2.5.5 Vantagens	13
2.6 Evolução Mundial	14
2.7 Evolução Europeia	16
2.8 Conclusão	17

3	Caso de Estudo	18
3.1	Introdução	18
3.2	Programa CASCADE	18
3.3	Operadores Aéreos Participantes no Projecto	20
3.4	Aplicações	20
3.4.1	Aplicações de Vigilância	20
3.4.1.1	Vigilância ATC em Áreas não-Radar (ADS-NRA)	21
3.4.1.2	Vigilância ATC em Áreas Radar (ADS-B RAD)	22
3.4.1.3	Vigilância na Superfície do Aeroporto (ADS-B APT)	23
3.4.1.4	Dados Derivados da Aeronave para Ferramentas de Solo (ADS-B ADD)	23
3.4.2	Aplicações de Vigilância a Bordo	24
3.4.2.1	Percepção Situacional Melhorada durante Operações de Voo (ATSA-AIRB)	24
3.4.2.2	Percepção Situacional Melhorada na Superfície do Aeroporto (ATSA-SURF)	24
3.4.2.3	Separação Visual Melhorada em Aproximação (ATSA-VSA)	24
3.4.2.4	Procedimento IN-TRAIL em Espaço Aéreo Convencional (ATSA-ITP)	24
3.4.2.5	<i>Sequencing & Merging</i> (ASPA- S&M)	25
3.5	Inquéritos	25
3.5.1	Controladores	25
3.5.2	Pilotos	26
3.5.3	Aviónicos	29
3.6	Conclusão	31
4	Análise Custo/Benefício	32
4.1	Introdução	32
4.2	Caracterização do Espaço Aéreo	32
4.3	Caracterização do Tráfego	34
4.4	Cobertura CNS (<i>Communication, Navigation, Surveillance</i>)	35
4.4.1	Comunicações	35
4.4.2	Navegação	35
4.4.3	Vigilância	35
4.5	Procedimentos Actuais	36
4.6	Previsão de Tráfego	38
4.7	Instalação de Equipamento	40
4.8	Arquitectura do Sistema	41
4.9	Cobertura de Vigilância Radar e ADS-B	43
4.10	Conceito Operacional	43
4.11	Benefícios Alcançados	45
4.12	Expansão Futura do Sistema	47
4.13	Custos Gerais de Implementação e Manutenção	47
4.14	Resultados Esperados em Portugal	50
4.15	Conclusão	52
5	Conclusões	53
5.1	Síntese da Dissertação	53
5.2	Considerações Finais	54

5.3 Perspectivas de Investigação Futura	55
Bibliografia	56
A Artigo Científico aceite para publicação na 14.^a Conferência da ATRS	58
B Artigo Científico a submeter para publicação em revista Científica ISI	71

Lista de Figuras

2.1	Separação Lateral VOR-15°	4
2.2	Separação Longitudinal em Tempo-15 minutos	4
2.3	Formas de Vigilância Actuais	6
2.4	Esquema de Funcionamento do Sistema MLAT	8
2.5	Funcionamento do Sistema ADS-C	9
2.6	Funcionamento do Sistema ADS-B	10
2.7	<i>Cockpit Display of Traffic Information</i>	12
2.8	112 bits do <i>Extended Squitter</i>	12
2.9	Possibilidades Permitidas com ADS-B	13
2.10	Locais de Implementação ADS-B	15
2.11	Locais de Implementação no Alasca	16
3.1	Desenvolvimento do ADS-B na Europa	19
3.2	Locais a Implementar a Aplicação ADS-B NRA na Europa	19
3.3	Impacto do CDTI na Cooperação Ar-Terra	27
3.4	<i>Cockpit Display of Traffic Information</i> - Superfície do Aeroporto	29
3.5	Percepção do Impacto do CDTI na Segurança - do lado esquerdo as respostas dos pilotos e do lado direito as dos controladores	30
4.1	RIV Santa Maria (azul), RIV Lisboa (rosa) e TMA de Santa Maria (amarelo)	33
4.2	Arquipélago dos Açores	33
4.3	Cobertura Radar Total	36
4.4	Rota São Miguel-Faial	37
4.5	Rota por NOTMA	38
4.6	Previsão do Crescimento de Tráfego na Europa	39
4.7	Localização das Antenas WAM	40
4.8	Arquitectura do Sistema	42
4.9	Fucionamento do Sistema ADS-B nos Açores	42
4.10	Cobertura Radar e ADS-B	43
4.11	Rotas S. Miguel-Faial	45
4.12	Esquema de Perfil de Descida Ideal	46
4.13	Rotas Faial-Terceira	46
4.14	Cobertura Radar e ADS-B (2 sensores)	47
4.15	Custos Iniciais e Recorrentes	48
4.16	Previsão de Crescimento de Rodes, Pescara, Trabzon e Açores	49
4.17	Valor do Retorno Financeiro para cada Localização	50
4.18	Valor do Retorno Financeiro Estimado para Portugal	51

Lista de Tabelas

3.1	Operadores Aéreos Aderentes ao Projecto	20
3.2	Tipo e Modelo de Aeronaves Envolvidas no Projecto	20
4.1	Operadores Aéreos	34
4.2	Tipos de Aeronaves	34
4.3	Rádio-Ajudas	35
4.4	Total de Movimentos de Tráfego no Grupo Central	39
4.5	Previsão de Movimentos de Tráfego no Grupo Central	39
4.6	Custos de Implementação e Recorrentes de Pescara, Trabzon e Rodes	50
4.7	Valores de Algumas Variáveis que Entram no Estudo	50

Abreviaturas

ACARS	Aircraft Communications Addressing and Reporting System
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance Broadcast
ADS-C	Automatic Dependent Surveillance Contract
AIP	Aeronautical Information Publication
ANSP	Air Navigation Service Provider
ARTAS	ATM Surveillance Tracker and Server System
ASAS	Airborne Separation Assistance Systems
ASTERIX	All-purpose Structured EUROCONTROL Radar Information Exchange
ATC	Air Traffic Control
ATM	Air Traffic Management
ATS	Air Traffic Services
ATSAW	Air Traffic Situational Awareness
CASCADE	Co-operative ATS Through Surveillance & Communication Applications Deployed in ECAC
CDTI	Cockpit Display of Traffic Information
CNS	Communication, Navigation, Surveillance
CRISTAL	Co-operative Validation of Surveillance Technics and Application
DME	Distance Measuring Equipment
ECAC	European Civil Aviation Conference
EMOSIA	European Model for Strategic ATM Investment Analysis
ES	Extended Squitter
EUROCAE	European Organization for Civil Aviation Equipment
FAA	Federal Aviation Administration
FL	Flight Level
GND	Ground
GS	Ground Speed
HF	High Frequency

HMI	H uman M achine I nterface
IAS	I ndicated A ir S peed
ICAO	I nternational C ivil A viation O rganization
IFR	I nstrument F light R ules
MASPS	M inimum A viation S ystem P erformance S tandards
MLAT	M ultilateration
MOPS	M inimum O peration P erformance S tandards
MSL	M ean S ea L evel
ND	N avigation D isplay
MN	M ilhas N áuticas
NRA	N on R adar A rea
PSR	P rimary S urveillance R adar
R/T	R adio T ransmission
RA	R esolution A dvisory
RIV	R egião de I nformação de V oo
RVSM	R educed V ertical S eparation M inimum
SATCOM	S ATellite C OMmunications
SESAR	S ingle E uropean S ky A TM R esearch
SPI	S pecial P osition I ndicator
SSR	S econdary S urveillance R adar
TCAS	T raffic A lert and C ollision A voidance S ystem
TDOA	T ime D ifference O f A rrival
TMA	T erminal C ontrol A rea
TOD	T op O f D escend
UAT	U niversal A ccess T ransceiver
VDL	V HF D igital L ink
VHF	V ery H igh F requency
VOR	V HF O mnidirectional R adio R ange
WAM	W ide A rea M ultilateration

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação do Trabalho

A minha motivação para realizar este trabalho foi, em primeiro lugar, o facto de ser um tema bastante actual e que ainda apresenta muitas áreas para onde se estender e evoluir.

O facto da tecnologia ADS-B contribuir para uma eficácia e eficiência ainda maior dos sistemas de controlo de tráfego aéreo, e o facto de estar em estudo a sua aplicabilidade no espaço aéreo português, fez-me acreditar que esta tecnologia nos permitirá alcançar ainda mais homogeneidade em relação aos nossos vizinhos europeus, e conseguir manter os elevados níveis de segurança e eficiência com menores custos.

1.2 Enquadramento do Tema

Desde os primórdios do controlo de tráfego aéreo que se nota uma tendência crescente no volume de tráfego aéreo.

Desde então, os sistemas de vigilância, comunicação e navegação foram evoluindo até aos dias de hoje. No entanto, os sistemas de controlo de tráfego aéreo tradicionais estão a chegar ao limite da sua capacidade de funcionamento. Além disso, espera-se que o número de voos cresça ainda mais no futuro. Para acomodar tamanho aumento, mantendo os mesmos padrões de segurança e eficiência, sentiu-se necessidade de melhores e mais precisos meios e tecnologias de controlo de tais movimentos de tráfego. Adicionalmente, cada vez mais se sente a necessidade de haver uma

preocupação ambiental de modo a garantir que tais tecnologias sejam compatíveis com um futuro mais verde.

Para isso estabeleceram-se valores mínimos de distância entre as aeronaves, denominadas separações mínimas. Estas separações são aplicadas e/ou verificadas pelos controladores de tráfego aéreo com recurso a diversas formas de controlo, sendo uma delas o ADS-B. Neste contexto, o ADS-B é uma poderosa ferramenta, que visa sobretudo aumentar a segurança em voo e no solo, reduzir tempos de voo e eventuais atrasos, contribuindo portanto para uma maior poupança de combustível e menores emissões poluentes.

1.3 Estrutura da Dissertação

Este trabalho divide-se em cinco capítulos. No primeiro é feita uma abordagem inicial, referindo-se o enquadramento do tema, o objectivo do trabalho e a sua estrutura. No segundo capítulo aborda-se o conceito de vigilância, incluindo as tecnologias que existem actualmente para a realizar. Aqui introduz-se também o conceito de ADS-B, os seus princípios de funcionamento, aplicações e vantagens. No terceiro capítulo analisa-se o impacto nas tarefas de ambos, controlador e piloto, com base nas suas opiniões e pontos de vista. No quarto capítulo faz-se uma abordagem ao espaço aéreo dos Açores, onde se implementará o sistema ADS-B e, um estudo sobre o impacto operacional e económico deste sistema no território nacional. Por fim, no quinto e último capítulo, faz-se a síntese da dissertação e tecem-se considerações finais e perspectivas de investigação futura.

Capítulo 2

Estado da Arte

2.1 Introdução

Neste capítulo, falaremos da situação actual em termos de vigilância de espaço aéreo e suas diferentes técnicas. Focaremos ainda o ADS-B, a sua utilização e funcionamento. Por fim, introduziremos uma breve referência à criação de programas para implementação do ADS-B nos Estados Unidos da América e na Europa.

2.2 Ponto de Situação

À medida que o volume de tráfego aéreo foi aumentando surgiu a necessidade de evitar colisões entre as aeronaves. Para isso estabeleceram-se valores mínimos de distância entre elas, denominadas separações mínimas. Estas separações são aplicadas e verificadas pelos controladores de tráfego aéreo com recurso a diversas formas de controlo, por exemplo radar, (Primário, Secundário ou Mode S), *Multilateration* ou ADS. Estes meios são também utilizados para evitar colisões entre aeronaves no solo ou entre estas e outros veículos na área de manobra de um aeródromo.

As autoridades aeronáuticas estabeleceram esses padrões de separação para garantir a navegação segura de uma aeronave em espaço aéreo controlado que, sendo correctamente aplicados e cumpridos, asseguram que a aeronave esteja a uma distância segura tanto do solo como de outras aeronaves.

Além disso, os padrões de separação servem também para reduzir a exposição à turbulência da esteira deixada por aeronaves que circulem à frente de outras. Esses valores são baseados no *documento* da ICAO 4444 (Procedimentos para Gestão de Tráfego Aéreo). As separações podem

ser de dois tipos, vertical ou horizontal, sendo que apenas uma delas é requerida num dado instante de voo.

Em primeiro, Separação Vertical. Esta é mais simples, em que o controlo de tráfego aéreo atribui altitudes (expressas em pés) às aeronaves quando em voo na vizinhança de um aérodromo, ou níveis de voo (expressas em FL), quando em cruzeiro.

Para voos IFR (*Instrument Flight Rules*), onde opera a maior parte dos voos comerciais, a ICAO especifica um mínimo de Separação Vertical de 1000 pés (300m) abaixo de FL290 e separação de 2000 pés (600m) acima de FL290, excepto onde se aplica a Separação Vertical Reduzida (RVSM, *Reduced Vertical Separation Minimum* entre FL290 e FL410) onde se mantem os 1000 pés.

A Separação Horizontal pode ser Lateral ou Longitudinal.

A Separação Horizontal Lateral obtém-se aplicando às aeronaves caminhos/rotas paralelas ou divergentes (15, 30 ou 45 graus por exemplo), como na Figura 2.1.

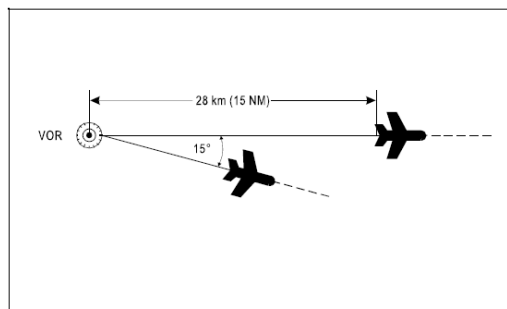


FIGURA 2.1: Separação Lateral VOR-15°
[1]

A Separação Horizontal Longitudinal obtém-se aplicando às aeronaves a voar no mesmo caminho, distâncias entre elas (por exemplo 15 ou 10 Milhas Náuticas) ou tempos de passagem entre elas (15, 10, 5 ou 3 minutos) em determinados pontos, de forma a garantir o mínimo de separação (Figura 2.2).

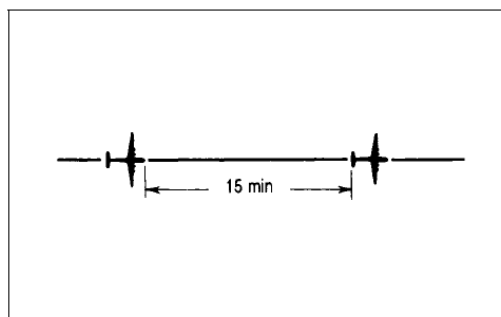


FIGURA 2.2: Separação Longitudinal em Tempo-15 minutos
[1]

O valor do mínimo de Separação Radar depende do local onde se aplica. É estabelecida pela Autoridade ATS competente, e implica que, na ausência de Separação Vertical, uma aeronave nunca esteja a uma distância inferior a esse valor de outra aeronave, seja qual for o seu caminho.

2.3 Vigilância

2.3.1 Definição de Vigilância

Segundo a ICAO, a definição de vigilância ATS é “um termo usado para indicar um serviço providenciado directamente por meio de um sistema de vigilância ATS” [1].

2.3.2 Categorias de Vigilância

Existem diversas categorias de vigilância no panorama do controlo de tráfego aéreo actual, como ilustrado na Figura 2.3 [2]:

- **Vigilância Independente não-Cooperativa**

Este tipo de vigilância não necessita de nenhum equipamento a bordo para desempenhar a sua função, sendo portanto independente da aeronave. Exemplos são o Radar Primário e Radar de Solo.

- **Vigilância Independente Cooperativa**

Neste tipo de vigilância, a aeronave necessita equipamento específico que permita descodificar e responder a interrogações feitas pelo sistema de solo. São exemplos Radar Secundário, Modo S, *Multilateration*.

- **Vigilância Dependente Cooperativa**

Os sistemas a bordo transmitem a posição da aeronave para os sistemas no solo, sem que haja necessidade de intervenção da tripulação. Exemplos são o ADS-B (IN e OUT) e ADS-C.

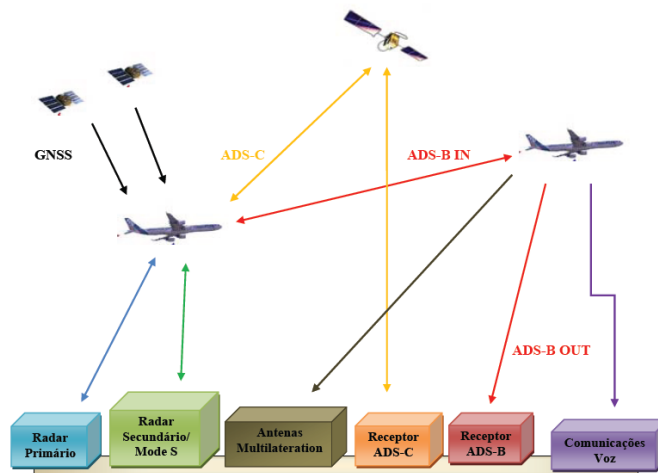


FIGURA 2.3: Formas de Vigilância Actuais

2.4 Radar (PSR, SSR, Modo S), Multilateration (MLAT) e ADS-C

2.4.1 Radar (PSR, SSR, Modo S)

O Radar Primário, *Primary Surveillance Radar* (PSR), funciona emitindo um impulso de energia que, ao atingir o "alvo", retorna ao emissor. Sabendo a velocidade de propagação do impulso e da posição da antena no momento da emissão, consegue saber-se a distância e azimute do alvo.

O Radar Primário é a principal forma de vigilância independente, não requerendo qualquer tipo de equipamento a bordo da aeronave. No entanto, em terra, tem necessariamente de existir uma antena emissora de grande potência para o impulso ter energia suficiente para ser captado depois de atingir o alvo e voltar. Estas antenas são giratórias e de grande dimensão, por isso necessitam de manutenção adicional na parte mecânica além do facto de ocuparem uma área considerável e ser necessária a sua colocação em locais onde consigam um grande alcance, ou seja, onde a sua emissão não seja bloqueada por edifícios ou por formações montanhosas.

Uma outra forma de vigilância é o Radar Secundário ou *Secondary Surveillance Radar* (SSR). Este sistema requer que a aeronave possua equipamento específico denominado *transponder*, constituído por um aparelho simultaneamente receptor e emissor, que gera um sinal de resposta após a devida interrogação. A interrogação é feita pela antena do radar no solo na frequência 1030Mhz e a resposta, originada a bordo, em 1090MHz. Esta contém um código de 4 dígitos, Modo A (fornecido pelo controlador de tráfego aéreo e introduzido no equipamento pelo piloto), e a altitude, Modo C (derivada do sistema altimétrico da aeronave).

O SSR calcula o azimute e distância dos alvos com base na posição da antena no momento da emissão do impulso, na velocidade de propagação desse impulso e no tempo de atraso entre a recepção da interrogação e transmissão da resposta. Assim o controlador visualiza no seu ecrã radar um alvo acompanhado por uma etiqueta de identificação com os seus dados individuais.

Apesar de não existir necessidade de uma antena no solo tão grande como no radar primário, (pois há necessidade de emitir energia apenas para a ida e a aeronave emite energia para o regresso), esta continua a necessitar de manutenção mecânica e a sofrer de distorções em situações de vento forte quando não existe cúpula.

Tal como no caso do Radar Primário, existem algumas limitações de cobertura e capacidade resultantes da linha de vista e obstáculos de terreno como montanhas e edifícios.

À medida que as antenas continuam a rodar (uma vez a cada 4-12 segundos), cada aeronave será continuamente interrogada e irá responder a cada varrimento consecutivo, resultando num movimento progressivo no ecrã do controlador onde poderão estar representadas rotas. Nestes ecrãs radar aparecem também as áreas terminais, áreas perigosas, linhas geográficas, etc., permitindo assim ao controlador assegurar que todo o tráfego mantém as rotas que lhe foram atribuídas, altitudes e velocidades.

O sistema Modo S funciona como o SSR, residindo a diferença no facto de cada *transponder* possuir um *address* de 24 *bits* exclusivo. A identificação do voo, colocada pelo piloto, deve corresponder à identificação do voo especificada no item 7 do plano de voo previsto pela ICAO.

2.4.2 *Multilateration* (MLAT)

Multilateration é uma técnica de vigilância onde o sinal emitido por uma aeronave ou veículo de solo é recebido por vários sensores de solo na sua proximidade.

O sinal do *transponder* transmitido em 1090MHz, resultante de interrogações de pelo menos uma antena emissora, obrigatoriamente existente na área a cobrir, é recebido por pelo menos 4 sensores colocados na área.

O processador central baseia-se no cálculo dos TDOA (*Time Difference of Arrival*), lapsos de tempo na recepção desse sinal pelos vários sensores, e estima a partir daí a posição da aeronave, calculando essas diferenças que, apesar de serem da ordem das centésimas de micro-segundos, são perfeitamente detectáveis pela tecnologia de alta precisão do sistema de processamento central [3].

Comparando os tempos de chegada entre três receptores/sensores, determina-se a posição 2D da aeronave, que pode ser utilizada para vigilância no solo de um aeroporto.

Para obtermos um terceiro parâmetro (altitude) são necessários quatro ou mais sensores, obtendo-se assim a posição da aeronave em 3D. Na prática, tanto para vigilância no solo ou em voo, são utilizadas mais que 3 ou 4 antenas, para existir maior redundância e possibilidade de monitorizar não uma mas várias aeronaves (Figura 2.4).

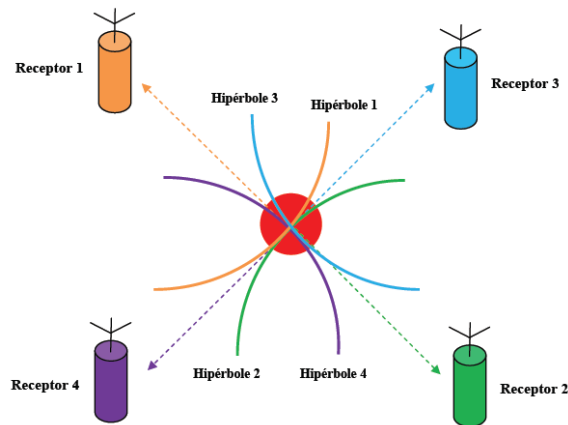


FIGURA 2.4: Esquema de Funcionamento do Sistema MLAT

Esta tecnologia apresenta-se como uma solução elegante para o período de transição entre vigilância radar e ADS-B, pois por um lado o seu sistema é desenhado de modo a poder descodificar mensagens ADS-B, e por outro funciona com respostas do *transponder*, podendo portanto ser considerada uma solução imediata, sem necessidade de modificações a bordo e como um sistema de arquitectura e custo relativamente baixo.

2.4.3 Automatic Dependent Surveillance Contract (ADS-C)

Segundo a ICAO, “ADS-C é um meio pelo qual os termos do contrato ADS-C são trocados entre os sistemas de solo e a aeronave, por uma ligação de dados, especificando sob que condições os reportes devem ser iniciados, e que dados devem ser incluídos nos seus reportes” [1].

O conceito do ADS-C é o de reportar, de forma automática, informação proveniente dos sistemas a bordo para o sistema de solo, de acordo com o contrato pré-definido (excepto em emergências) (Figura 2.5).

É usado para zonas oceânicas e remotas, no controlo tipo convencional.

Existem três tipos de contrato: **periódico**, a **pedido** ou segundo um **evento** [4]:

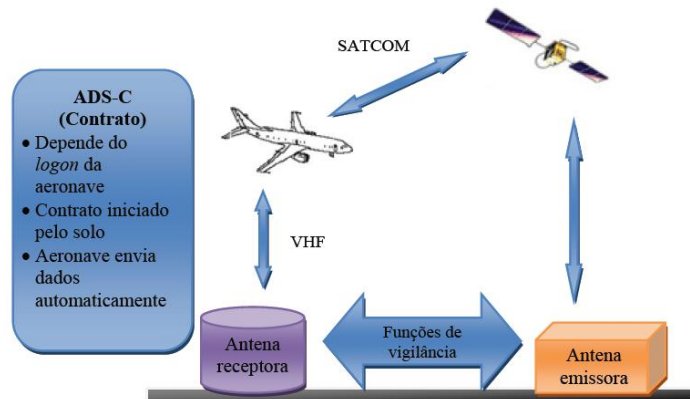


FIGURA 2.5: Funcionamento do Sistema ADS-C

- O primeiro permite ao controlador especificar a frequência com que se efectuam os reportes e que dados opcionais deverão ser incluídos nos reportes, normalmente a cada 15 a 30 minutos;
- O contrato a pedido é, como o nome indica, um reporte requisitado pelo controlo, que deverá incluir quaisquer dados pedidos por este. Podem ser efectuados a qualquer altura e não interferem com contratos já existentes;
- Contrato segundo um evento especifica os pedidos de reportes aquando de algum evento, como por exemplo:
 - Mudança da razão de subida;
 - Desvios laterais;
 - Mudança de *waypoint*.

Todos estes contratos são iniciados pelo solo e não podem ser alterados pelos pilotos. Cada contrato permanece em vigor até que o evento a que se destina seja alcançado, ou até que o contrato seja cancelado pelo sistema de solo.

Tem um alcance ilimitado, graças às comunicações SATCOM e *Data Link HF*.

2.5 *Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B)*

A definição de ADS-B da ICAO é a seguinte: “Um meio pelo qual a aeronave, veículo de Aeródromo e outros objectos podem automaticamente transmitir e/ou receber dados como identificação, posição e dados adicionais, quando apropriado, em modo de transmissão por uma ligação de dados” [1].

2.5.1 Princípios de Funcionamento

O ADS-B funciona transmitindo regular e frequentemente reportes de posição. Os reportes são enviados sem que haja qualquer pedido, recebidos por antenas receptoras no solo (ADS-B OUT), e também por qualquer aeronave na sua área de alcance, desde que esteja equipada com os sistemas necessários a bordo (ADS-B IN) (Figura 2.6).

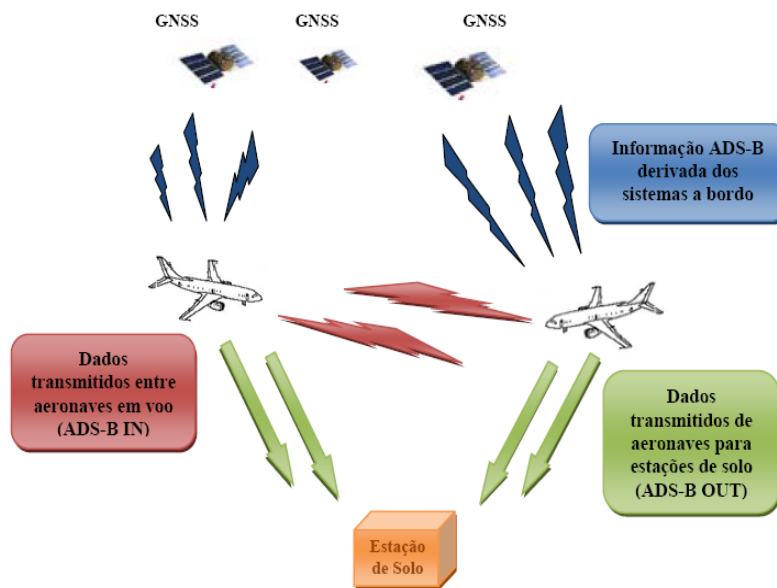


FIGURA 2.6: Funcionamento do Sistema ADS-B

É **automático** no sentido em que não há necessidade que a tripulação efectue alguma acção, **dependente** porque a informação enviada baseia-se nos aviónicos a bordo (um pouco como o SSR, depende de a aeronave estar equipada com *transponder*) e **broadcast** porque envia informação sem que haja qualquer interrogação. O seu princípio é o de enviar o maior número de reportes possível de modo a que estes sejam capturados pelo maior número de receptores possíveis [2].

Assim, possibilita-se a vigilância com um alcance teórico de 250-300 MN em linha de vista com o receptor de solo, e a vigilância ar-ar (entre aeronaves em voo).

No solo, é necessário que existam infra-estruturas (estações receptoras) que descodifiquem o sinal emitido e que o integrem, com outros dados de vigilância, para que sejam disponibilizados ao controlador.

No ar, para que este sistema funcione plenamente, é necessário que todas, ou pelo menos a grande maioria das aeronaves, estejam equipadas com a possibilidade de receber dados ADS-B. Da mesma

forma que o tráfego não equipado com *transponders* não é identificado pelo TCAS nem evita colisões, o mesmo acontece com o ADS-B. Uma aeronave que transmita dados ADS-B, mas não esteja rodeada por nenhuma aeronave equipada com este sistema, não será visto nos seus *cockpits* nem verá as aeronaves vizinhas.

2.5.2 Dados Transmitidos

Os dados transmitidos contêm, no mínimo, a seguinte informação [2]:

- Posição horizontal da aeronave;
- Identificação da aeronave;
- Altitude barométrica.

Outros dados podem também ser incluídos na mensagem, como:

- Indicador de urgência/emergência;
- IDENT-“Special Position Indicator” (SPI).

2.5.3 Tecnologia Utilizada e Modificações a Bordo

Existem três principais tecnologias candidatas para o ADS-B: Modo S ES (*Extended Squitter*), VDL Mode 4 (*VHF Digital Link*) e *Universal Access Transceiver* (UAT).

O Modo S ES é uma extensão da funcionalidade do *transponder* Modo S do mesmo *transponder* de SSR, que pode transmitir reportes de posição.

Tanto o VDL4 e o UAT são sistemas novos, que requerem aviônicos adicionais. Assim, e dado que não existe ainda um mandato obrigatório para utilização de qualquer uma destas tecnologias, o Modo S ES é o candidato principal no panorama europeu, visto não necessitar de grandes modificações.

O equipamento necessário depende das aplicações a que se destina. Para as aplicações de vigilância ADS-B, a capacidade *Extended Squitter* do Modo S do *transponder* suporta a transmissão de dados para recepção por estações de solo [5].

Para aplicações de vigilância a bordo, a aeronave necessita estar equipada com equipamento “ADS-B IN” que suporte a recepção e processamento dos dados ADS-B, transmitidos pelo tráfego circundante, para visualização no cockpit, através do *Cockpit Display of Traffic Information* (CDTI) (Figura 2.7).



FIGURA 2.7: *Cockpit Display of Traffic Information* [6]

Os 112 bits do *Extended Squitter* estão divididos da maneira que consta na Figura 2.8.

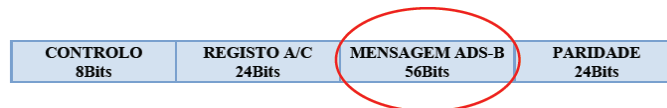


FIGURA 2.8: 112 bits do *Extended Squitter*

De notar que estão reservados 56 bits para a transmissão de dados ADS-B.

2.5.4 Aplicações

As aplicações de vigilância ADS-B são as seguintes:

- Aplicações de vigilância de solo;
- Aplicações de vigilância a bordo.

As aplicações de vigilância de solo têm como objectivo melhorar a vigilância das aeronaves no solo para espaço aéreo em rota, TMA e na superfície do aeroporto, assim como providenciar os meios necessários para que os dados do ADS-B cheguem às ferramentas utilizadas pelos controladores de tráfego aéreo. Estas aplicações são:

- Vigilância ATC em áreas não-radar (ADS-B NRA);

- Vigilância ATC em áreas radar (ADS-B RAD);
- Vigilância na superfície do aeroporto (ADS-B APT);
- Dados derivados da aeronave para ferramentas de solo (ADS-B ADD).

Por outro lado, as aplicações de vigilância a bordo visam melhorar a vigilância a bordo da aeronave em voo em espaço aéreo em rota e TMA, bem como na superfície do aeroporto. Estas são:

- Percepção situacional melhorada durante operações de voo (ATSA-AIRB);
- Percepção situacional melhorada na superfície do aeroporto (ATSA-SURF);
- Separação visual melhorada em aproximação (ATSA-VSA);
- Procedimento IN-TRAIL em espaço aéreo convencional (ATSA-ITP);
- *Sequencing & Merging* (ASPA-S&M).

Resumindo, com o ADS-B existem possibilidades permitidas como se vê na Figura 2.9.

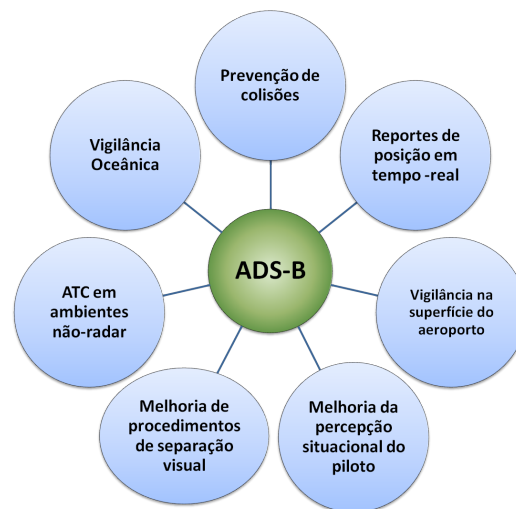


FIGURA 2.9: Possibilidades Permitidas com ADS-B (adaptado de [7])

2.5.5 Vantagens

Vantagens relativamente a outras tecnologias utilizadas para vigilância:

- Estações de solo mais pequenas e reduzido trabalho de manutenção. Instalação relativamente fácil;

- Dados muito precisos, uma vez que derivam directamente dos sistemas de bordo (baseados em GPS);
- Taxa de refrescamento de aproximadamente 0,5 segundos (muito mais alta que os radares convencionais);
- Sem necessidade de grandes modificações aos aviónicos já existentes (usando *transponder Modo S Extended Squitter*);
- Não sofre dos mesmos problemas que os radares convencionais (cones de silêncio, áreas cegas, ocorrência de *garbling* e *fruit*, etc.);
- Modo relativamente económico de providenciar um sistema de vigilância em áreas onde o preço alto da instalação de um sistema PSR/SSR não se justifica, ou onde já haja uma fonte de vigilância mas seja necessário introduzir redundância;
- Benefícios ecológicos, ao reduzir as emissões de CO₂, ao permitir mudanças de nível de voo mais rápida e facilmente para outros onde o consumo de combustível seja mais eficiente.

2.6 Evolução Mundial

O *Safe Flight 21* é um esforço cooperativo entre o governo e a indústria para desenvolver capacidades melhoradas para o *Free Flight* envolvendo tecnologias CNS (*Communication, Navigation, Surveillance*). Para pilotos, o programa inclui informação de tráfego, meteorologia e terreno, enquanto que para os controladores inclui uma informação melhorada e mais precisa do tráfego.

Um caso concreto é o da United Parcel Service (UPS), que tem a sua base em Louisville, Kentucky, EUA, onde a maior parte da sua carga é processada para posterior distribuição. No aeroporto Louisville existe uma situação única para um período da noite, na qual quase todos os voos que aterram e partem são operados pela UPS.

Deste modo, e de forma totalmente voluntária, a UPS equipou a sua frota com o sistema ADS-B e desta forma monitoriza o seu tráfego. Usando o sistema ACARS, a uma distância até 200 MN do seu destino, o controlo envia *speed advisories* aos pilotos de forma a estes ajustarem a velocidade da aeronave para ganhar ou perder tempo, de modo a obterem a sequência desejada para a aproximação. Uma vez que a aeronave esteja ao alcance do sistema ADS-B, o piloto poderá utilizar o sistema para se separar com mais precisão do tráfego convergente durante a aproximação.

Assim, a gestão e coordenação de todos os (muitos) voos que chegam e partem de Louisville é monitorizada com mais precisão, fazendo com que os atrasos, que tanto prejudicam a cadeia de chegadas e partidas, sejam mitigados, poupando-se assim tempo, combustível e reduzindo as emissões de CO₂.

Além de Louisville, o ADS-B está a ser utilizado para monitorizar o tráfego no Golfo do México, local onde não existia nenhum sistema de vigilância nessa área. Desta forma, várias antenas ADS-B estão a ser colocadas ao longo da linha de costa e em plataformas petrolíferas, que abundam nessa zona. Como a maior parte do tráfego é constituído por helicópteros que voa de e para as plataformas petrolíferas, e dado que a área não possui cobertura radar, o ADS-B vem encurtar os mínimos de separação, visto haver assim possibilidade de as aeronaves se verem umas às outras e de estarem visíveis no *display* dos controladores (Figura 2.10).

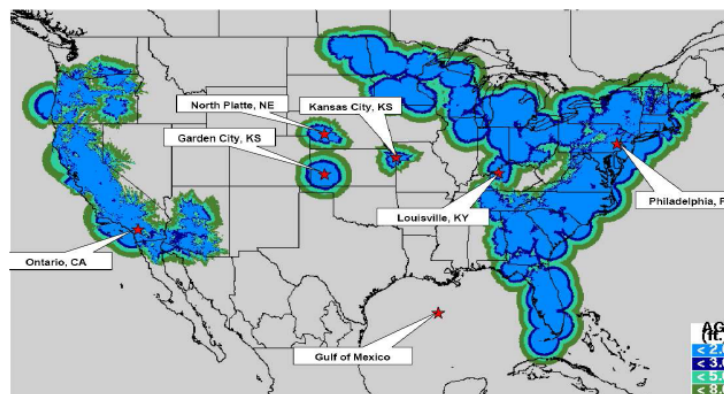


FIGURA 2.10: Locais de Implementação ADS-B
[6]

Ainda nos EUA, zonas sem cobertura radar, ou com cobertura deficiente, como por exemplo Filadélfia, Ontário, Golfo do México e Havai são candidatas a receber este sistema de vigilância, onde já estão a decorrer ensaios ADS-B [8].

Inserido no programa *Safe Flight 21*, existe o sub-programa Capstone. Este é um esforço da FAA para melhorar a segurança em voos na região do Alasca [9]. O programa inclui a instalação de infra-estruturas no solo e baseia-se em tecnologias que utilizem GPS como sistema de localização, como o ADS-B. Este programa visa servir a área de Yukon-Kushokwim e Delta/Bethel, zonas que têm nula ou reduzida cobertura radar. A Figura 2.11 mostra os locais onde já existem ou estão a ser colocadas antenas ADS-B.

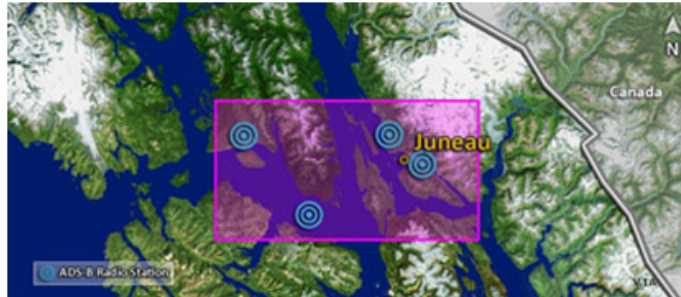


FIGURA 2.11: Locais de Implementação no Alasca [9]

2.7 Evolução Europeia

Ao contrário dos EUA, a Europa não possui um espaço aéreo único, o que pode trazer alguns entraves visto que o controlo do espaço aéreo é feito por vários intervenientes.

Por isso, em 2004 a Comissão Europeia lançou a iniciativa *Single European Sky*, ou Céu Único Europeu, com o intuito de reformular a arquitectura do *Air Traffic Management* (ATM) Europeu. O seu objectivo é fazer uma aproximação legislativa que vá de encontro às necessidades de segurança e capacidade do tráfego europeu e não de apenas uma única nação. Só assim se consegue providenciar um nível elevado de segurança e eficiência nos céus europeus.

Para pôr isto em prática, criou-se o SESAR (*Single European Sky ATM Research*), que é a dimensão tecnológica do Céu Único Europeu. Assim, consegue-se mudar o paradigma actual no que toca a ATM, suportado por tecnologia *state-of-the-art*.

Inserido neste contexto, criou-se então o Programa CASCADE (*Co-operative ATS through Surveillance & Communication Applications Deployed in ECAC*), gerido pelo EUROCONTROL, que é uma ramificação do SESAR, focando a análise, segurança e sustentabilidade da implementação do ADS-B como tecnologia de vigilância de tráfego aéreo [10].

Sendo que existem várias regiões, e diferentes tipos de aplicações ADS-B, foram criados dentro do CASCADE várias aplicações denominadas CRISTAL (*Co-operative Validation of Surveillance Techniques and Applications*). Vários CRISTAL foram criados conforme as várias regiões e países da Europa.

No caso de Portugal, a implementação está a ser dirigida pela NAV-Portugal, que, inserida no CRISTAL MED, está a caminhar para a implementação deste novo sistema de acordo com os padrões europeus.

2.8 Conclusão

O ADS-B, mercê do seu potencial de desenvolvimento, baixo custo de implementação e manutenção e capacidade de integração com sistemas já em utilização, constitui uma ferramenta poderosa para fazer face ao aumento de tráfego, contribuindo ao mesmo tempo para baixar os custos operacionais e ambientais.

Capítulo 3

Caso de Estudo

3.1 Introdução

Neste capítulo abordaremos o programa CASCADE e de que forma este influi na introdução do ADS-B no panorama global europeu. De seguida focaremos as experiências CRISTAL, nos seus intervenientes e nos locais de ensaio e implementação. Por fim, referiremos alguns dos resultados dos inquéritos, nas perspectivas do controlador e piloto, e nas mudanças nos aviónicos no *cockpit*.

3.2 Programa CASCADE

O programa CASCADE coordena a implementação europeia do ADS-B, tanto aplicações ADS-B OUT como ADS-B IN. A primeira já atingiu o *status* de capacidade operacional em 2008, enquanto a segunda está previsto que a adquira em 2011.

Neste contexto surge a iniciativa CRISTAL. Esta consiste em ensaios de validação, como meio de testar esta tecnologia em situações reais, com maior atenção em *pocket areas*, onde a necessidade operacional destas aplicações existe e está a aumentar. Os principais actores destas iniciativas são ANSP (*Air Navigation Service Provider*) locais, operadores aéreos e a própria indústria aeronáutica.

Como resultados, espera obter-se uma avaliação qualitativa e quantitativa dos benefícios, da efectividade e da segurança que advirá com a introdução deste sistema no panorama dos ATC actuais, para que se possa proceder à normalização, certificação e aprovação operacional de todos os requisitos que este sistema envolve: tripulações, controladores de tráfego aéreo, operadores aéreos, entre outros.

Os testes ADS-B estão a decorrer em todo o mundo. Na Figura 3.1 estão indicados as respectivas localizações na Europa.

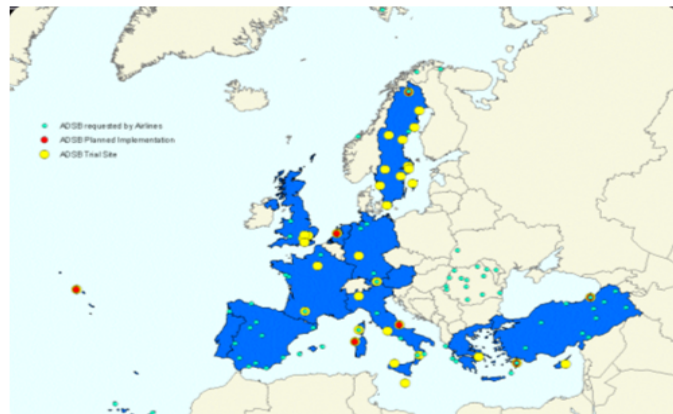


FIGURA 3.1: Desenvolvimento do ADS-B na Europa
[11]

Legenda:

- Países a azul: envolvidos em validações CRISTAL ADS-B;
- Localizações a verde: ADS-B requerido por operadores aéreos;
- Localizações a vermelho: implementação de ADS-B planeada;
- Localizações a amarelo: localização de testes ADS-B.

Mais concretamente, a aplicação ADS-B NRA, que visa providenciar serviços tipo radar em espaço aéreo não-radar, está planeada para a Holanda, Suécia e Portugal. No caso de Portugal, a implementação terá lugar nos Açores, mais concretamente no Grupo Central, ilha do Faial, em conjunto com um sistema *Multilateration* (Figura 3.2).

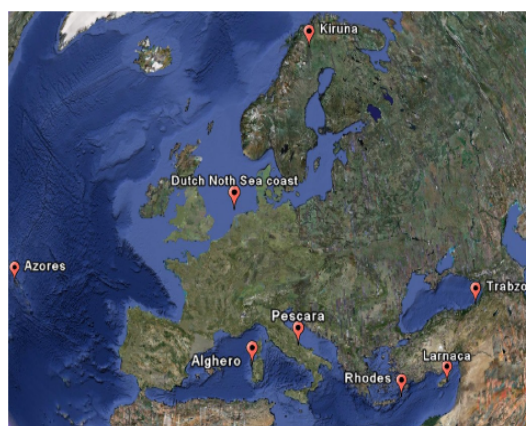


FIGURA 3.2: Locais a Implementar a Aplicação ADS-B NRA na Europa
[12]

3.3 Operadores Aéreos Participantes no Projecto

O objectivo dos operadores aéreos participantes neste projecto pioneiro será obter aprovação de aeronavegabilidade para o uso do ADS-B em ambientes não-radar (ADS-B NRA). Fazem parte deste grupo 18 operadores que perfazem, no total, mais de 400 aeronaves de diferentes tipos. Além de participarem neste projecto pioneiro, alguns operadores cooperam com o programa CASCADE para certificar as suas aeronaves, como é o caso da AIRBUS. Com este projecto, obtém-se assim a validação dos trabalhos realizados, podendo assim passar-se à fase pré-operacional. Os operadores aéreos aderentes ao projecto constam da Tabela 3.1.

Operador Aéreo	Número de Aeronaves
Aegean Air	11
Air Europa	20
Air France	22
Air Mediterranee/Airconseil	7
Air One	12
Airbus Transport Internacional	5
British Airways	20
CCM airlines	10
Cyprus Airways	4
KLM	63
Lufthansa	20
NIKI	6
Ryanair	115
SAS Scandinavian Airlines	20
TUfly (Hapagfly)	20
Turkish Airlines	42
United Airlines	10
Volkswagen AG Air Services	2

TABELA 3.1: Operadores Aéreos Aderentes ao Projecto
[13]

No total estão envolvidas 409 aeronaves, distribuídas na Tabela 3.2, segundo o fabricante e modelo.

Fabricante	Modelo
AIRBUS	A319/A320/A321/A330
ATR	ATR72
Boeing	B737-600/B747-400/B777-200/MD11
Dassault	Falcon 2000

TABELA 3.2: Tipo e Modelo de Aeronaves Envolvidas no Projecto
[13]

3.4 Aplicações

3.4.1 Aplicações de Vigilância

Estas aplicações incluem o ADS-B como fonte de informação de vigilância, quer seja para melhorar a já existente, quer seja para a implementar em locais onde antes, por razões económicas ou

técnicas, a plataforma física não existia. Neste contexto, abordaremos de seguida em detalhe as seguintes aplicações:

- Vigilância ATC em áreas não radar (ADS-B NRA);
- Vigilância ATC em áreas radar (ADS-B RAD);
- Vigilância na superfície do aeroporto (ADS-B APT);
- Dados derivados da aeronave para ferramentas de solo (ADS-B ADD).

3.4.1.1 Vigilância ATC em Áreas não-Radar (ADS-NRA)

Hoje em dia, as separações em espaço aéreo não-radar são conseguidas através de métodos convencionais. Dado que o controlador não tem um conhecimento preciso da posição da aeronave, as separações têm de ser bastante maiores, comparativamente aos valores de separação existentes em espaço aéreo com cobertura radar. Com a introdução do ADS-B, poderão ser utilizadas separações de 5 MN (ou ainda 3 MN quando aprovadas pelo ATC), em áreas onde sem aquele seriam convencionais e logo maiores [14].

Esta aplicação serve para fornecer informação de vigilância baseada somente em reportes ADS-B para espaço aéreo de baixa densidade em rota e TMA. Como exemplos temos aeroportos regionais, plataformas petrolíferas e pequenas ilhas que, devido a factores como a localização, quantidade de tráfego e custos dos equipamentos, não justificam a instalação de um radar, sendo no entanto óptimos candidatos para a implementação de um sistema ADS-B. Também áreas onde o radar existente esteja para ser descontinuado, devido aos custos de manutenção ou melhoria do equipamento, são bons exemplos.

A informação dada pelo sistema ADS-B e representada no ecrã situacional pode ser usada para realizar as seguintes funções num serviço de controlo de área e controlo de aproximação em áreas NRA [15]:

- Fornecer serviços de vigilância ATS quando necessário para melhorar a utilização do espaço aéreo, redução de atrasos, criar rotas directas e perfis de voo óptimos, bem como melhorar a vigilância;
- Providenciar vectorização à aeronave à partida, com o propósito de facilitar um tráfego mais expedito e eficiente juntamente com uma subida mais expedita para nível de cruzeiro;

- Providenciar vectorização para a aeronave com o propósito de resolver potenciais conflitos;
- Providenciar vectorização à aeronave que chega com o propósito de estabelecer uma sequência de aproximação mais expedita e eficiente;
- Providenciar vectorização para ajudar os pilotos na sua navegação, como por exemplo, para ir/vir de uma rádio-ajuda, evitar ou contornar áreas de tempo adverso, ou durante alturas de dificuldades de navegação a bordo ou falha do sistema;
- Providenciar separação, manter o fluxo de tráfego normal e monitorizar o progresso da aeronave quando esta experimenta falha de comunicações.

3.4.1.2 Vigilância ATC em Áreas Radar (ADS-B RAD)

Dado que existem múltiplas variações do ambiente radar (em rota, áreas terminais de média e alta densidade), é possível a implementação de múltiplas combinações de radar com ADS-B. O objetivo da aplicação ADS-B RAD é complementar ou substituir uma ou mais camadas de radar (PSR e/ou SSR) em espaço aéreo radar. A integração dos dados fornecidos por estas duas fontes melhora a função de vigilância a custos mais baixos, visto que a introdução de sistemas *ADS-B* como forma de redundância de dados de vigilância tem menos implicações financeiras que a instalação de um sistema radar.

A introdução do ADS-B não deverá criar mudanças nos papéis e responsabilidades de todos os intervenientes no panorama do ATC, simplesmente acrescenta mais uma fonte de onde provêm dados de vigilância.

A integração dos dados ADS-B com os dados radar (ADS-B RAD) pode providenciar melhorias na função de vigilância ao [16]:

- Permitir o processo de *tracking*, usando os dados ADS-B em vez de dados radar quando as respostas radar são *overlaped*. Este é um problema conhecido no qual a intervenção de ambos, controlador e piloto, é necessária para manter a identificação;
- Adquirir dados de vigilância em cones de silêncio, áreas de baixa altitude e outras áreas onde o radar, devido à propagação na linha de vista, tem limitações;
- Permitir que o número de antenas necessárias para fornecer dados de vigilância seja minimizado;

- Providenciar, de maneira economicamente viável, a redundância requerida (isto é, dupla cobertura de vigilância) para alcançar um nível específico de continuidade no serviço. Além disso, a diversidade de redundância providenciada por um tipo de sistema completamente diferente, sujeito a diferentes riscos dos do radar, minimiza a probabilidade de falha total;
- Melhorar a precisão de *tracking*, principalmente devido à frequência elevada de reportes e à alta precisão da informação do GPS;
- Permitir ao sistema ATC adquirir directamente a identificação da aeronave.

Espera-se que os custos das infra-estruturas multi-radar sejam reduzidos, ao se substituírem os radares - que providenciam redundância, por estações ADS-B - que são menos dispendiosas de instalar e manter (que as estações de radar actuais). Para tal, o sistema multi-radar actual tem de ser modificado para que se possa processar ADS-B como fonte adicional.

A aplicação ADS-B RAD é concebida para suportar, e em alguns casos melhorar, os serviços de tráfego aéreo através da adição de vigilância ADS-B, em áreas onde a vigilância radar já existe.

3.4.1.3 Vigilância na Superfície do Aeroporto (ADS-B APT)

A aplicação ADS-B APT fornecerá uma nova forma de vigilância para movimentos de solo de aeronaves e veículos em aeroportos controlados, tornando-os mais seguros e eficientes. A identidade de aeronaves ou veículos no solo será transmitida via ADS-B.

Neste caso o ADS-B poderá ser utilizado como único meio de vigilância, ou então, em complemento de outros sistemas como o Radar de Solo ou MLAT [17].

3.4.1.4 Dados Derivados da Aeronave para Ferramentas de Solo (ADS-B ADD)

Esta aplicação fornece dados adicionais derivados da aeronave (como velocidade, direcção, altitude seleccionada) através do ADS-B para o uso na vigilância [17].

De notar que esta aplicação apenas fornece dados adicionais às ferramentas já existentes no solo; portanto é necessário que estas existam *à priori* para que a aplicação possa ser utilizada.

3.4.2 Aplicações de Vigilância a Bordo

As aplicações de vigilância a bordo destinam-se a melhorar a percepção situacional de tráfego a bordo, pois os pilotos terão à sua disposição, e em tempo real, informação sobre o tráfego circundante, em voo, aterragem, descolagem e operações na placa e pista.

3.4.2.1 Percepção Situacional Melhorada durante Operações de Voo (ATSA-AIRB)

Esta aplicação melhora a percepção situacional do tráfego para rolagem, em qualquer condição meteorológica e em qualquer espaço aéreo, seja controlado ou não. Os dados adicionais disponibilizados no *display* de tráfego a bordo (CDTI) complementam a informação de tráfego dada às tripulações pelos controladores.

3.4.2.2 Percepção Situacional Melhorada na Superfície do Aeroporto (ATSA-SURF)

Esta aplicação destina-se a melhorar a percepção situacional do tráfego para operações na superfície do aeroporto tanto para táxi ou operações na pista, em qualquer condição meteorológica.

3.4.2.3 Separação Visual Melhorada em Aproximação (ATSA-VSA)

Esta aplicação permite às tripulações manter a separação visual da aeronave precedente. Assim, os procedimentos de aproximação visual, nas quais a tripulação fica responsável em manter a própria separação, ficam facilitados.

3.4.2.4 Procedimento IN-TRAIL em Espaço Aéreo Convencional (ATSA-ITP)

A aplicação *In-Trail* (ATSA-ITP) permite às tripulações realizar mais frequentemente as mudanças de nível desejadas em espaço aéreo convencional [17]. Este procedimento está previsto para espaço aéreo oceânico (Atlântico Norte) ou remoto, sem cobertura radar, onde se aplicam separações convencionais. Desta maneira, em vez das grandes separações obrigatórias para se cumprirem os requisitos de segurança, podem existir separações menores (10 MN em vez das habituais 80 MN). Assim, são permitidas mudanças para níveis de voo mais favoráveis, quer seja para diminuir consumo de combustível, alcançar níveis de voo com ventos mais favoráveis, ou deixar os níveis de voo que apresentam maior turbulência.

3.4.2.5 *Sequencing & Merging (ASPA- S&M)*

A aplicação *Sequencing & Merging* (S&M) providencia um procedimento de controlo de tráfego aéreo que permite às tripulações obterem e manterem uma dada separação horizontal de uma aeronave alvo, através de sistemas ASAS (*Airborne Separation Assistance Systems*). O objectivo desta aplicação é melhorar a gestão do tráfego de chegadas, em particular a precisão do espaçamento, e aumentar a disponibilidade do controlador através da distribuição de tarefas entre este e o piloto, em relação ao sequenciamento e fusão do tráfego [17].

3.5 Inquéritos

Após a realização dos vários CRISTAL, em diversos países e tipos de espaço aéreo, colheram-se as opiniões dos principais utilizadores deste sistema, descritas a seguir. Os controladores, como principais utilizadores de informação ADS-B em áreas radar e não-radar, e os pilotos, principais actores na melhoria da percepção situacional com a utilização de dados ADS-B. Além disso, sublinham-se as opiniões de ambos relativamente à introdução de novos dados no *cockpit*, através do CDTI [17], [18].

3.5.1 Controladores

Tanto pilotos como controladores vêm interesse em partilhar informação sobre o tráfego.

Relativamente às comunicações R/T, a opinião está dividida. Por um lado metade dos controladores participantes pensam que a duração das comunicações deve aumentar, devido à fraseologia que usa a identificação da aeronave soletrada e que ocupa muito a frequência, e também devido ao aumento dos pedidos e queixas dos pilotos. Contudo, outra metade espera uma diminuição na duração das comunicações R/T devido a menos comentários por parte dos pilotos, em particular quando estes recebem informação de tráfego para se manterem informados da situação e saberem com o que podem contar por parte do ATC, bem como perceberem algumas decisões que num contexto normal seriam contestadas.

De acordo com alguns controladores, o número de informações de tráfego pode aumentar, por exemplo para informar o piloto sobre o que ele pode ver no CDTI, mas também para responder aos pedidos dos próprios pilotos; outros controladores acharam que o número de informações de tráfego poderia diminuir, pois menos mensagens seriam necessárias, dado que a informação da situação de tráfego circundante está mais disponível aos pilotos.

Não surgiu nenhuma evidência quanto à necessidade de se apresentar informação relativa ao equipamento da aeronave. Por um lado poderia ser útil antecipar a colaboração por parte dos pilotos, mas por outro o facto de todas as aeronaves serem tratadas de igual modo facilita o trabalho do controlador, ao tornar os seus métodos de trabalho mais simples, e cada parte (piloto e controlador) manter assim os seus papéis e prerrogativas.

As tarefas de comunicação poderão ser reduzidas graças à menor repetição da informação de tráfego ou, graças a mais, mas apropriada informação para os pilotos, de modo a que fiquem mais ao corrente da situação e assim prevenir pedidos e queixas. Contudo, o risco de aumento de comunicações devido a pedidos excessivos por parte dos pilotos existe, bem como a possibilidade dos controladores sentirem necessidade de dar mais informação de tráfego.

Além disso, o risco de haver pilotos a fazerem o seu próprio ATC ou a desafiarem as suas instruções pode afectar o controlador nas suas tarefas. Isto pode acontecer devido a:

- Regulação inesperada da velocidade por parte dos pilotos na aproximação;
- Manobras não-autorizadas por parte dos pilotos baseadas só na informação do CDTI;
- Pedidos abusivos dos pilotos, como por exemplo passar à frente de aeronaves de uma companhia aérea concorrente.

Este risco deve ser mitigado através do treino dos pilotos para o uso correcto do CDTI e da informação nele contida.

Por fim, não se prevê que sejam necessárias aptidões específicas por parte dos controladores para continuarem a realizar as suas tarefas.

Na Figura 3.3 estão dispostas na forma de gráfico as respostas dos intervenientes quando interrogados da possibilidade de se usar o CDTI na relação e cooperação ar/terra.

Sabemos de antemão que, do lado das tripulações chegam as respostas mais positivas quanto a esse sistema. No entanto, as respostas dos controladores também pendem para a aceitação deste tipo de informação e para a ajuda que este trás para a cooperação entre pilotos e controladores.

3.5.2 Pilotos

Dado que os pilotos surgem como utilizadores fulcrais do CDTI, principal inovação no *cockpit* e seus procedimentos, eis as suas opiniões, divididas por cada aplicação ATSAW.

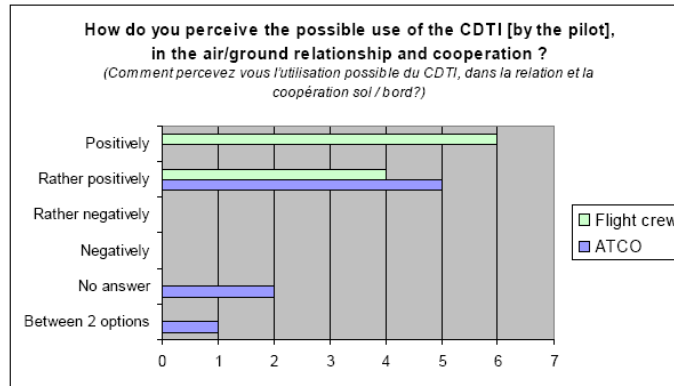


FIGURA 3.3: Impacto do CDTI na Cooperação Ar-Terra [18]

- ATSA-VSA

A informação ADS-B “ajuda as tarefas da tripulação”. Ajuda também a antecipar operações de voo, evoluções do tráfego e permite perceber mais rapidamente as instruções dadas.

Na configuração da aproximação final: “é mais fácil saber se o tráfego vai numa pista paralela, com *track angle*” [18].

Quanto à identificação do tráfego, a correlação entre informação de tráfego por R/T e a representação no ND é melhorada e não há tanto risco de confusão.

A maior parte dos pilotos considera que, mesmo havendo incertezas quanto à correlação entre a aquisição visual humana e a aquisição electrónica no CDTI, a informação ADS-B “suporta melhor a aquisição visual” se comparado com a situação actual sem ADS-B.

Quanto à possibilidade das tripulações ajustarem a velocidade sem pistas visuais, os pilotos entrevistados lembraram que têm que informar o controlador assim que perdem contacto visual e que não podem usar apenas o CDTI.

A informação ADS-B no CDTI melhora a identificação do tráfego durante procedimentos de separação visual e diminui o risco de confusão com outro tráfego pois:

- A identificação da aeronave permite focar mais rapidamente o alvo, no CDTI, sem que haja confusão;
- Juntando à altitude relativa, a posição e orientação do tráfego, suporta melhor a aquisição visual *out-the-window*.

Com a identificação da aeronave, a correlação entre o CDTI e a informação de tráfego por R/T é melhorada. Algumas incertezas ainda existem, visto que mesmo que um alvo seja correctamente identificado no CDTI, a correlação com a situação *out-the-window* ainda depende do desempenho humano e das condições ambientais. Mais, algumas questões também

se colocam em torno da estimativa visual da distância da aeronave precedente, visto que a separação visual é sempre baseada na estimativa visual da distância, que também está intimamente ligada à apreciação humana.

Segundo os pilotos, a informação mais relevante a disponibilizar no CDTI é a seguinte:

- A altitude relativa, que é mais apropriada durante a separação visual na aproximação (evita cálculos mentais para entender a situação e para procurar o tráfego acima ou abaixo durante a aquisição visual);
- O *track angle*, que é preferível ao *heading*;
- A informação de GS e IAS poder ser retirada e isso é bem aceite.

Alguns pilotos lembram que “informação adicional ADS-B pode ser retirada se necessário, o que é bom” e explicam que não iriam carregar informação ADS-B adicional em situações de tráfego denso. Esta informação não deverá aumentar a carga de trabalho das tripulações quer para aquisição visual, quer para manutenção da separação visual. As tarefas adicionais como *crosscheck* são contrabalançadas com a maior eficiência da verificação *out-the-window*.

A informação ADS-B é usada como meio de antecipação, pois o *crosscheck* com as pistas visuais no exterior é sempre obrigatório para confirmar a manobra a realizar.

- ATSA-SURF

No que toca a segurança, a informação ADS-B no *display* de superfície ajuda a tripulação a prever uma situação possivelmente insegura, ao melhorar a percepção situacional através de:

- Percepção da ocupação das pistas e saídas de pista;
- Percepção da ocupação dos *stands*;
- Confirmação de que as autorizações são bem entendidas, especialmente em condições de baixa visibilidade;
- Antecipação na detecção de erros de taxiamento ou ocupação de *stand*.

No entanto, a maioria dos pilotos acredita que mostrar os veículos de solo no *display*, irá criar mais confusão que benefício. Visto que estes tipos de veículos (carros de *push back*, carros de bombeiros, carros de abastecimento, carros de bagagens) têm velocidades muito variáveis e são muito mais manobráveis que a aeronave, faz com que se crie uma constante mudança no tráfego que é mostrado no *display*. Além disso, foi referida a questão económica de equipar todo este tipo de veículos. Caso não seja possível equipar todos os veículos que circulam na superfície do aeroporto, então é preferível não disponibilizar esta informação.

A Figura 3.4 mostra um exemplo da informação que é fornecida aos pilotos através do CDTI, para a visualização da superfície de um aeroporto.

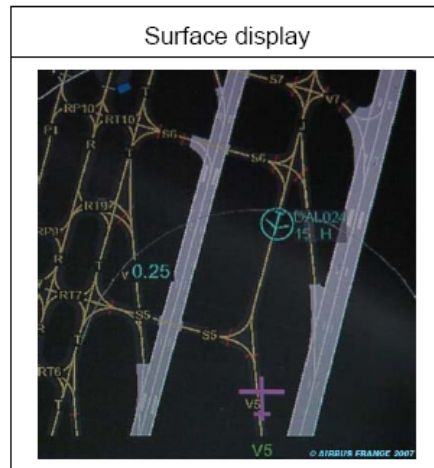


FIGURA 3.4: *Cockpit Display of Traffic Information* - Superfície do Aeroporto [18]

- ATSA-AIRB

O *display* de tráfego com informação ADS-B é bem recebido pelos pilotos pois melhora a sua percepção situacional de tráfego durante operações de voo, comparadas com o *display* de tráfego TCAS.

O CDTI também melhora o entendimento da situação de tráfego em correlação com a verificação *out-the-window* e o escutar das comunicações R/T entre o ATC e o tráfego circundante.

No caso de ser fornecida informação de tráfego por parte do ATC, o CDTI é considerado útil para reduzir certas incertezas relacionadas com a aquisição visual e para detectar eventuais erros de aquisição em situações de tráfego denso. Aliás, a informação ADS-B disposta no CDTI (pelo menos a posição de tráfego, altitude relativa e orientação) melhora a aquisição visual em comparação com a situação actual sem ADS-B.

Apesar de pouco provável em situações de tráfego e carga de trabalho elevadas, o aumento da percepção situacional melhorada pode, em certas circunstâncias, preparar melhor os pilotos para possíveis RA do TCAS.

3.5.3 Aviónicos

Relativamente à avaliação operacional do uso do *display* de tráfego ADS-B, referido como CDTI, as principais conclusões são as seguintes:

- O CDTI contribui para uma melhor percepção situacional de tráfego da tripulação e poderá diminuir o *stress* e esforço para analisar a situação de tráfego durante o voo e operações de superfície;
- A informação ADS-B no *display* a bordo ajuda a tripulação na aquisição visual do tráfego com interesse e diminui o risco de confusão com outro tráfego na vizinhança;
- O CDTI contribui para uma melhor cooperação piloto/controlador graças à melhor compreensão do piloto da situação de tráfego;
- Se usado apropriadamente, o CDTI não causará um impacto de maior na carga de trabalho do piloto, nem na actividade do controlador;
- Deverão ser estabelecidos treino e procedimentos claros no *cockpit* para evitar uso abusivo do CDTI por parte dos pilotos (exemplos: manobras não-autorizadas baseadas somente no CDTI, pedidos abusivos dos pilotos ao ATC, etc.);
- Deverá ser necessário treino também para evitar uso inapropriado do CDTI, neste caso distração, demasiado tempo com a cabeça em baixo, etc..

Relativamente ao *display* de tráfego ADS-B em si, as conclusões mais significativas são que a informação TCAS e ADS-B podem ser integradas no mesmo *display* de tráfego. Tal integração é de particular interesse num ambiente parcialmente equipado com ADS-B, se bem que é considerado necessário o uso de um símbolo integrado para tráfego ADS-B/TCAS, para evitar confusão quando ambas as informações estão disponíveis para a mesma aeronave.

Na Figura 3.5 mostram-se as respostas, quanto ao uso do CDTI por forma a melhorar a segurança.

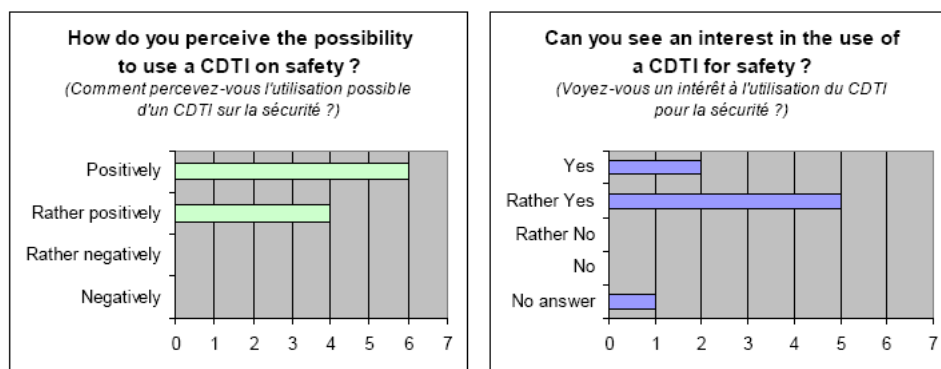


FIGURA 3.5: Percepção do Impacto do CDTI na Segurança - do lado esquerdo as respostas dos pilotos e do lado direito as dos controladores

Como se pode verificar, à parte uma abstenção do lado dos controladores, as respostas são bastante positivas e revelam a boa aceitação do CDTI e informação nele contida, pelas duas partes.

3.6 Conclusão

Os principais benefícios operacionais das aplicações de vigilância a bordo, constatadas por avaliação operacional, são: melhor segurança e eficiência das operações de voo graças a uma melhor identificação de situações perigosas; melhor preparação para os alertas do TCAS; e melhor execução de autorizações ATC.

Além disso, os procedimentos de separação visual na aproximação são melhorados em particular graças a um processo de aquisição visual mais seguro e eficiente. Quanto às operações de superfície, a melhor antecipação de situações de potencial conflito e o melhor entendimento da situação de tráfego tornam-nas mais seguras e eficientes. As autorizações condicionais de taxiamento são também mais eficientes.

Quanto ao ADS-B NRA, as principais conclusões são de que a percepção situacional, a probabilidade de detectar conflitos e a carga de trabalho dos controladores, é mantida ou ainda melhorada. Além disso, ficou provado que a ocupação da frequência de rádio é reduzida.

Com base na análise de dados gravados de simulações em tempo real e em diálogos mantidos com os controladores envolvidos nessas simulações, a opinião geral é a de que a carga de trabalho do ATC beneficia ao existir a possibilidade de se realizarem mudanças de nível mais eficientes com os dados de vigilância disponíveis [18].

Quanto ao ADS-B RAD, a conclusão mais marcante é a de que deveria ser mostrada ao controlador somente a informação requerida para realizar a tarefa pretendida.

Quanto à carga de trabalho, existem melhorias devido a uma melhor precisão e a mudanças mais suaves com os dados ADS-B [18].

Capítulo 4

Análise Custo/Benefício

4.1 Introdução

Neste capítulo pretende apresentar-se, em primeiro lugar, o caso de estudo em território nacional, caracterizando o espaço aéreo sob seu controlo, as suas características e as do tráfego que nele opera.

É retratada a forma como as operações de voo são realizadas, enumerando as ineficiências provocadas pela falta de cobertura de vigilância.

De seguida faz-se a mesma análise, simulando o novo sistema, realçando os benefícios da introdução do novo sistema e estimando os ganhos que advirão após a sua implementação.

Por fim, e dado que nada se realiza sem que haja algum tipo de investimento, apresenta-se uma análise de custo/benefício. Esta foi elaborada com base em dados de outros locais da Europa, com espaço aéreo e características de tráfego semelhantes, extrapolando depois os resultados para o caso nacional, tendo em conta as suas características.

4.2 Caracterização do Espaço Aéreo

O espaço aéreo sob controlo Português está dividido em duas Regiões de Informação de Voo (RIV): a RIV de Lisboa e a RIV de Santa Maria. Esta última compreende a TMA de Santa Maria como se vê na Figura 4.1. Faz fronteira com as RIV de Nova Iorque, Gander, Shanwick, Lisboa, Canárias, Sal, Madrid, Dakar e Piarco.

O Arquipélago dos Açores é constituído por 9 ilhas, divididas em 3 grupos e compreendidas entre os meridianos 25°-31.5°W e os paralelos 36.5°-40°N, numa área de 335MN por 54MN (Figura 4.2).

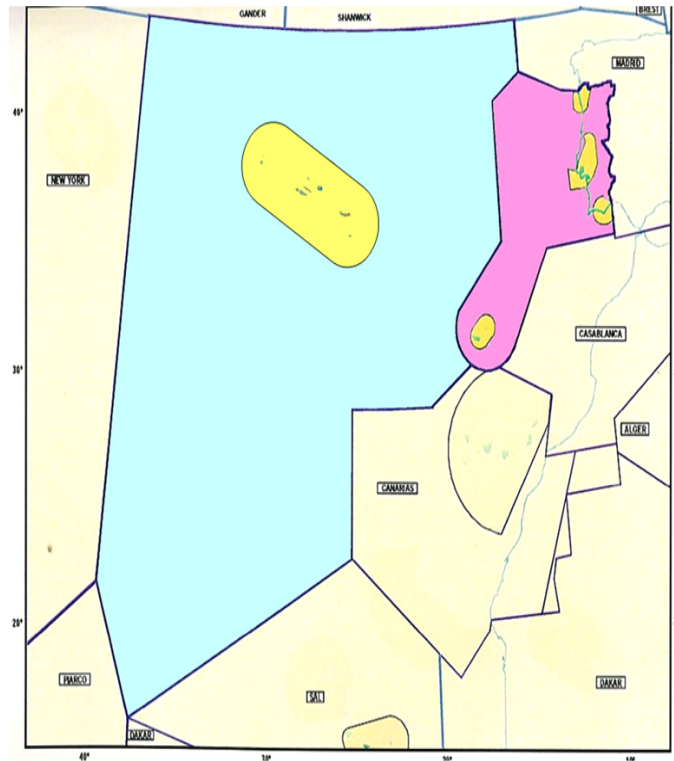


FIGURA 4.1: RIV Santa Maria (azul), RIV Lisboa (rosa) e TMA de Santa Maria (amarelo) [19]

A Oeste temos o Grupo Ocidental, composto pelas ilhas das Flores e Corvo. A Este temos o Grupo Oriental, que compreende as ilhas de Santa Maria e São Miguel. A meio situa-se o Grupo Central, constituído pelas restantes cinco ilhas, Terceira, São Jorge, Graciosa, Pico e Faial.

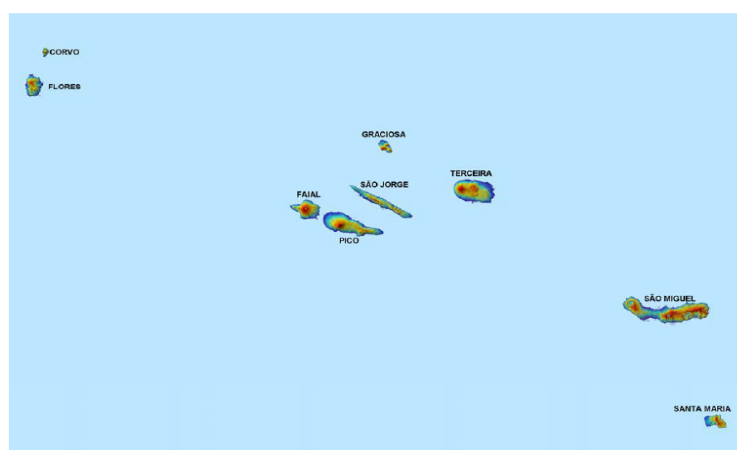


FIGURA 4.2: Arquipélago dos Açores [20]

Para efeitos de estudo, dado que a aplicação ADS-B a instalar será efectuada nesta última ilha, focaremos com mais atenção a RIV de Santa Maria, com particular atenção à TMA de Santa Maria, onde se encontra a ilha do Faial.

O espaço aéreo fora da TMA é designado espaço aéreo Oceânico, onde o controlo de tráfego aéreo é efectuado com base em *tracks* de planos de voo, actualizados com reportes de posição (por voz ou ADS-C), complementado com uma grelha de vento. O controlo é portanto uma mistura de controlo convencional e radar onde a cobertura deste exista.

Desde finais de 2006 encontra-se em serviço uma antena SSR na ilha de Santa Maria, que providencia cobertura radar a uma distância máxima de aproximadamente 260 MN, cobrindo todo o Grupo Oriental (incluído rotas de aproximação aos aeroportos de Santa Maria e São Miguel) e o Grupo Central acima de FL150, com algumas falhas devido às características montanhosas do terreno. O grupo Ocidental já fica fora da cobertura radar, não beneficiando da sua vigilância.

4.3 Caracterização do Tráfego

Os maiores fluxos de tráfego a operar na RIV de Santa Maria são Europa-Caraíbas, Península Ibérica-América do Norte, e Europa-Açores.

A maior parte do tráfego na TMA de Santa Maria é composto por voos da SATA Regional (Tabela 4.1), operando principalmente aeronaves BAe e ATPs (Tabela 4.2). Sendo apenas uma companhia com reduzido número e de tipos de aeronaves, estarão facilitadas eventuais *upgrades* a equipamentos de bordo.

Operador	Percentagem
SATA Regional	90%
Outros	10%

TABELA 4.1: Operadores Aéreos
[21]

Aeronave	Percentagem de Voos
BAe e ATP	70%
Dornier 228	20%
Outros	10%

TABELA 4.2: Tipos de Aeronaves
[21]

4.4 Cobertura CNS (*Communication, Navigation, Surveillance*)

4.4.1 Comunicações

O principal meio de comunicação terra-ar na TMA de Santa Maria baseia-se na utilização de um sistema de comunicações rádio em VHF, utilizando um conjunto de frequências específicas e devidamente identificadas no AIP de Portugal. Para além das frequências VHF utilizadas para a prestação dos serviços de controlo de tráfego aéreo utiliza-se também uma frequência *General Purpose* (127.9 MHz) e uma linha dedicada de SATCOM.

4.4.2 Navegação

Para efeitos de apoio à navegação, é utilizado um conjunto de rádio-ajudas instaladas nas várias ilhas do arquipélago dos Açores, descritas na Tabela 4.3

Estação	Id	Frequência/Canal	Observações
Santa Maria VOR/DME Ilha de Santa Maria (Açores)	VSM	113.90 MHZ 1171 MHZ DME: CH84X	Cobertura: 200MN FL500 Não utilizável: 065/130° além 20MN abaixo 6000pés
Ponta Delgada VORTAC Ilha de S.Miguel (Açores)	VMG	114.50 MHZ CH 92X	Não utilizável: 090°/120° além 30MN abaixo 8000pés TACAN Não utilizável: 170°/190° além 40MN abaixo 6000pés
Lajes VOR Ilha da Terceira (Açores)	LM	112.30 MHZ	Cobertura: 100NM Não utilizável: 215°/240° além 35MN abaixo 9000ft 241°/275° além 20MN
Horta VORTAC Ilha do Faial (Açores)	VFL	112.70 MHZ 1161 MHZ TACAN: CH 74X	Cobertura: 240MN-FL600 VOR não utilizável abaixo 5000pés
GRACIOSA LOCATOR Ilha da Graciosa (Açores)	CG	428 KHZ	Cobertura: 25MN
Flores VOR/DME Ilha das Flores (Açores)	FRS	113.30 MHZ 1167 MHZ CH: 80X	Não utilizável: 325°/345° além 40MN abaixo 16000pés

TABELA 4.3: Rádio-Ajudas
[21]

4.4.3 Vigilância

No espaço aéreo controlado por Portugal existem 7 antenas radar, instalados em:

- Aeroporto de Lisboa (PSR +SSR);
- Aeroporto do Porto;

- Aeroporto de Faro;
- Montejunto;
- Foia;
- Porto Santo;
- Santa Maria.

A cobertura radar disponibilizada nas RIV de Lisboa e de Santa Maria encontra-se representada na Figura 4.3, onde se reflectem, através da utilização de cores distintas, as zonas de cobertura radar mono, dupla, tripla ou quádrupla.

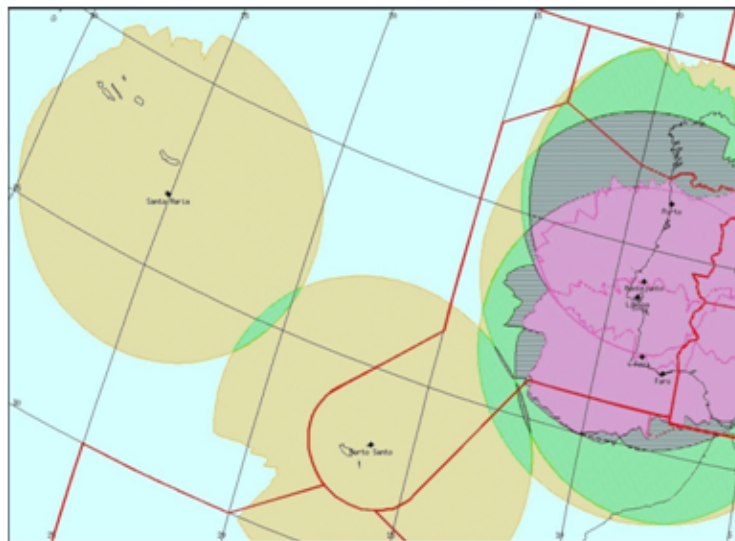


FIGURA 4.3: Cobertura Radar Total
[19]

4.5 Procedimentos Actuais

Com o sistema de vigilância actual (com uma estação SSR em Santa Maria), as separações mínimas aplicadas nos Açores fora da cobertura radar são elevadas, apresentando várias ineficiências:

- **Controlo convencional entre os Grupos Central e Ocidental:** o tráfego tem que voar estabelecido em rotas e são aplicadas separações horizontais/longitudinais de 10 minutos e 5 minutos ou de 10 milhas e horizontais/laterais de 15°, 30° e 15 milhas;

- Cobertura radar insuficiente no Grupo Central abaixo de FL110:** a vigilância de aproximação é insuficiente para aproximações e partidas de e para os aeroportos da Horta, Pico e São Jorge. Por exemplo, a rota H114 (na Figura 4.4 a vermelho), entre Ponta Delgada e a Horta, tem 10000 pés de altitude mínima de voo entre o ponto de reporte BANIX e a rádio-ajuda VFL, no Faial. Assim, só depois de cruzar esta rádio-ajuda, o tráfego IFR poderá ser autorizado pelo controlo de tráfego aéreo a abandonar essa altitude, fazendo uma volta de procedimentos sobre o mar e aterrando depois, quer na pista 28 ou 10. O tráfego que voa entre Ponta Delgada e a Horta na rota H114, é por vezes desviado por razões meteorológicas, para TIMTO, na rota H115, voando depois até SOLGI e iniciando aí a sua descida, tomando assim mais tempo e não tendo uma rota tão directa (a azul na Figura);

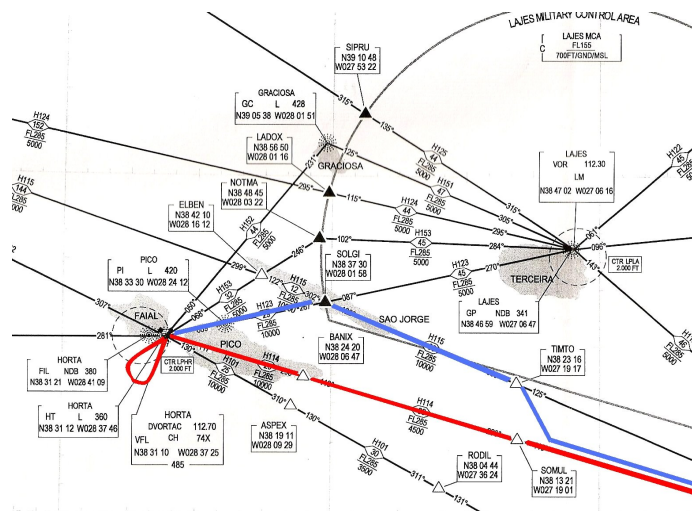


FIGURA 4.4: Rota São Miguel-Faial
(adaptado de [22])

- Atrasos no solo:** por vezes, tráfego pronto a descolar tem que esperar que outro tráfego reporte a passagem em determinado ponto. Por exemplo, o tráfego alinhado para descolagem no Pico com destino às Lajes, tem que esperar que o tráfego Lajes-Pico, ou Lajes-Faial na rota H153 reporte passar o través do Pico, ou livre do campo. Em caso de condições de visibilidade marginais, só quando esse tráfego reporta a rádio-ajuda VFL é possível autorizar a descolagem do Pico, atraso que por vezes atinge 3 minutos a 4 minutos. Quando se prevê que esse atraso seja maior, a descolagem é autorizada para uma altitude mais baixa de forma a permitir descida do tráfego oposto. Depois de uma separação DME (10 Milhas Náuticas cauda a cauda) os tráfegos poderão ser autorizados a cruzar altitudes. Nessas ocasiões por vezes o tráfego que descola faz o voo todo a uma altitude mais baixa;
- Trajectórias de partidas e chegadas penalizantes:** por vezes o tráfego tem que cumprir integralmente os procedimentos de chegada ou partida, sem poder beneficiar de saídas e

chegadas mais directas, como por exemplo tráfego a voar entre Faial ou Pico e a Terceira (Figura 4.5), tem que planear a rota H153, fazendo 76.5 MN.

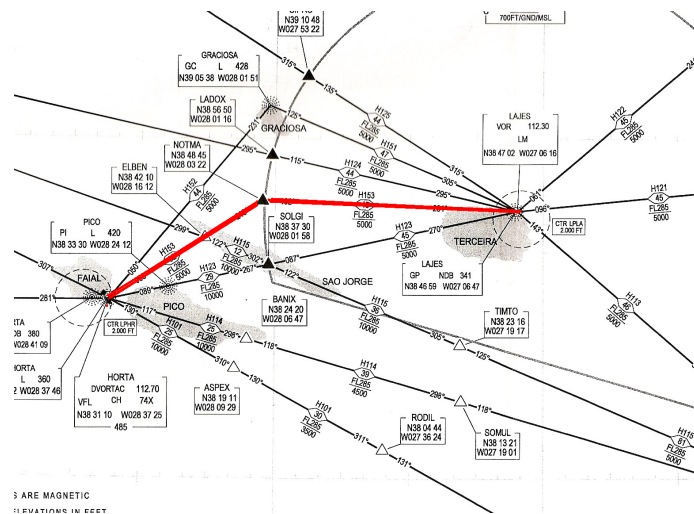


FIGURA 4.5: Rota por NOTMA
(adaptado de [22])

4.6 Previsão de Tráfego

Na Europa, em geral, a maioria dos voos são sobrevoos, o que significa que é possível assistir-se a uma variação mais rápida desse volume de tráfego do que em relação a voos entre dois países. Os factores que condicionam essa variação de tráfego são muitos e diferem bastante, até mesmo para o mesmo local ao longo do tempo.

Os fluxos de voos comerciais que visam satisfazer principalmente a indústria do turismo podem muitas vezes variar, dado que certas regiões são apenas modas passageiras. Ao efectuar o estudo custo/benefício há que ter esta noção em consideração, o espaço de tempo (normalmente alargado), que medeia entre o início de estudos para implementação de novas infra-estruturas e a sua efectiva entrada ao serviço. As épocas de férias são também um factor a ter em conta: normalmente o tráfego é mais intenso no Verão que no Inverno.

Com o aumento do preço dos combustíveis, e a especulação inerente, é difícil fazer-se uma previsão do preço do barril de petróleo no futuro.

Dado o transporte aéreo constituir um alvo para ataque de terroristas, os investimentos em segurança e protecção dos passageiros continuam a subir, o que influencia os custos operacionais.

Ainda assim, como se vê pela Figura 4.6, a previsão do crescimento do tráfego aéreo para o Continente e Açores ronda os 3% a 4% de média anual, no período entre 2005 e 2025.

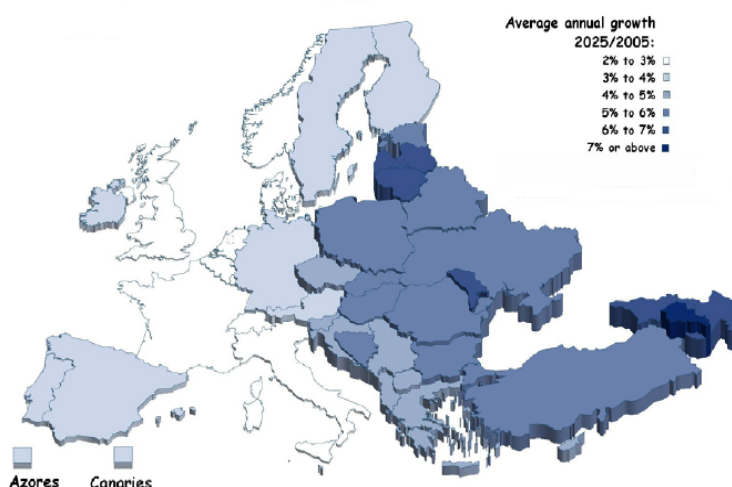


FIGURA 4.6: Previsão do Crescimento de Tráfego na Europa [23]

Para se poder fazer esta previsão, e tendo em conta que o futuro pode ser bastante incerto, um único cenário não teria em conta todas as mudanças. De entre vários cenários, uns mais pessimistas, outros mais optimistas, escolheu-se o mais equilibrado, o Cenário B do EUROCONTROL, de crescimento económico moderado e pequenas mudanças do estado actual, que julgamos melhor definir o futuro do crescimento de tráfego na região em apreço.

Os valores de tráfego registados nos últimos anos nos Açores (Grupo Central) encontram-se representados na Tabela 4.4.

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
2005	467	454	501	641	663	725	859	940	699	581	465	496	7491
2006	494	417	476	641	686	725	918	980	646	674	592	628	7837
2007	628	548	666	800	841	844	1222	1232	877	771	595	574	9598
2008	636	556	627	812	896	933	1220	1231	856	760	602	615	9744
2009	610	533	643	845	890	944	1171	1341	902	805	635	629	9948

TABELA 4.4: Total de Movimentos de Tráfego no Grupo Central [24]

Tomando apenas por base um crescimento médio anual de 3.5% até 2025, será de esperar que o total de movimentos de tráfego no Grupo Central dos Açores seja o que consta da Tabela 4.5.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Movimentos	10296	10656	11029	11415	11815	12228	12656	13099
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Movimentos	13558	14032	14523	15032	15558	16102	16666	17249

TABELA 4.5: Previsão de Movimentos de Tráfego no Grupo Central

4.7 Instalação de Equipamento

Tendo em conta este crescimento, e as ineficiências atrás apontadas, haverá necessidade de se implementar novas fontes de vigilância de forma a aumentar a capacidade do sistema actual.

Aquando da entrada de Portugal no projecto do EUROCONTROL designado por CRISTAL MED, os objectivos eram:

- Curto-prazo: Instalar uma infra-estrutura de validação e realizar a validação técnica;
- Médio-prazo: Validar a aplicação ADS-B (no caso de Portugal, ADS-B NRA) em ambiente operacional com a participação de controladores de tráfego aéreo;
- Longo-prazo: Alcançar a decisão de implementação, suportada por uma análise de custo/benefício e de segurança.

Neste contexto, um sistema de *Wide Area Multilateration* (*Multilateration* aplicado numa área alargada) tem viabilidade para ser instalado e resolver algumas ineficiências verificadas na vigilância, no Grupo Central dos Açores. De notar que os sensores de WAM incluem a capacidade para decodificar reportes ADS-B.

Assim, um sistema WAM/ADS-B poderá ser implementado no Grupo Central, com a disposição das antenas como se indica na Figura 4.7.

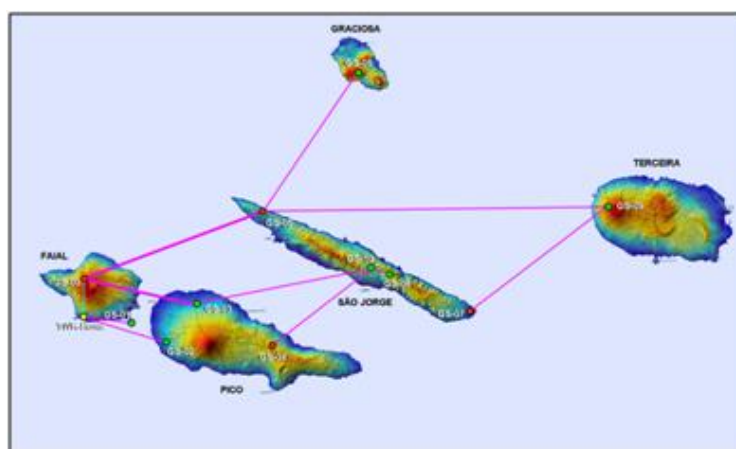


FIGURA 4.7: Localização das Antenas WAM
[25]

Desta forma, os sensores poderão disponibilizar informações de vigilância entre São Jorge e Pico, bem como para aproximações e partidas da Horta, Pico e São Jorge, a partir de GND/MSL.

Dado que este sistema tem a possibilidade de processar sinais ADS-B quando recebidos, existirá assim uma ferramenta adicional de vigilância, podendo o mesmo sistema calcular independentemente a posição da aeronave bem como utilizar dados da mensagem ADS-B, para a identificação da aeronave.

4.8 Arquitectura do Sistema

Todo o processo de instalação e exploração operacional do sistema WAM/ADS-B deverá ser previamente certificado e padronizado, de acordo com o estabelecido internacionalmente com o resto da Europa.

Para isso, será utilizado o trabalho dos seguintes grupos [21]:

- *Requirements Focus Group* (RFG);
- ICAO (SCRSP, SASP e OPLINKP);
- EUROCAE WG51-SG 4: 1090 MHz ES *Ground Station “Standardisation”*.

O resultado final, será um sistema conforme apresentado na Figura 4.8, cuja arquitectura se baseia nos seguintes padrões [21]:

- MASPS (*Minimum Aviation System Performance Standards*) DO242A que estabelece o conteúdo padrão e condições de disponibilização de dados qualificados;
- MOPS (*Minimum Operation Performance Standards*) que define a tecnologia de comunicação ar-solo (1090ES);
- ASTERIX 21 formato para transmissão de reportes ADS-B para o sistema de controlo de tráfego aéreo, no solo.

Após escolha e instalação da antena na ilha do Faial, iniciou-se o processo de validação técnica, utilizando-se para já, alguns resultados provenientes de aeronaves equipadas com 1090ES.

O processador de dados de vigilância utilizado pela NAV é o ARTAS (V7), capaz de fundir dados ADS-B e radar, disponibilizando a informação integrada num único ecrã, atribuindo símbolos diferentes consoante a fonte da informação, existindo ainda um símbolo integrado para quando a aeronave é detectada pelas duas fontes.

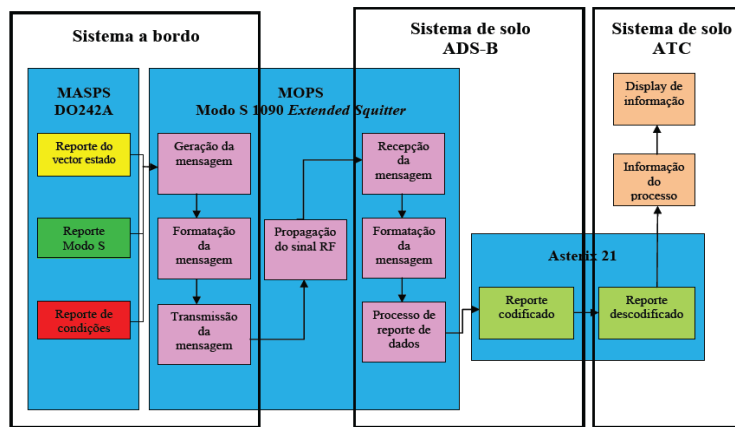


FIGURA 4.8: Arquitectura do Sistema (adaptado de [21])

Desta forma, existe redundância na obtenção de dados, podendo ser despistada qualquer discrepância.

Os dados são recolhidos na estação de solo ADS-B no Faial, transmitidos para o Aeroporto da Horta (no Faial) e também para o Centro de Controlo de Tráfego Aéreo de Lisboa, onde se encontra o processador ARTAS. Este processador integra os dados vindos do SSR de Santa Maria com os dados WAM/ADS-B do Faial. Estes são posteriormente encaminhados para as várias posições de trabalho operadas pelos controladores de tráfego aéreo (Figura 4.9).

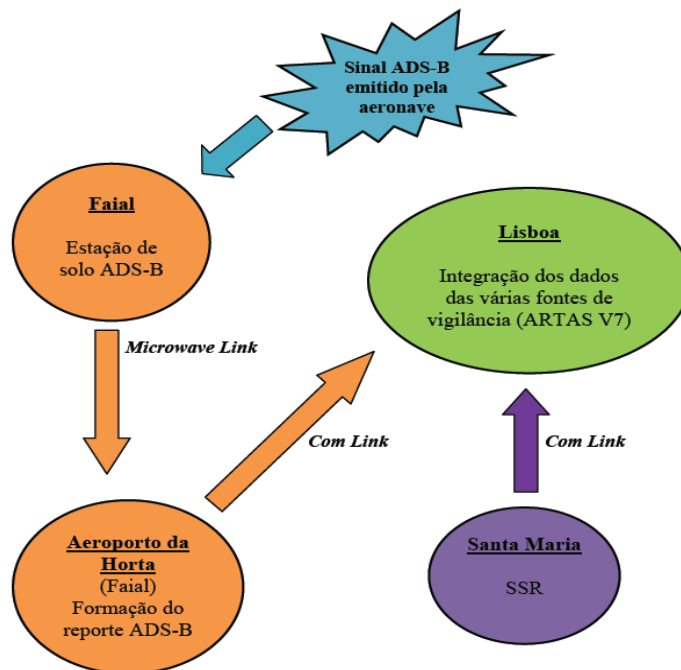


FIGURA 4.9: Funcionamento do Sistema ADS-B nos Açores

Uma nova versão do ARTAS está entretanto a ser desenvolvida, com o intuito de introduzir/processar também dados *Multilateration* e ADS-C.

2. Manter monitorização do tráfego de modo a providenciar informações ou aconselhamento relativamente a algum desvio das autorizações ATC;
3. Providenciar vectorização à partida como meio de tornar mais expedita a subida da aeronave para nível de cruzeiro;
4. Providenciar vectorização com o propósito de resolver potenciais conflitos, assistindo a aeronave na sua navegação de ou para uma rádio-ajuda ou mantendo-a afastada de áreas de tempo adverso;
5. Providenciar vectorização à aeronave que chega com o intuito de evitar atrasos ao início da descida;
6. Providenciar separação e manter o fluxo de tráfego normal quando uma aeronave sofrer falhas de comunicação dentro da área de cobertura ADS-B.

A implementação do sistema ADS-B permitirá efectuar as seguintes funções relacionadas especificamente com o Controlo de Aproximação:

1. Providenciar vectorização para tráfego à chegada, ajudas à aproximação final, ou para um ponto a partir do qual pode ser feita aproximação visual;
2. Providenciar monitorização a aproximações feitas com recurso a outras formas que não radar e aconselhar a aeronave relativamente a desvios do caminho de aproximação publicada;
3. Providenciar separação entre:
 - Aeronaves consecutivas à partida;
 - Aeronaves consecutivas à chegada;
 - Aeronaves à partida e à chegada.

A informação ADS-B presente na Torre de Controlo do Aeródromo pode ser usada para manter a vigilância no progresso de uma aeronave de modo a obter:

1. Informação melhorada da posição do tráfego sob controlo;
2. Informação suplementar relativamente a outro tráfego;
3. Informação relativa a qualquer desvio significativo de autorizações dadas ao tráfego.

4.11 Benefícios Alcançados

Após a implementação do ADS-B, o tráfego na rota H114 poderá operar pela rota a verde (Figura 4.11) em qualquer condição meteorológica. Tem assim uma rota mais directa e um perfil de descida mais suave, não tendo necessidade de efectuar nenhum procedimento.

Dado que o cálculo da distância do topo da descida (*Top of Descent, TOD*) à soleira da pista é dado por:

$$A \times 0.003 = \text{TOD (em MN)}$$

em que “A” representa a altitude em pés, 0.003 o coeficiente de descida e TOD a distância do topo da descida à soleira da pista, em milhas náuticas (MN), efectuaram-se os seguintes cálculos, tendo em consideração que a soleira da pista 28 se situa a 13.5 MN do través da montanha:

$$A = 13.5 \text{ MN} / 0.003 = 4500 \text{ (em pés)}$$

Conseguimos assim calcular que a altitude ideal para cruzar o través do Pico é de 4500 pés. Sem vigilância, a altitude a que a aeronave passaria nesse ponto seriam os obrigatórios 10000 pés, sendo depois obrigada a realizar o procedimento. Assim, efectuando um perfil de descida normal, sem ter de cruzar VFL, a aproximação e aterragem tornam-se mais expeditas (Figura 4.12).

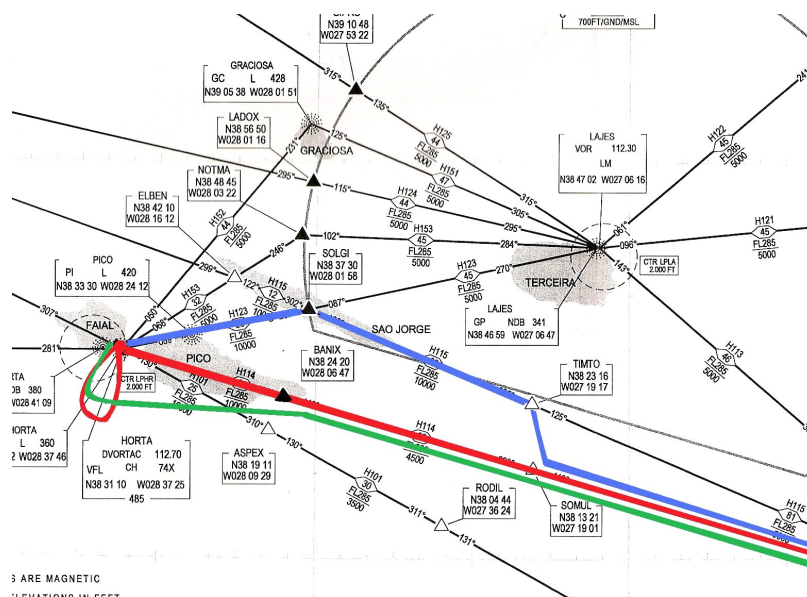


FIGURA 4.11: Rotas S. Miguel-Faial (adaptado de [22])

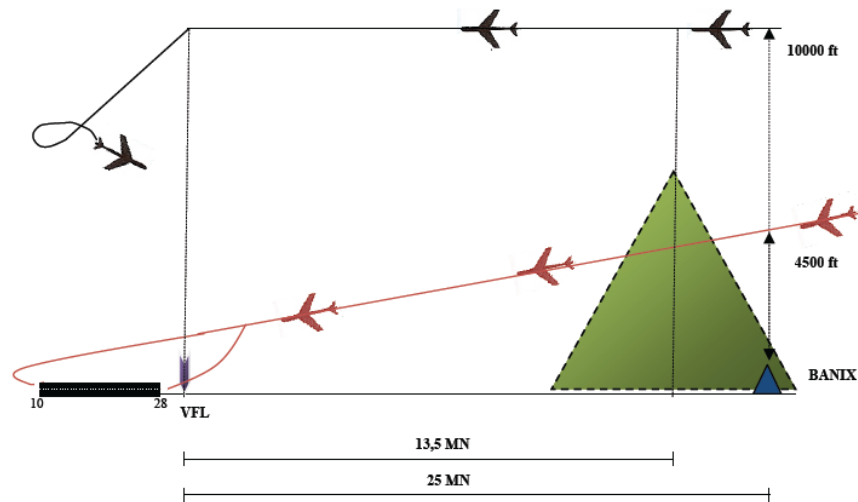


FIGURA 4.12: Esquema de Perfil de Descida Ideal

O mesmo se aplicará à rota H101, entre Santa Maria e o Horta, entre o ponto de reporte ASPEX e VFL.

Com vigilância, o tráfego poderá voar directamente entre Horta ou Pico e a Terceira (a verde na Figura), fazendo 73 MN, o que equivale a um ganho de cerca de 1.5 minutos por segmento, em comparação às 76.5 MN na rota via NOTMA, como referido na Secção 4.10, considerando uma velocidade média de 150 nós (Figura 4.13).

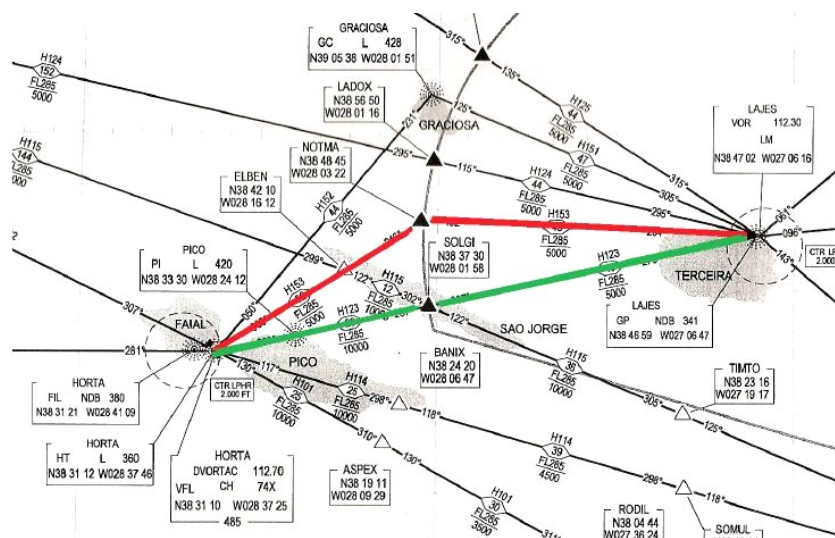


FIGURA 4.13: Rotas Faial-Terceira (adaptado de [22])

Assim, com a completa instalação e operacionalidade deste sistema, prevê-se alcançar os seguintes ganhos:

- **3 minutos**, em média, de atrasos no solo;
- **3 minutos**, em média, de tempo em espera;
- **8 milhas** em voo para partidas e chegadas, devido a separação horizontal mais reduzida que em controlo convencional, possibilidade de vectorização, rotas mais directas para o fixo inicial de aproximação.

4.12 Expansão Futura do Sistema

Posteriormente deverá ser instalada uma outra estação de solo ADS-B na ilha das Flores, o que resultará, em adição ao WAM e ADS-B no Grupo Central e ao SSR em Santa Maria, numa cobertura completa da TMA de Santa Maria, chegando mesmo a uma cobertura de vigilância que a FL300 estaria a menos de 100MN da RIV de Nova Iorque (Figura 4.14).

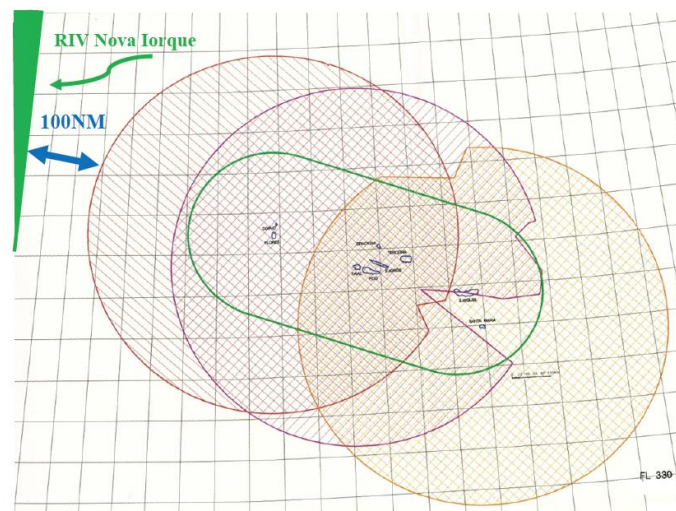


FIGURA 4.14: Cobertura Radar e ADS-B (2 sensores)
(adaptado de [26])

4.13 Custos Gerais de Implementação e Manutenção

Neste contexto, os custos estão divididos segundo consta da Figura 4.15.

Para estimar os custos de implementação de um sistema com estas características recorreu-se a estudos já efectuados noutras localizações no âmbito do programa do EUROCONTROL CASCADE, como Trabzon, Pescara, e Diágoras, abaixo descritos.



FIGURA 4.15: Custos Iniciais e Recorrentes (adaptado de [6])

- Trabzon (Turquia)

Este aeroporto não tem fontes de vigilância radar, o que faz com que se usem métodos de separação convencionais. Por isso, sem implementação de uma fonte de vigilância, terá dificuldade em acomodar o crescimento de tráfego, que se estima em cerca de 2.2% a 2.8%.

- Pescara (Itália)

Este aeroporto não tem fontes de vigilância radar, o que faz com que se usem métodos de separação convencionais. Por isso terá dificuldade em acomodar o crescimento de tráfego, que se estima cerca de 1.8% a 2.2 %, a menos que se obtenha uma fonte de vigilância.

- Rodes (Grécia)

Tem radar de aproximação para abaixo de FL155. Necessita de melhorar a vigilância abaixo de FL155 e introduzir vigilância acima desse nível, de forma a acomodar o crescimento de tráfego que se prevê entre 2.0% e 2.5%. De momento utiliza separações de 10 MN, mas pretende reduzi-las ao introduzir outro sistema.

Assim, a previsão do crescimento do tráfego destes 3 locais comparativamente com Portugal é feita através da estimativa do crescimento, utilizando-se os valores médios de crescimento para cada local:

$$\sum_{2010}^{2025} \text{Movimentos Pescara} \mid 2.00\%$$

$$\sum_{2010}^{2025} \text{Movimentos Trabzon} \mid 2.50\%$$

$$\sum_{2010}^{2025} \text{Movimentos Rodes} \mid 2.25\%$$

Assim, o crescimento de tráfego até 2025 tomará a forma da Figura 4.16.

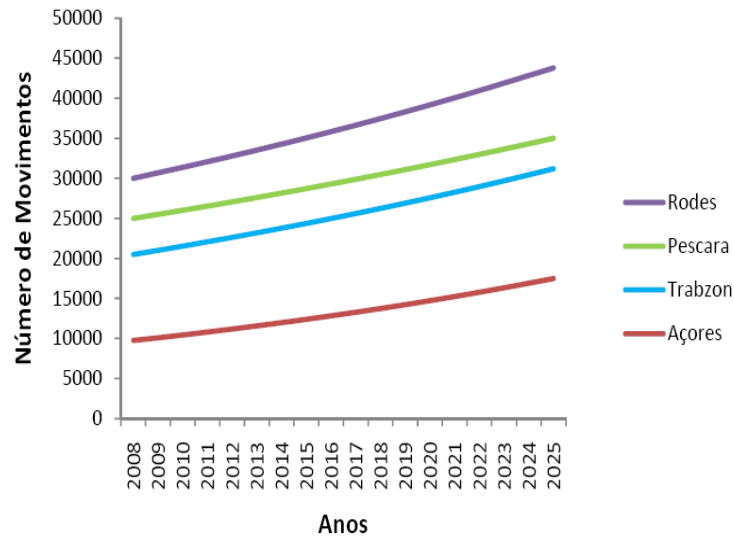


FIGURA 4.16: Previsão de Crescimento de Rodes, Pescara, Trabzon e Açores

Para esta tarefa foi utilizado um modelo europeu de análise de investimentos ATM estratégicos denominado EMOSIA. Este modelo tem como *inputs* os custos estimados dos seguintes parâmetros [27]:

- Aquisição da estação de solo ADS-B;
- Instalação e comissionamento da estação de solo ADS-B;
- Formação de controladores de tráfego aéreo e técnicos;
- Manutenção anual.

Através da ferramenta EMOSIA e das estimativas iniciais de custos, podemos resumir os resultados para os 3 casos atrás referidos (Tabela 4.6). De frisar que esta é uma estimativa, obviamente precisando de validação no terreno. No entanto, dá-nos uma perspectiva realista sobre o quanto custará a implementação deste sistema. O tempo de vida de uma estação ADS-B é assumido neste estudo como sendo de 12 anos.

Alguns dos valores utilizados pelo modelo estão na Tabela 4.7.

Assim, o valor do retorno financeiro do investimento obtido através de relatórios com base no EMOSIA para os três casos atrás referidos consta da Figura 4.17.

	Implementação	Recorrentes
	Milhões€	Milhões€
Pescara, Itália	0.733	0.036
Trabzon, Turquia	0.689	0.026
Rodes, Grécia	0.363	0.008

TABELA 4.6: Custos de Implementação e Recorrentes de Pescara, Trabzon e Rodes [27], [28], [29]

Variáveis	Baixo	Caso Base	Alto	Unidades
Custo da estação de solo ADS-B	0.100	0.1250	0.155	Milhões €
Custo de manutenção anuais	0.000	0.0020	0.003	Milhões €
Custos anuais de staff de manutenção	0.004	0.0060	0.008	Milhões €
Formação técnica do <i>staff</i>	0.005	0.0080	0.010	Milhões €
Material de treino do controlador	0.003	0.0040	0.005	Milhões €
Formação do controlador	0.192	0.2400	0.288	Milhões €
Custos CWP	0.005	0.0150	0.020	Milhões €
Custos de <i>upgrade</i> de <i>software</i>	0.008	0.0100	0.012	Milhões €
Custos de HMI	0.005	0.0750	0.100	Milhões €
Equipamento de comunicação	0.005	0.0075	0.010	Milhões €
Número de estações de solo ADS-B	1	2	3	Milhões€

TABELA 4.7: Valores de Algumas Variáveis que Entram no Estudo [27], [28], [29]



FIGURA 4.17: Valor do Retorno Financeiro para cada Localização [27], [28], [29]

4.14 Resultados Esperados em Portugal

A implementação do ADS-B permite o acesso a uma fonte de vigilância, por um custo relativamente reduzido, nas várias localizações atrás referidas. Isso permite aos utilizadores do espaço aéreo beneficiar através da melhoria do serviço prestado, seja em rota, TMA ou aeroportos. Os benefícios resultam de melhorias na segurança da navegação, eficiência operacional e redução da carga de trabalho do controlador de tráfego aéreo.

O investimento num sistema ADS-B deve então ser fortemente considerado para os Açores. Além disso, o trabalho de implementação permitirá ganhar experiência e maturar o processo de implementação do ADS-B eventualmente em outros locais do território nacional.

Dado que os custos das infra-estruturas serão na mesma ordem de grandeza, os custos de implementação e recorrentes deverão também ser idênticos. Extrapolando para o caso nacional, podemos estimar que os custos para a implementação do mesmo sistema, com uma antena receptora, estarão entre €0,300 milhões e €0,700 milhões, enquanto que os custos recorrentes estarão entre €0,008 milhões e €0,030 milhões.

Visto que o custo aquisição de uma antena radar, que possibilita os mesmos benefícios ser bastante mais elevado (€4.160 milhões, ao passo que os custos de aquisição de uma antena ADS-B são de €0.125 milhões [30]), e visto que os seus custos de manutenção serem também superiores (€0.210 milhões, comparativamente aos €0.002 milhões do ADS-B), é fácil perceber que esta alternativa terá, à partida, um custo total menor que o da aquisição de um sistema radar, visando o mesmo objetivo: o de introduzir uma fonte de vigilância no Grupo Central dos Açores.

Posto isto, dado que as três outras localizações em estudo possuem características de tráfego semelhantes aos Açores, e dado que não nos foi possível aceder ao modelo EMOSIA, comparou-se o retorno financeiro dos três outros locais tendo em consideração o número de movimentos de tráfego para eles estimados. Visto que o Retorno Financeiro (**RF**) depende directamente do número de movimentos, **M**, (entre outros factores que se assumem de igual ordem de grandeza), prevê-se assim o valor do retorno financeiro para Portugal:

$$\mathbf{RF}_1 = (\mathbf{RF} \text{ Pescara} \times \mathbf{M} \text{ Açores}) / \mathbf{M} \text{ Pescara} = \text{€}7.94\text{M}$$

$$\mathbf{RF}_2 = (\mathbf{RF} \text{ Trabzon} \times \mathbf{M} \text{ Açores}) / \mathbf{M} \text{ Trabzon} = \text{€}3.59\text{M}$$

$$\mathbf{RF}_3 = (\mathbf{RF} \text{ Rodes} \times \mathbf{M} \text{ Açores}) / \mathbf{M} \text{ Rodes} = \text{€}6.31\text{M}$$

Como temos apenas uma estimativa, e dado que todos têm características, custos iniciais e custos recorrentes semelhantes, calculou-se a média destas estimativas de modo a obter um valor mais realista no nosso caso.

$$\mathbf{RF}_{\text{PORTUGAL}} = (\mathbf{RF}_1 + \mathbf{RF}_2 + \mathbf{RF}_3) / 3$$

Assim, tendo em conta uma taxa de crescimento médio anual (2010-2025) de tráfego na ordem dos 3.5% para o Grupo Central, a instalação de uma antena ADS-B e os encargos com pessoal resultarão no retorno do investimento como consta da Figura 4.18.



FIGURA 4.18: Valor do Retorno Financeiro Estimado para Portugal

Considerando todos os benefícios, este pode ser considerado um bom retorno financeiro para um investimento mínimo. Dado o facto de benefícios adicionais, tais como ecológicos e segurança ainda não estarem incluídos, o resultado final pode revelar-se ainda melhor que o previsto inicialmente.

4.15 Conclusão

Segundo as previsões, o tráfego aéreo crescerá entre 3% a 4% na RIV de Santa Maria até 2025.

Com isto advirá o facto de que, da forma como a vigilância é feita actualmente, será difícil acomodar esse aumento mantendo o mesmo padrão de segurança. Para fazer face a essa questão, um sistema ADS-B poderá ser implementado no Arquipélago dos Açores, em conjunto com um sistema WAM, com antenas receptoras em várias ilhas do Grupo Central e Ocidental.

Assim, as ineficiências que caracterizam actualmente as operações de voo podem ser mitigadas ou até eliminadas, dando lugar a melhorias nessas operações (redução de atrasos, trajectórias de chegadas e partidas mais eficientes), na percepção situacional melhorada por parte do controlador e na possibilidade de acomodação do aumento de tráfego previsto.

Os custos deste sistema (implementação e recorrentes) podem ser considerados mínimos, quando comparados com os de um sistema radar. Assim, tendo em conta quer o retorno financeiro do investimento, quer as potencialidades deste sistema, a sua implementação deverá ser considerada e apoiada.

Capítulo 5

Conclusões

5.1 Síntese da Dissertação

Com este trabalho pretendeu-se estudar o sistema ADS-B e seu impacto no panorama de vigilância de tráfego aéreo.

Para isso, no segundo capítulo, introduziu-se o conceito de vigilância de tráfego aéreo e as várias formas em que é feita actualmente. Aqui figurou o sistema ADS-B, com os seus princípios de funcionamento, vantagens e aplicações.

No terceiro capítulo, mostramos o modo como o novo sistema é visto pelos seus principais intervenientes: os pilotos e os controladores de tráfego aéreo, sendo aqui expressas as opiniões de cada um, para as diferentes aplicações ADS-B.

No quarto capítulo, apresentou-se o cenário onde o ADS-B está a ser implementado em Portugal, no Arquipélago dos Açores, e mostraram-se as ineficiências actualmente verificadas na gestão do tráfego aéreo e nas operações de voo.

De seguida, apresentamos um estudo de ganhos expectáveis na utilização de rotas, no Grupo Central, com a introdução do ADS-B.

Por fim, tomando por base os resultados obtidos em outros locais com o modelo EMOSIA, estimaram-se os custos e benefícios que se esperam vir a obter quando o sistema ADS-B se tornar operacional.

5.2 Considerações Finais

Este trabalho revelou-se muito rico na obtenção de conhecimentos específicos desta área, apesar da dificuldade de obter informações e dados, por vezes considerados de divulgação restrita, por parte de algumas instituições. Não obstante os numerosos documentos consultados, uma parte muito importante do trabalho baseou-se em pesquisas, junto de operacionais, controladores de tráfego aéreo e pilotos, para obtenção de informação sobre o *modus operandi* de cada classe, de forma a avaliar o panorama actual e estabelecer conceitos para uma perspectiva futura.

O sistema de vigilância ADS-B apresenta-se como uma boa solução a médio/longo-prazo para colmatar as falhas dos sistemas actuais de vigilância, quer por ineficiência destes, quer por inexistência daqueles.

O ADS-B tem custos mais reduzidos que o sistema mais utilizado para a vigilância (radar) possuindo e fornecendo igual ou até melhor qualidade de dados.

O impacto que poderá ter nos intervenientes do tráfego aéreo (piloto e controlador) é, regra geral, positivo, visto aumentar a percepção situacional de ambos, ao mesmo tempo que reduz o *stress* e esforço mental para obter uma imagem da situação geral do tráfego total (para o controlador) e para o tráfego na sua vizinhança (para o piloto). Assim, evitam-se situações de potencial perigo, ao existir vigilância de tráfego no solo, como actualmente, e no *cockpit* (uma novidade).

A aplicação ADS-B NRA a ser implementada nos Açores vai melhorar a segurança das operações de voo nesta região, introduzindo vigilância electrónica a zonas onde actualmente não existe. Resultam assim vários ganhos que, face à previsão de crescimento de tráfego, poderão acomodar a Procura, real e a latente.

O estudo indica que, após a introdução do ADS-B, novas rotas e procedimentos poderão dar lugar aos actuais, uma vez que haverá uma fonte inovadora que providenciará dados de vigilância a zonas que actualmente dela não usufruem.

Abordando a parte do custo, verificou-se que este é de ordem de grandeza bastante menor do que os dos actuais radares, e que o retorno financeiro de um investimento deste género será, ao extrapolar os resultados obtidos em localizações semelhantes aos Açores, bastante razoável.

5.3 Perspectivas de Investigação Futura

Com este trabalho ficou bem claro que o ADS-B é um sistema viável, económica e funcionalmente, o que faz com que seja um óptimo candidato a preencher as falhas existentes nos meios de vigilância actuais em todo o território nacional.

Após o resultado dos ensaios a realizar com a estação já colocada na ilha do Faial, e dadas as previsões de benefícios que daí advirão, fica agora por estudar a implementação de uma segunda antena que providencie vigilância quase até à fronteira com a RIV de Nova Iorque.

De igual modo, remetemos para trabalhos futuros o estudo sobre os impactos técnico, operacional e económico que o sistema ADS-B analisado irá ter nos operadores aéreos que dele usufruam.

Bibliografia

- [1] ICAO. *Air Traffic Management (PANS-ATM), Doc 4444-RAC/501*, edition3, 1996.
- [2] EUROCONTROL. *Flight Crew Guidance for Flight Operations in ADS-B Only Surveillance Airspace*, edition 1.0, Feb 2008.
- [3] NAV Portugal. *Wide Area Multilateration-Estudo de Viabilidade Tecnica, Grupo Central dos Acores*, version 1, May 2007.
- [4] FAA. *FANS I/A Operations Manual*, version 1, Mar 2004.
- [5] EUROCONTROL. *Standard Document for Surveillance Data Exchange Part 12: Category 021*, edition 4, Jul 2009.
- [6] Edward A. Lester and R. John Hansman. *Benefits and Incentives for ADS-B Equipage in the National Airspace System*, Report ICAT-2007-2, Aug 2007.
- [7] Jae-Hoon Song, Kyung-Ryoon Oh, In-Kyu Kim, Injung Kim, and Sung-See Kim. *Preliminary Implementation of Ground-to-Ground Surveillance Test-bed based on ADS-B Concepts*, 2007.
- [8] EUROCONTROL. *CASCADE NEWS 4*, Dec 2007.
- [9] FAA. *Surveillance and Broadcast Services-Capstone State Wide Plan*, version 7.1, Aug 2007.
- [10] Christos Rekkas and Melvin Rees. *Towards ADS-B Implementation in Europe*, Proceedings of ESAVs, Sep 2008.
- [11] EUROCONTROL. www.eurocontrol.int, consultado em Abril 2010.
- [12] Christos Rekkas. *ADS-B Deployment Plans in Europe ATC Global*, Presentation, Mar 2009.
- [13] EUROCONTROL. *CASCADE Programme ADS-B Pioneers Project*, Presentation, Feb 2007.
- [14] EUROCONTROL. *Preliminary Safety Case for Enhanced Air Traffic Services in Non-Radar Areas using ADS-B Surveillance*, version 1.1, Dec 2008.

-
- [15] EUROCONTROL. *Guidance for the Provision of Air Traffic Services using ADS-B in Non-Radar Airspace (ADS-B NRA)*, version 1.0, Jan 2008.
- [16] EUROCONTROL. *Guidance for the Provision of Air Traffic Services using ADS-B in Radar Airspace (ADS-B RAD)*, version 1.0, Dec 2008.
- [17] EUROCONTROL. *CASCADE Validation Report*, version 1.0, Jan 2008.
- [18] EUROCONTROL. *CRISTAL-ATSAW Final Report*, version 1.0, Nov 2007.
- [19] NAV Portugal. *Multilateration and ADS-B Program/Activities*, Presentation, 2009.
- [20] NAV Portugal. *WAM in Western Group of Azores Islands*, Oct 2009.
- [21] EUROCONTROL. *Operational Services and Environment Definition (OSED)*, version 1.0, Sep 2006.
- [22] AIP Portugal. *ENR 6.5-1 25*, Sep 2008.
- [23] EUROCONTROL. *Long-Term Forecast: IFR Flight Movements 2006-2025*, version 1.0, Dec 2006.
- [24] NAV Portugal. *Relatorio de Indicadores de Trafego*, Feb 2006.
- [25] NAV Portugal. *Navegar*, N11, serie II, Jan 2010.
- [26] EUROCONTROL. *CASCADE NEWS 5*, Jun 2008.
- [27] EUROCONTROL. *Cost Benefit Analysis for ADS-B Implementation at Diagoras Airport*, edition 2.0, Jun 2008.
- [28] EUROCONTROL. *Cost Benefit Analysis for ADS-B Implementation at Pescara Airport*, edition 2.0, May 2008.
- [29] EUROCONTROL. *Cost Benefit Analysis for ADS-B Implementation at Trabzon Airport*, edition 1.0, Nov 2007.
- [30] Airservices Australia. *Project Atlas Cost-Benefit Analysis*, Jul 2007.

Apêndice A

**Artigo Científico aceite para publicação
na 14.^a Conferência da ATRS**

ADVANCED AIR TRAFFIC MANAGEMENT TECHNOLOGIES: THE ADS-B IMPACT OVER ATM CONCEPTS. THE CASE FOR PORTUGAL

Cláudia Rodrigues and Jorge Silva
Aerospace Sciences Department
Beira Interior University, Covilhã, Portugal
+ 351 275 329 732; + 351 275 329 768
clou360@gmail.com and jmiguel@ubi.pt

In today's CNS/ATM (Communication, Navigation, Surveillance/Air Traffic Management) paradigm the Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B) is a very important tool in the improvement of surveillance precision, incising the traffic efficiency with even better safety parameters and lower delays.

All around the world programs and projects to implement the ADS-B technology are taking place with trials being made with the participation of Air Navigation Services Providers (ANSP's), focusing Air Traffic Controllers duties, Aircraft Operators, focusing pilots duties, and Aircraft and Avionics manufacturers, to validate the efficiency and safety of this system, as well as the cost, time and changes to make this happen. The outcome of this will certainly affect the shape of ATM surveillance in the short and long term.

This work initially presents an overview of the current situation, i.e., on how surveillance is made nowadays, then an overview of the ADS-B system and its technology, and finally a cost/benefit evaluation of the implementation of this new technology within the Portuguese FIR's.

Key words: ADS-B, CNS/ATM, Portuguese FIR's

I Introduction

As air traffic begins to grow, the need to avoid collisions between aircraft became a very important issue. In order to do that, standard values as minimum distance between aircraft were established, called separation minimum. These separations are applied and verified by air traffic controllers, using a number of different control methods, as Procedural, or Non-Procedural, i.e. using Primary Surveillance Radar (PSR), Secondary Surveillance Radar (SSR), Multilateration or Automatic Dependent Surveillance (ADS). These methods are also used to avoid collisions between aircraft on ground or between aircraft and other vehicles in the maneuvering area of an aerodrome.

The aeronautical authorities established separation standards to ensure a safe navigation in controlled airspace. If correctly used, they assure that an aircraft is at a safe distance from the ground and from other aircrafts.

Nowadays, the large majority of control units (ACC's, Area Control Centers and TWR's, Air Traffic Control Towers) uses surveillance sources (rather than procedural methods, based on pilots reports to estimate the aircraft position, with less accuracy getting information from PSR and/or SSR). Given the fact that PSR tracks only represents targets when they reflect radio waves, there is a large number of limitations with this technology. On the other hand, the SSR uses the transponder's replies to obtain information about its position and identification. There are different radar types, according to the area pretended to be covered. En-route radars have a low upgrade rate (approximately 12 seconds) but cover a large geographic area. Terminal radars cover a much smaller area, generally only the airport and nearby area, yet have a much higher upgrade rate, approximately 4,2 seconds. This happens because flying speeds in the vicinity of an aerodrome are much smaller than when flying en route- so aircraft can fly closer to each other. This means more aircraft in the same volume - so ATC needs a more precise watch, and situation displays needs a higher upgrade rate.

Adding to this, both PSR and SSR need large infrastructures, with mechanical moving parts, which require being placed at a location with no obstacles in the vicinity, at 360° line-of-site with aircrafts, and occupying a considerably large space. Maintenance is also a key issue here, as the systems have a large number of moving parts.

Given all this, total costs of these infrastructures are quite high, which makes its installation and operation worthwhile only when the traffic volume justifies. Given its size, installation can be tricky. So, remote areas, small islands and oil rigs, despite having some traffic, do not justify installing such a costly system like this. Surveillance, in-these cases is based on procedural methods, with large separations to maintain the same safety level.

Consequently, the amount of traffic using the same airspace at a given moment is smaller, making some flight operations inefficient. Departure and arrival trajectories, increased holding times, flight level changes (whether is to reduce fuel consumption, to fly at levels with more favorable winds or leaving the ones with headwinds or turbulence), are some-examples.

II Automatic Dependent Surveillance, ADS-B

In this context we introduce the Automatic Dependent Surveillance Broadcast, ADS-B. This Surveillance System is based in the ability of the aircraft to periodically and automatically broadcast a given set of data. These data can be received by ADS-B ground station (ADS-B OUT application) or by other aircraft when airborne (ADS-B IN application).

It is **Automatic** in the sense that there is no need for the crew to make any input, **Dependent** because the information sent is based on avionics/onboard systems (like SSR depends on onboard transponders) and **Broadcast** because it sends information without interrogations either by controller or other parts. Its principle is to send as many reports as possible, to the greater number of receptors able to capture its signal. The same way as traffic non-equipped with transponders cannot be detected by TCAS (Traffic Alert and Collision Avoidance System) and avoid collisions, the same happens with ADS-B.

If an aircraft is broadcasting ADS-B data, but traffic in the range of the signal is not properly equipped, they will not be able to receive and process these data. The conclusion here is that the system will only produce major benefits as all aircraft, or in a large percentage, are equipped with ADS-B avionics.

The technology adopted for ADS-B data transmission in Europe is the *1090 MHz Extended Squitter*, a part of Mode S transponder. When equipped with 1090ES, aircraft transponders are able to receive and broadcast data as position, speed and intentions in the Mode S signal, without any interrogation by a SSR on ground, or TCAS when airborne. ADS-B information does not interfere with TCAS information.

Implementation plans for this system is on-going, with participation of many stakeholders from ANSP to Airline Operators, from a voluntary phase (giving advantage to the ones who are equipped) to a mandatory phase. Figure 1 represents the capabilities enabled with this system.

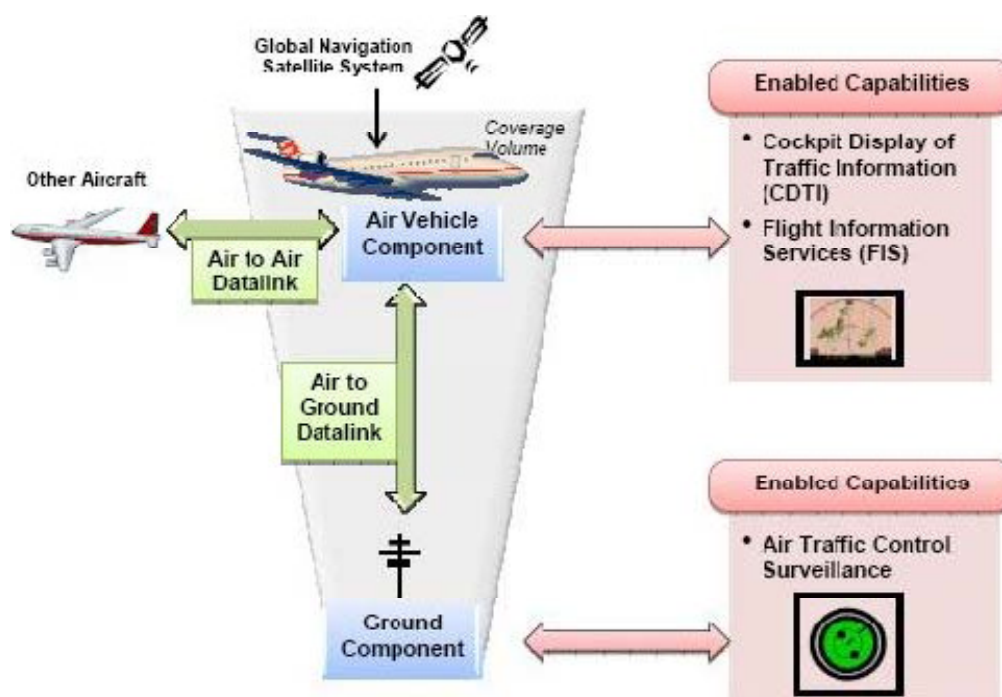


Figure 1. The ADS-B System [1]

Advantages are (Figure 2):

- Smaller ground stations and little maintenance work. Installation relatively easy;
- Data is very precise, as it derives directly from on-board system (GPS based systems);
- Upgrade rate of approximately 0,5 seconds, much higher than conventional radars;
- No need for major modifications to the current avionics (using Mode S transponders *Extended Squitter*);
- Do not suffer from the same problems as conventional radars (silence cones, silence areas, garbling, fruit, interferences, etc);
- Relatively cheap way of providing a surveillance system in areas where the high price of installing a SSR/PSR system do not justify it, or where there is already a surveillance source but some redundancy is necessary;
- Ecological benefits by reducing CO₂ emissions, as it allows easy and fast FL (Flight Level) changes to others where fuel consumption is more efficient.



Figure 2. Expected improvements and benefits with ADS-B (adapted from [2])

Broadcast data has at least the following information [3]:

- Information on horizontal aircraft position;
- Barometric altitude of the aircraft;
- Aircraft identification;
- Urgency/emergency indicator;
- “IDENT”- Special Position Indicator (SPI).

Major difference on-board, in terms of avionics, is the Cockpit Display of Traffic Information, CDTI. This is where ADS-B data is shown to the pilots. In figure 3 there's an example. The traffic shown contains information of relative altitude, traffic identification and track [1]. Studies made in the airborne surveillance applications indicate that the CDTI in the same display of the TCAS do not confuses pilots, if distinguished symbols are used.

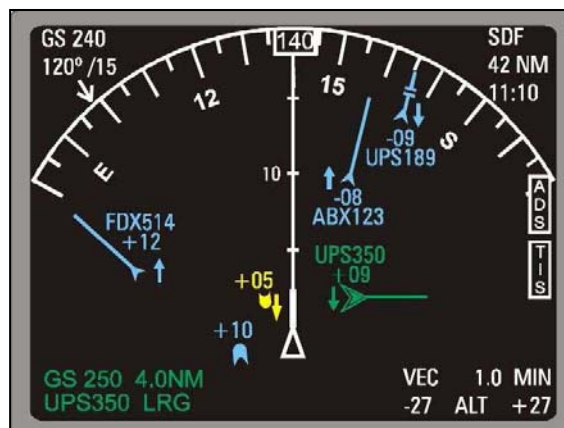


Figure 3. Cockpit Display of Traffic Information [1]

III Applications

ADS-B has different applications, depending on what it is used for, and where is supposed to be introduced. There are two possible groups: Ground Surveillance applications and Airborne Surveillance applications.

The first one we include ADS-B data received by ground stations (ADS-B OUT) and can be divided by ADS-B NRA, when used in non-radar airspace; ADS-B RAD, for radar airspace, ADS-B APT, for airport surface and ADS-B ADD, data derived from the aircraft to be used by ground tools (selected altitude, rate of climb, i.e.).

When ADS-B data is received by other aircraft (ADS-B IN) this application is called ATSAW, or Air Traffic Situational Awareness. It's divided in ATSA SURF for operations on the airport surface; ATSA AIRB for flight operations when airborne, ATSA ITP, IN-Trail procedure and ATSA VSA for visual separation operations.

In this context, EUROCONTROL (European Organization for the Safety of Air Navigation) define the CASCADE Programme (Co-operative ATS through Surveillance and Communication Applications Deployed in ECAC), which coordinates the implementation of ADS-B applications in Europe (Figure 4).

In this program (CASCADE), the CRISTAL initiative provides data from validation trials, testing this new technology both in simulations and real scenarios,

with major incidence in “pocket areas” where the operational needs exists and is increasing. The main actors here are local ANSP’s, Airline Operators and the aeronautical industry. As an outcome it’s expected to have a qualitative and quantitative evaluation of the benefits, effectiveness and safety that will come along with the introduction of ADS-B in ATC scenarios. With this, a huge amount of data will base the production of certification standards and guidance material for flight crew, air traffic controllers and maintenance staff, among others.



Figure 4. Implementation sites [4]

Regarding Portugal, first ADS-B implementation will take place in the Azores, where an ADS-B ground station is planned to be installed, together with WAM (Wide Area Multilateration Area) already in installation. NAV Portugal is the Portuguese Stakeholder at CASCADE Program and CRISTAL initiatives.

IV Costs

Costs are divided in two groups: initial costs and recurrent costs. Figure 5 show how they are divided by ANSP and operators.

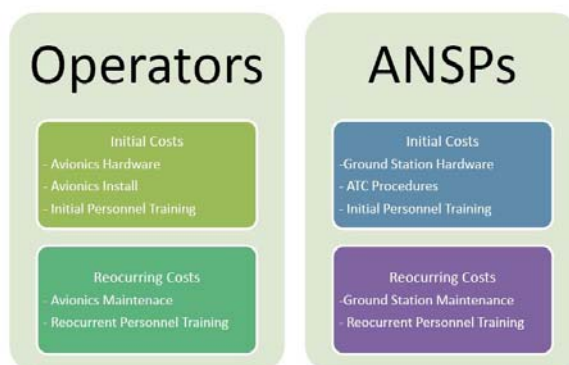


Figure 5. Initial and Recurring costs for Operators and ANSP (adapted from [1])

A) Case Study

The estimated costs for this study were:

- ✓ Purchase, Installation and commissioning of the ADS-B ground surveillance infrastructure;
- ✓ Controllers and technical staff training;
- ✓ Annual maintenance;
- ✓ Annual communication charges.

This analysis was made using data from 3 different sites: Pescara (Italy), Rhodes (Greece) and Trabzon (Turkey).

There are other implementation locations of the ADS-B NRA application, but these ones already have a cost benefit report, that, although not validated yet, can provide us as an idea of the final costs for the Azores (Portugal) initiative.

The costs estimated with these studies are in Table 1:

	Implementation	Reocurrent
Pescara, Italy	0,733	0,036
Trabzon, Turkey	0,689	0,026
Rhodos, Greece	0,363	0,008

Table 1. Implementation and Reocurrent Costs in €millions (based on [5], [6], [7])

Both Trabzon and Pescara have similar airspace type, without any radar surveillance source, using, therefore, procedural separation methods. Rhodes, on the other hand, has surveillance radar for FL155 and below, but needs to increase their surveillance accuracy. All situations have to implement some sort of surveillance system if they want to accommodate the growing amount of traffic expected in the near future.

As it is now, the following inefficiencies are noticed [5]:

- Departure and arrival trajectory inefficiencies;
- Ground delay delays;
- Vertical flight inefficiencies;
- Increased holding times;
- A significant number of air-ground and co-ordination communications.

Their goal, both for Trabzon and Pescara, is to replace procedural control. For Greece, the objective is to improve surveillance source for Rhodes and replace procedural control for Kos and Karpathos.

For Portugal, the goal is to introduce surveillance data for traffic between islands, using a combination of data from ADS-B, WAM and radar.

The exact number of these costs is still unknown, but the values of the three other locations (with some resemblances with the Portuguese case) can provide an idea of how much this system will cost to be implemented.

The net present value calculated for the three cases is shown in Figure 6.



Figure 6. Net Present Value for each location (based on [5], [6], [7])

The calculated value for each location provides an approximated value of the cash inflow that the investment can bring.

Considering the benefits, this could be a good return for a minor investment. And given the fact that additional benefits, like environmental, savings and safety are not included, the outcome could be even better.

B) Airspace under Portuguese control

Airspace under Portuguese control is divided in two **F**light **I**nformation **R**egions, Lisbon FIR and Santa Maria FIR, the last one including Santa Maria TMA, a portion of airspace around the nine islands of Azores, referred in Figure 7.

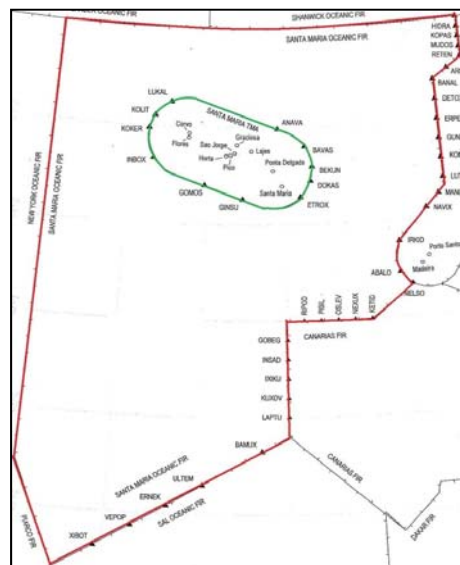


Figure 7. Santa Maria FIR (red) and Santa Maria TMA (green) (adapted from [8])

Major traffic axis operating in Santa Maria FIR are Europe-Caribbean, Iberia Peninsula- North America, and Europe-Azores. Regional, traffic comprises inter-islands traffic and is operated, almost 90%, by Sata, Azorean regional operator.

The airspace outside TMA is designated Oceanic, with procedural control based on flight plan tracks updated by position reports (either by Voice or ADS-C) complemented with a wind grid. TMA Control is a mix of procedural and radar, where radar coverage is present.

The single antenna radar in Santa Maria covers the oriental and the central group, although in the last, there is a lot of gaps due to the mountainous nature of the islands.

Still in trail, an ADS-B ground station has been implemented, in order to enhance surveillance in the central group of islands, together with SSR, already in service since Oct 2006 and WAM system.

Multilateration (WAM) system about to be implemented is a relatively cheap way of providing surveillance data without major avionics or procedures changes.

Also it can be used as a transition technology to ADS-B, or a way for adding some redundancy in surveillance data, after full implementation of ADS-B.

The ground stations to cover the all area are in the locations shown in Figure 8.

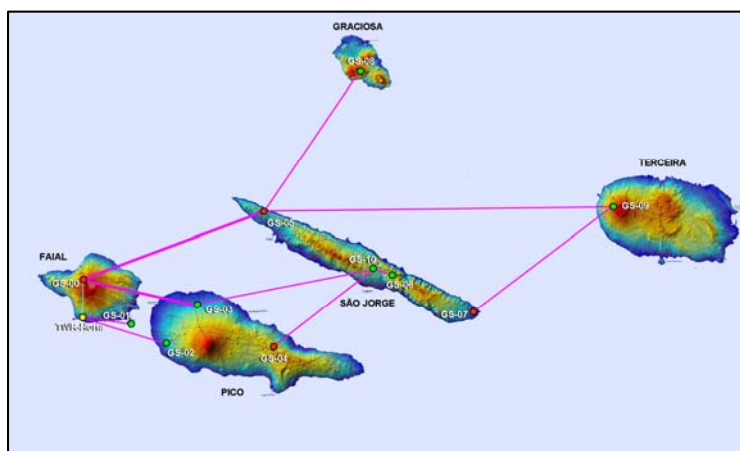


Figure 8. WAM ground stations locations [9]

Some antennas are only receivers while others are receivers and transmitters, able to receive ADS-B reports as well as transponders replies. 11 are planned for this group of islands.

With the introduction of an ADS-B system, the expected covered area using both Santa Maria SSR and the ADS-B system is the one shown in Figure 9.

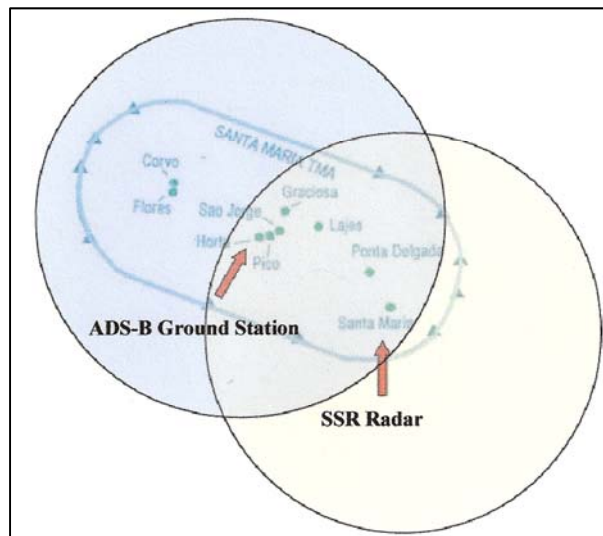


Figure 9. Theoretical covered area with ADS-B and Radar (in Santa Maria FIR) [Authors]

This will allow changes from procedural separations to radar-like separations in a non-radar area. Methods currently used will be maintained until controllers gain confidence in ADS-B surveillance data.

The benefits with this system will make possible to reduce or end some inefficiencies that are verified actually in this FIR.

According to the Eurocontrol forecast, expected traffic growth for the period 2004-2010 in Santa Maria FIR is between 3% and 4,9%, growth that will be accommodate with less inefficiencies by the introduction of another surveillance source (ADS-B).

V Controller/Pilot Opinion

Several CRISTAL took place in several countries and airspace types and from simulation trials, which involved pilots and controllers, main feedbacks are the follows:

- For controllers, main actors and users of the ADS-B information in radar and non radar airspace, and for pilots, who will benefit from the enhanced situational-awareness on-board, the opinion is quite positive;
- Main benefits highlighted here, in the ADS-B IN applications are enhanced flight operations with better identification of dangerous situations and better execution of ATC clearances. Besides, visual separation procedures and flight level changes are easy and better, as more information from the surrounding traffic becomes available;
- Surface operations are also improved, as there is a better understanding of the movements in the airport surface;

- As for ADS-B OUT, main conclusions are that for ATC, the capacity for detecting conflicts are enhanced, with the same level of workload, conducting to a more efficient use of airspace;
- Radio frequency occupation is also proven reduced;
- Controller's opinion is that ADS-B is a good investment, producing several benefits if used correctly. The biggest concern is that pilots start to make their own *Air Traffic Control* based only in CDTI information. The use of ADS-B data in the cockpit has also a very positive impact, so the investment on an on-board CDTI is strongly recommended to improve pilots situational awareness, giving them a better picture of the surrounding traffic and reducing the stress and effort to make decisions safely;
- Both parts agree that clear procedures should be produced to mitigate the errors or misunderstandings when using this new information. Responsibilities and prerogatives-from each part should be maintained.

VI Conclusions

ADS-B is a new technology that will enable accommodation of a larger number of aircraft in a given airspace, with the same safety standards, at a significantly smaller price. The impact on controllers and pilots duties is not relevant and in many occasions can even improve their work. A need for new procedures and rules will arise as this becomes a more and more used system.

The cost/benefit analysis shows that the investment is relatively small, given the benefits and capacities enabled with this new system.

If the pioneer implementation locations succeed, this new technology will become more attractive for stakeholders and ANSP, and the tendency towards global implementation will be a fact.

Locations where regular surveillance sources are too expensive to be installed may now be considered for a system like this, with enhanced flight procedures and operations.

Next steps will be determination of a more accurate value of the costs and evaluation of the inefficient operations that will be enhanced in the Portuguese FIR.

References

- [1] Edward A. Lester and R. John Hansman, "Benefits and Incentives for ADS-B Equipage in the National Airspace System", Report No. ICAT-2007-2, August 2007
- [2] Jae-Hoon Song, Kyung-Ryoon Oh, In-Kyu Kim, Injung Kim and Sung-See Kim, "Preliminary Implementation of Ground-to-Ground Surveillance Test-bed

based on ADS-B concepts”, International Conference on Control, Automation and Systems, Seoul, Korea, 2007

[3] Eurocontrol (2008), *Flight Crew Guidance for Flight Operations in ADS-B only Surveillance Airspace*, Edition Number 1.0, Feb 2008

[4] Christos Rekkas, “ADS-B Deployment Plans in Europe ATC Global” – presentation, Amsterdam, 18 March 2009

[5] Eurocontrol (2008), *Cost Benefit Analysis for ADS-B Implementation at Diagoras Airport*, Edition Number 1.0, Jun 2008

[6] Eurocontrol, *Cost Benefit Analysis for ADS-B Implementation at Pescara Airport*, Edition Number 2.0, May 2008

[7] Eurocontrol (2007), *Cost Benefit Analysis for ADS-B Implementation at Trabzon Airport*, Edition Number 1.0, Nov 2007

[8] AIP Portugal ENR 6.5-1 25, Sep 2008

[9] Navegar, Nav-Portugal E.P.E., II série, nº11, Jan 2010

[10] Christos Rekkas and Melvyn Rees, “Towards ADS-B implementation in Europe”, Proceedings of ESAV'08, Capri, Italy, September 2008

Apêndice B

Artigo Científico a submeter para publicação em revista Científica ISI

ADVANCED AIR TRAFFIC MANAGEMENT TECHNOLOGIES: THE ADS-B IMPACT OVER ATM CONCEPTS. THE CASE FOR PORTUGAL

Cláudia Rodrigues and Jorge Silva
Aerospace Sciences Department
Beira Interior University, Covilhã, Portugal
+ 351 275 329 732; + 351 275 329 768
clou360@gmail.com and jmiguel@ubi.pt

In today's CNS/ATM (Communication, Navigation, Surveillance/Air Traffic Management) paradigm the Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B) is a very important tool in the improvement of surveillance precision, incising the traffic efficiency with even better safety parameters and lower delays.

All around the world programs and projects to implement the ADS-B technology are taking place with trials being made with the participation of Air Navigation Services Providers (ANSP's), focusing Air Traffic Controllers duties, Aircraft Operators, focusing pilots duties, and Aircraft and Avionics manufacturers, to validate the efficiency and safety of this system, as well as the cost, time and changes to make this happen. The outcome of this will certainly affect the shape of ATM surveillance in the short and long term.

This work initially presents an overview of the current situation, i.e., on how surveillance is made nowadays, then an overview of the ADS-B system and its technology, and finally a cost/benefit evaluation of the implementation of this new technology within the Portuguese FIR's.

I. Introduction

AS air traffic begins to grow, the need to avoid collisions between aircraft became a very important issue. In order to do that, standard values as minimum distance between aircraft were established, called separation minimum. These separations are applied and verified by air traffic controllers, using a number of different control methods, as Procedural, or Non-Procedural, i.e. using Primary Surveillance Radar (PSR), Secondary Surveillance Radar (SSR), Multilateration or Automatic Dependent Surveillance (ADS) (Figure1). These methods are also used to avoid collisions between aircraft on ground or between aircraft and other vehicles in the maneuvering area of an aerodrome.

The aeronautical authorities established separation standards to ensure a safe navigation in controlled airspace. If correctly used, they assure that an aircraft is at a safe distance from the ground and from other aircrafts.

Nowadays, the large majority of control units (ACC's, Area Control Centers and TWR's, Air Traffic Control Towers) uses surveillance sources (rather than procedural methods, based on pilots reports to estimate the aircraft position, with less accuracy getting information from PSR and/or SSR). Given the fact that PSR tracks only represents targets when they reflect radio waves, there is a large number of limitations with this technology. On the other hand, the SSR uses the transponder's replies to obtain information about its position and identification. There are different radar types, according to the area pretended to be covered. En-route radars have a low upgrade rate (approximately 12 seconds) but cover a large geographic area. Terminal radars cover a much smaller area, generally only the airport and nearby area, yet have a much higher upgrade rate, approximately 4,2 seconds. This happens because flying speeds in the vicinity of an aerodrome are much smaller than when flying en

route- so aircraft can fly closer to each other. This means more aircraft in the same volume - so ATC needs a more precise watch, and situation displays needs a higher upgrade rate.

Adding to this, both PSR and SSR need large infrastructures, with mechanical moving parts, which require being placed at a location with no obstacles in the vicinity, at 360° line-of-site with aircrafts, and occupying a considerably large space. Maintenance is also a key issue here, as the systems have a large number of moving parts.

Given all this, total costs of these infrastructures are quite high, which makes its installation and operation worthwhile only when the traffic volume justifies. Given its size, installation can be tricky. So, remote areas, small islands and oil rigs, despite having some traffic, do not justify installing such a costly system like this.

Surveillance, in these cases, is based on procedural methods, with large separations to maintain the same safety level.

Consequently, the amount of traffic using the same airspace at a given moment is smaller, making some flight operations inefficient. Departure and arrival trajectories, increased holding times, flight level changes (whether is to reduce fuel consumption, to fly at levels with more favorable winds or leaving the ones with headwinds or turbulence) are some examples.

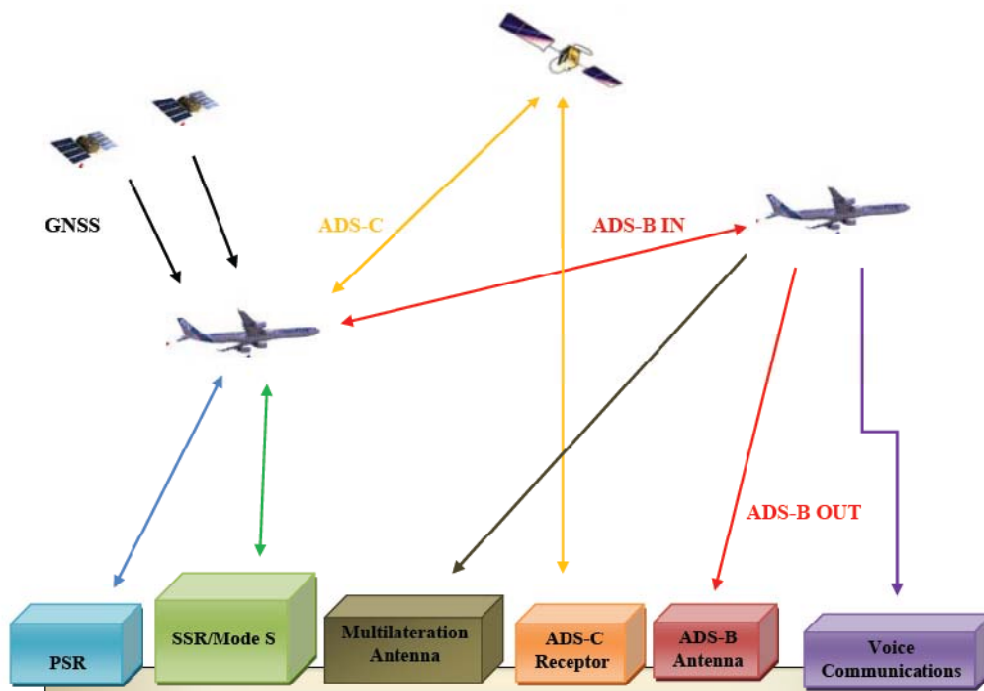


Figure 1. Different types of surveillance sources

II. Automatic Dependent Surveillance, ADS-B

In this context we introduce the Automatic Dependent Surveillance Broadcast, ADS-B. This Surveillance System is based in the ability of the aircraft to periodically and automatically broadcast a given set of data. These data can be received by ADS-B ground station (ADS-B OUT application) or by other aircraft when airborne (ADS-B IN application).

It is **Automatic** in the sense that there is no need for the crew to make any input, **Dependent** because the information sent is based on avionics/onboard systems (like SSR depends on onboard transponders) and **Broadcast** because it sends information without interrogations either by controller or other parts. It's principle is to send as many reports as possible, to the greater number of receptors able to capture its signal. The same way as traffic non-equipped with transponders cannot be detected

by TCAS (Traffic Alert and Collision Avoidance System) and avoid collisions, the same happens with ADS-B.

If an aircraft is broadcasting ADS-B data, but traffic in the range of the signal is not properly equipped, they will not be able to receive and process that data. The conclusion here, is that the system will only produce major benefits as all aircraft, or in a large percentage, are equipped with ADS-B avionics.

The technology adopted for ADS-B data transmission in Europe is the *1090 MHz Extended Squitter*, a part of Mode S transponder. When equipped with 1090ES, aircraft transponders are able to receive and broadcast data as position, speed and intentions in the Mode S signal, without any interrogation by a SSR on ground, or TCAS when airborne. ADS-B information does not interfere with TCAS information.

Implementation plans for this system is on-going, with participation of many stakeholders, from ANSP to Airline Operators, from a voluntary phase (giving advantage to the ones who are equipped) to a mandatory phase. Figure 2 represents the capabilities enabled with this system.

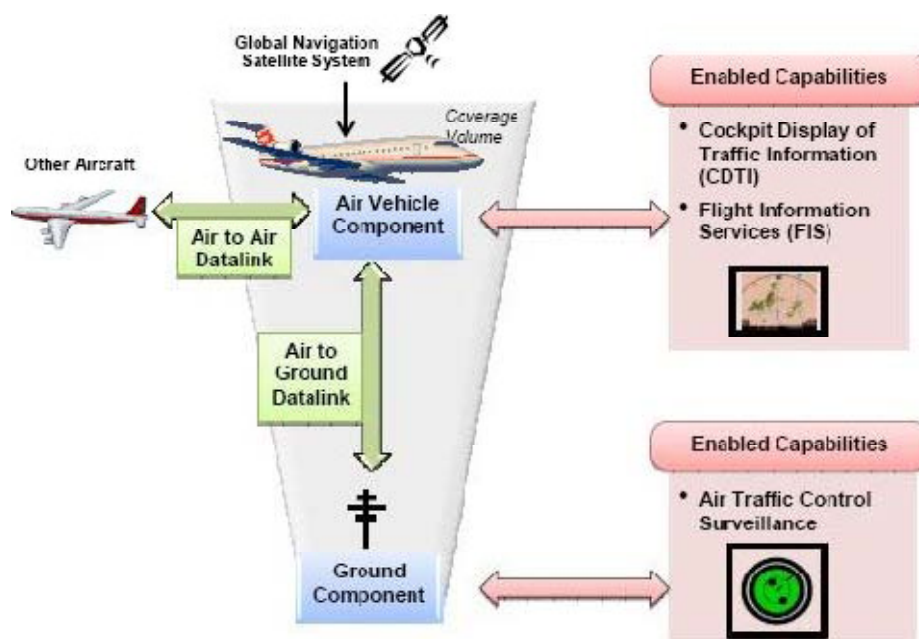


Figure 2. The ADS-B System ¹

Broadcast data has at least the following information ²:

- Information on horizontal aircraft position;
- Barometric altitude of the aircraft;
- Aircraft identification;
- Urgency/emergency indicator;
- “IDENT”- Special Position Indicator (SPI).

Major difference on-board, in terms of avionics, is the Cockpit Display of Traffic Information, CDTI. This is where ADS-B data is shown to the pilots. In Figure 3 there is an example. The traffic shown contains information of relative altitude, traffic identification and track¹. Studies made in the airborne surveillance applications indicate that the CDTI in the same display of the TCAS do not confuses pilots, if distinguished symbols are used.



Figure 3. Cockpit Display of Traffic Information¹

Advantages (Figure 4):

- Smaller ground stations and little maintenance work. Installation relatively easy;
- Data is very precise, as it derives directly from on-board system (GPS based systems);
- Upgrade rate of approximately 0,5 seconds, much higher than conventional radars;
- No need for major modifications to the current avionics (using Mode S transponders *Extended Squitter*);
- Do not suffer from the same problems as conventional radars (silence cones, silence areas, garbling, fruit, interferences, etc);
- Relatively cheap way of providing a surveillance system in areas where the high price of installing a SSR/PSR system do not justify it, or where there is already a surveillance source but some redundancy is necessary;
- Ecological benefits by reducing CO₂ emissions, as it allows easy and fast FL (Flight Level) changes to others where fuel consumption is more efficient.



Figure 4. Expected improvements and benefits with ADS-B (adapted from³)

Additionally, there are direct benefits to:

- **Airline Operator**, who will be able to provide better services, achieving better flight profiles and reducing fuel consumption;
- **ANSP**, who will be able to provide better service at a lower cost per airspace user;
- **General Public**, due to lower CO₂ emissions.

III. Applications

ADS-B has different applications, depending on what it is used for, and where is supposed to be introduced. There are two possible groups: Ground Surveillance applications and Airborne Surveillance applications.

The first one we include ADS-B data received by ground stations (ADS-B OUT) and can be divided by ADS-B NRA, when used in non-radar airspace; ADS-B RAD, for radar airspace, ADS-B APT, for airport surface and ADS-B ADD, data derived from the aircraft to be used by ground tools (e.g. selected altitude, rate of climb).

When ADS-B data is received by other aircraft (ADS-B IN) this application is called ATSAW, or Air Traffic Situational Awareness. It's divided in ATSA SURF for operations on the airport surface; ATSA AIRB for flight operations when airborne, ATSA ITP, IN-Trail procedure and ATSA VSA for visual separation operations.

In this context, EUROCONTROL (European Organization for the Safety of Air Navigation) define the CASCADE Programme (Co-operative ATS through Surveillance and Communication Applications Deployed in ECAC), which coordinates the implementation of ADS-B applications in Europe (Figure 5).

In this program (CASCADE), the CRISTAL initiative provides data from validation trials, testing this new technology both in simulations and real scenarios, with major incidence in "pocket areas" where the operational needs exists and is increasing. The main actors here are local ANSP's, Airline Operators and the aeronautical industry. As an outcome it's expected to have a qualitative and quantitative evaluation of the benefits, effectiveness and safety that will come along with the introduction of ADS-B in ATC scenarios. With this, a huge amount of data will base the production of certification standards and guidance material for flight crew, air traffic controllers and maintenance staff, among others.



Figure 5. Implementation sites ⁴

Regarding Portugal, first ADS-B implementation will take place in the Azores, where an ADS-B ground station is planned to be installed, together with WAM (Wide Area Multilateration Area) already in installation. NAV Portugal is the Portuguese Stakeholder at CASCADE Program and CRISTAL initiatives.

IV. Case Study

A. Airspace under Portuguese Control

Airspace under Portuguese control is divided in two Flight Information Regions, Lisbon FIR and Santa Maria FIR, the last one including Santa Maria TMA, a portion of airspace around the nine islands of Azores, referred in Figure 6. The islands are grouped into 3 groups, according to their proximity:

- Occidental Group, includes Corvo island and Flores island;
- Central Group, made of Faial, Pico, São Jorge Graciosa and Terceira;
- Oriental Group, with Santa Maria and São Miguel.

Major traffic axis operating in Santa Maria FIR are Europe-Caribbean, Iberia Peninsula- North America, and Europe-Azores. Regional, traffic comprises inter-islands traffic and is operated, almost 90%, by Sata, Azorean regional operator.

The airspace outside TMA is designated Oceanic, with procedural control based on flight plan tracks updated by position reports (either by Voice or ADS-C) complemented with a wind grid. TMA Control is a mix of procedural and radar, where radar coverage is present.

The single antenna radar in Santa Maria covers the Oriental and the Central group, although in the last, there are a lot of gaps due to the mountainous nature of the islands. Occidental group is completely out of radar coverage.

This results in application of TMA separation standards, where radar coverage does not exist or is unreliable, which are significantly higher than radar separations.

So, several inefficiencies are noticed on air traffic control in this region due to the incomplete surveillance coverage:

- Departure and arrival flight trajectory inefficiencies on some islands of the Central Group;
- Ground delays;
- Vertical Flight inefficiencies;
- Increased holding times.

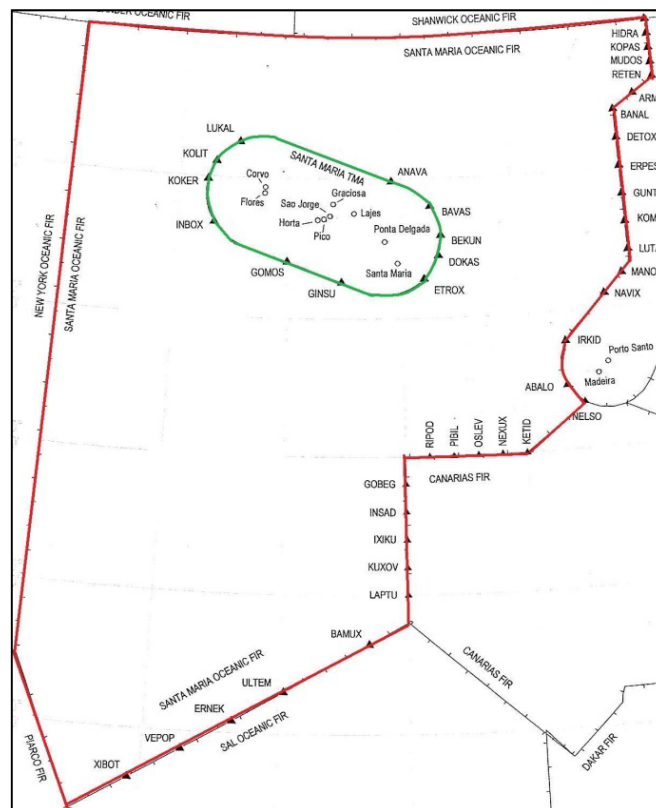


Figure 6. Santa Maria FIR (red) and Santa Maria TMA (green) (adapted from ⁵)

According to the Eurocontrol forecast, expected traffic growth for the period 2005-2025 in Santa Maria FIR is between 3% and 4,9%. This growth will not be able to be accommodate unless the inefficiencies pointed above are mitigated.

To do so, and still in trail, an ADS-B ground station has been implemented, in order to enhance surveillance in the central group of islands, together with SSR, already in service since Out 2006 and WAM system.

Multilateration (WAM) system about to be implemented is a relatively cheap way of providing surveillance data without major avionics or procedures changes.

Also it can be used as a transition technology to ADS-B, or a way for adding some redundancy in surveillance data, after full implementation of ADS-B.

The ground stations to cover the all area are in the locations shown in Figure 7.

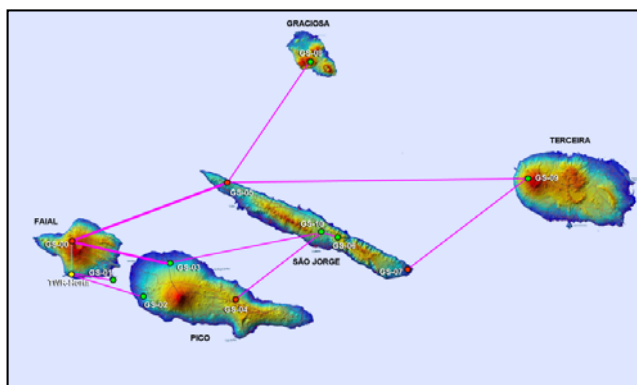


Figure 7. WAM ground stations locations ⁶

Some antennas are only receivers while others are receivers and transmitters, able to receive ADS-B reports as well as transponders replies. 11 are planned for this group of islands.

With the introduction of an ADS-B system, the expected covered area using both Santa Maria SSR and the ADS-B system is the one shown in Figure 8.

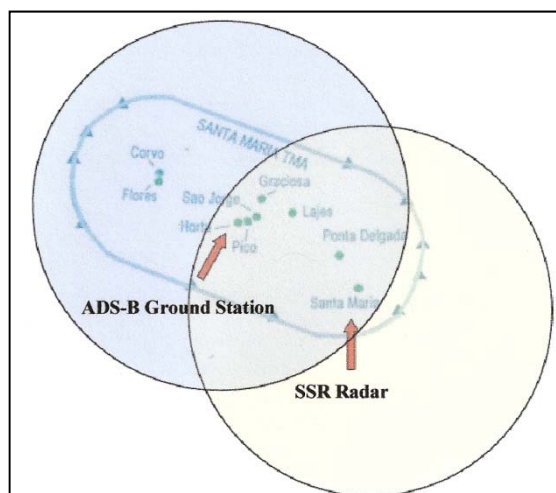


Figure 8. Theoretical covered area with ADS-B and Radar (in Santa Maria FIR)

This will allow changes from procedural separations to radar-like separations in a non-radar area. Methods currently used will be maintained until controllers gain confidence in ADS-B surveillance data.

So, the routes used actually, which cause the inefficiencies pointed before, can be altered and changed to more direct routes.

Figure 9 shows the actual routes from Santa Maria and São Miguel islands to Faial island (red and blue routes). The green route (more direct) is the one possible after the ADS-B system implementation.

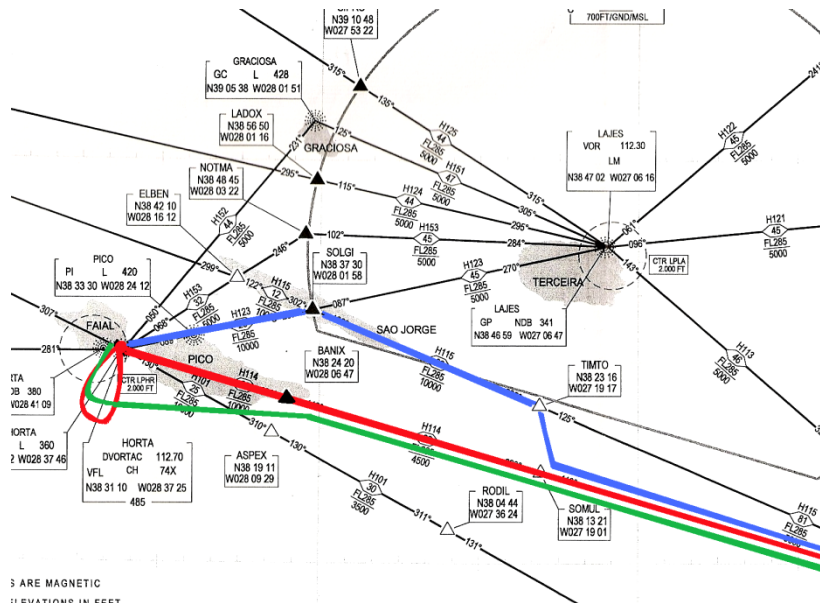
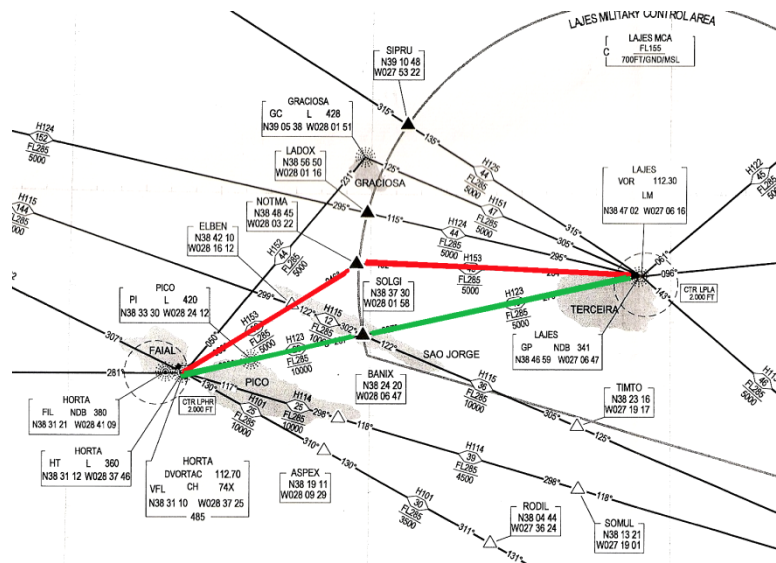


Figure 9. São Miguel/Santa Maria routes to Faial (adapted from ⁵)

Other example are the routes from Faial island to Terceira island. These are longer due to the Pico's island mountain, which cause the traffic to divert to the red route (Figure 10), making the 76.5 NM trajectory to fly from Faial to Terceira. Adding ADS-B surveillance, a more direct route (green route) will be possible to use, resulting in a smaller trajectory of 73 NM. This results in savings of about 1.5 minutes, considering average speed of 150 knots.



Figures 10. Faial routes to Terceira (adapted from ⁵)

Adding this benefits, improved controller's situational awareness, less fuel consumptions due to more direct routes and lower holding times, the result will be, among others, diminished CO₂ emissions, which reduce the environmental impact per flight. Expected gains are:

- ✓ **3 minutes** of ground delays savings;
- ✓ **3 minutes** airborne holding time savings;
- ✓ **8 NM** flight trajectory savings, due to shorter horizontal separation than procedural, vector separation possibility and shorter routes to initial approach fix;

- ✓ **Reduced holding times**, when holding is required.

This way, if the need exists, traffic will be accommodated within the Santa Maria TMA airspace, as separations are reduced but maintaining or even enhancing safety.

B. Future Expansion

Depending on the outcome of the first implementation, another ADS-B ground station could be installed in Flores island, resulting, in addition with WAM/ADS-B in the Central Group and SSR in Santa Maria, in a full coverage of Santa Maria TMA, almost reaching surveillance coverage, at FL300, the New York FIR (Figure 11).

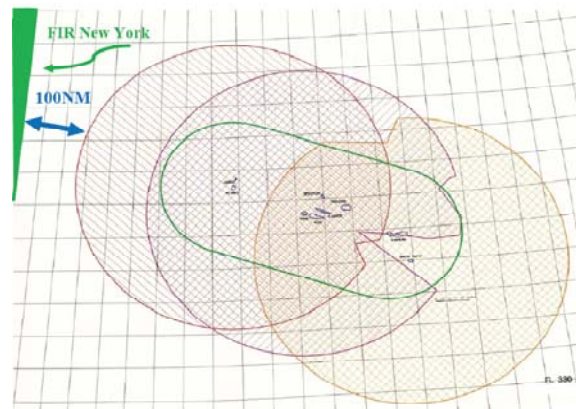


Figure 11. Total coverage with SSR and 2 ADS-B Ground Stations (adapted from⁷)

C. Costs

Costs are divided in two groups: initial costs and recurrent costs. Figure 12 shows how they are divided by ANSP and operators.

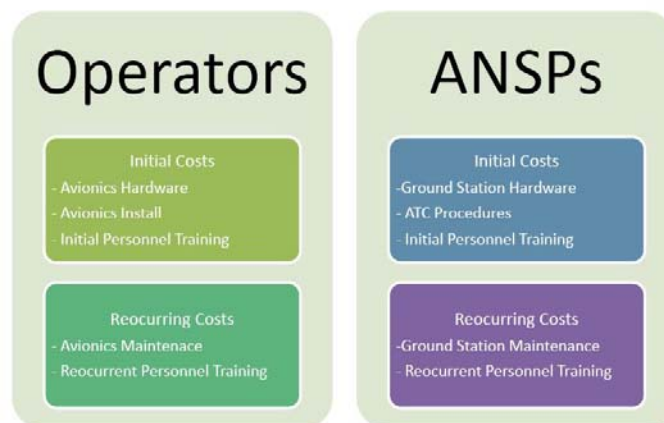


Figure 12. Initial and Recurring costs for ANSP and Operators (adapted from¹)

The estimated costs for this study were:

- Purchase, Installation and commissioning of the ADS-B ground surveillance infrastructure;
- Controllers and technical staff training;
- Annual maintenance;

- Annual communication charges.

This analysis was made using data from 3 different sites: Pescara (Italy), Rhodos (Greece) and Trabzon (Turkey).

There are other implementation locations of the ADS-B NRA application, but these ones already have a cost benefit report, that, although not validated yet, can provide us as an idea of the final costs for the Azores (Portugal) initiative. The costs estimated with these studies are in Table 1.

Table 1. Implementation and Reocurrent Costs in €millions (based on ^{8, 9, 10})

	Implementation	Reocurrent
Pescara, Italy	0.733	0.036
Trabzon, Turkey	0.689	0.026
Rhodos, Greece	0.363	0.008

Both Trabzon and Pescara have similar airspace type, without any radar surveillance source, using, therefore, procedural separation methods. Rhodos, on the other hand, has surveillance radar for FL155 and below, but needs to increase their surveillance accuracy. All situations have to implement some sort of surveillance system if they want to accommodate the growing amount of traffic expected in the near future.

Their goal, both for Trabzon and Pescara, is to replace procedural control. For Greece, the objective is to improve surveillance source for Rhodos and replace procedural control for Kos and Karpathos.

The expected traffic growth for these locations varies from 1,8% to 2,8%.

The values of these locations (with some resemblances with the Portuguese case) can provide an idea of implementation and reocurrent costs, as these values do not vary much. In Azores, there is a mix of these three situations, with the addition of the WAM system (not included in the present study).

The net present value calculated for the three cases is shown in Figure 13.



Figure 13. Net Present Value for each location (based on ^{8, 9, 10})

The calculated value for each location provides an approximated value of the cash inflow that the investment can bring.

Based on the values shown above, the return for the Portuguese investment was calculated, taking into account the airspace, personnel involved and other Portuguese characteristic, culminating on the value €5.95 M (Figure 14).



Figure 14. Net Present Value calculated for Portugal

Considering the benefits, this could be a good return for a minor investment. And given the fact that additional benefits, like environmental, savings and safety are not included, the outcome could be even better.

V. Controller/Pilot Opinion

Several CRISTAL took place in several countries and airspace types and from simulation trials, which involved pilots and controllers, main feedbacks are the follows:

- For controllers, main actors and users of the ADS-B information in radar and non radar airspace, and for pilots, who will benefit from the enhanced situational-awareness on-board, the opinion is quite positive;
- Main benefits highlighted here, in the ADS-B IN applications are enhanced flight operations with better identification of dangerous situations and better execution of ATC clearances. Besides, visual separation procedures and flight level changes are easy and better, as more information from the surrounding traffic becomes available;
- Surface operations are also improved, as there is a better understanding of the movements in the airport surface;
- As for ADS-B OUT, main conclusions are that for ATC, the capacity for detecting conflicts are enhanced, with the same level of workload, conducting to a more efficient use of airspace;
- Radio frequency occupation is also proven reduced;
- Controller's opinion is that ADS-B is a good investment, producing several benefits if used correctly. The biggest concern is that pilots start to make their own *Air Traffic Control* based only in CDTI information. The use of ADS-B data in the cockpit has also a very positive impact, so the investment on an on-board CDTI is strongly recommended to improve pilots situational awareness, giving them a better picture of the surrounding traffic and reducing the stress and effort to make decisions safely;
- Both parts agree that clear procedures should be produced to mitigate the errors or misunderstandings when using this new information. Responsibilities and prerogatives from each part should be maintained.

VI. Conclusions

ADS-B is a new technology that will enable accommodation of a larger number of aircraft in a given airspace, with the same safety standards, at a significantly smaller price. The impact on controllers and pilots duties is not relevant and in many occasions can even improve their work. A need for new procedures and rules will arise as this becomes a more and more used system.

If the pioneer implementation locations succeed, this new technology will become more attractive for stakeholders and ANSP, and the tendency towards global implementation will be a fact.

Locations where regular surveillance sources are too expensive to be installed may now be considered for a system like this, with enhanced flight procedures and operations.

In the Portuguese case, cost/benefit analysis shows that the investment is relatively small, given the return, benefits and capacities enabled with this new system.

Finally, the implementation of this system should be supported as it looks like a relatively low price solution for the surveillance of the growing air traffic.

References

¹Edward A. Lester and R. John Hansman, "Benefits and Incentives for ADS-B Equipage in the National Airspace System", Report No. ICAT-2007-2, August 2007

- ² Eurocontrol (2008), *Flight Crew Guidance for Flight Operations in ADS-B only Surveillance Airspace*, Edition Number 1.0, Feb 2008
- ³ Jae-Hoon Song, Kyung-Ryoon Oh, In-Kyu Kim, Injung Kim and Sung-See Kim, “Preliminary Implementation of Ground-to-Ground Surveillance Test-bed based on ADS-B concepts”, International Conference on Control, Automation and Systems, Seoul, Korea, 2007
- ⁴ Christos Rekkas, “ADS-B Deployment Plans in Europe ATC Global” – presentation, Amsterdam, 18 March 2009
- ⁵ AIP Portugal ENR 6.5-1 25, Sep 2008
- ⁶ Navegar, Nav-Portugal E.P.E., II série, n°11, Jan 2010
- ⁷ NAV Portugal, *Multilateration and ADS-B Program / Activities*, Presentation
- ⁸ Eurocontrol (2008), *Cost Benefit Analysis for ADS-B Implementation at Diagoras Airport*, Edition Number 1.0, Jun 2008
- ⁹ Eurocontrol, *Cost Benefit Analysis for ADS-B Implementation at Pescara Airport*, Edition Number 2.0, May 2008
- ¹⁰ Eurocontrol (2007), *Cost Benefit Analysis for ADS-B Implementation at Trabzon Airport*, Edition Number 1.0, Nov 2007