

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE CIÊNCIAS AERONÁUTICAS

MARCELO CESAR BIM JUNIOR

TCAS II – CONCEITO E OPERAÇÃO

Porto Alegre
2007

MARCELO CESAR BIM JUNIOR

TCAS II – CONCEITO E OPERAÇÃO

Monografia apresentada como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, da Faculdade de Ciências Aeronáuticas da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Orientador: Professor Hildebrando Hoffmann

Porto Alegre
2007

MARCELO CESAR BIM JUNIOR

TCAS – CONCEITO E OPERAÇÃO

Monografia apresentada como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, da Faculdade de Ciências Aeronáuticas da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Aprovada em ____ de _____ de _____

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Eloir Dário de Bittencourt – PUCRS

Prof. Elones Fernando Ribeiro – PUCRS

Prof. Hildebrando Hoffmann – PUCRS

Dedico esta monografia a minha família e a minha namorada, pessoas que tanto apoiaram e incentivaram o meu crescimento profissional.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Hildebrando Hoffmann pela sua orientação, incentivo e atenção. Aos colegas de sala de aula pela ajuda e pelo companheirismo. E a todos os professores e funcionários da Faculdade de Ciências Aeronáuticas pelos conhecimentos transmitidos.

“Uma vez que você prove o vôo, nunca mais você caminhará sobre a terra sem olhar para os céus, pois você já esteve lá, e para lá sua alma deseja voltar”

Leonardo da Vinci

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo mostrar a importância da obrigatoriedade de instalação e equipagem do Traffic Alert and Collision Avoidance System TCAS, também conhecido por ACAS (sistema de alerta de colisão aérea), cujo objetivo é prover alertas aos pilotos em conflito potencial de tráfego, nas aeronaves.

Os controladores e pilotos devem estar totalmente cientes de como o TCAS funciona e requer reações ocupando o espaço aéreo. Ambos devem ter total entendimento das funções do TCAS, das informações que o sistema fornece aos pilotos e como funciona o sistema em cenários específicos de conflito.

Para isso é importante assegurar que todos os controladores de tráfego aéreo e pilotos recebam formação e treinamento adequado sobre as capacidades e limitações do TCAS, visando torná-los cientes das respostas esperadas em relação às orientações emitidas pelo sistema.

Atendendo ao regulamento cabível à aeronave os pilotos devem operar o TCAS em todos os espaços aéreos e em todas as condições meteorológicas, desde que não haja restrições previstas para a sua operação no espaço aéreo que está sendo utilizado.

Palavras-Chave: TCAS. Traffic Alert and Collision Avoidance System. ACAS. Alerta de Colisão Aérea.

ABSTRACT

The present study aims at showing the importance of installing the Traffic Alert and Collision Avoidance System TCAS in aircraft as a requirement. The TCAS, also known as ACAS (Air Collision Alert System) has the objective of providing air traffic conflict warning for the crew.

Air traffic controllers and pilots must be acquainted with TCAS reactions in air space. Both groups of professionals must completely master TCAS functions and information provide to the pilots, how the system works in specific conflict scenarios.

To meet these requirements, it is important to assure that air traffic controllers and pilots receive proper education and training about TCAS capacities and limitations, so that they become aware of expected responses in relation to directions issued by the system.

In accordance with the appropriate aircraft regulations, pilots must operate TCAS in all air spaces and in all meteorological conditions, as long as the operations do not violate any anticipated operational restriction from a specific country.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1.1.1 – Douglas DC-7 da United Airlines

Figura 2.1.1.2 – Lockheed Super Constellation da TWA

Figura 2.1.1.3 – Trajetória Planejada do Vôo 718 da United

Figura 2.1.1.4 – Trajetória Planejada do Vôo 2 da TWA

Figura 2.1.1.5 – Trajetória de Colisão dos Vôos TWA 2 e UA 718

Figura 2.1.2.1 – Trident 3B da British Airways

Figura 2.1.2.2 – Douglas DC-9 da Inex-Adria Aviopromet

Figura 2.1.2.3 – Rota de Colisão dos Vôos BA476 e JP550

Figura 2.1.2.4 - Trajetória de Colisão dos Vôos BA476 e JP550

Figura 2.1.3.1 – Boeing 727 da Pacific Southwest Airlines

Figura 2.1.3.2 – Cessna 172 privado

Figura 2.1.3.3 – Trajetória Planejada do Vôo PSA182

Figura 2.1.3.4 – Colisão entre o Cessna 172 e o Boeing 727

Figura 2.1.4.1 – Douglas DC-9-32 da Aeroméxico

Figura 2.1.4.2 – Piper PA-28-181 Privado

Figura 2.1.4.3 – Colisão entre o Cherokee e o DC-9

Figura 2.1.4.4 – Cena logo após o impacto

Figura 2.2.1 – Concepção Básica do Sistema de Alerta de Colisão Aérea (TCAS)

Figura 3.1.1 – Conceito básico do Sistema de Alerta de Colisão Aérea

Figura 3.1.2 – Display de navegação

Figura 3.1.3 – Display com IVSI e TCAS

Figura 3.1.4 – Orientação de mudança vertical no ADI

Figura 3.1.5 – Critérios dos avisos

Figura 3.2.1.1 – Tráfego sem ameaça 1

Figura 3.2.1.2 – Tráfego sem ameaça 2

Figura 3.2.1.3 – Tráfego sem ameaça no display

Figura 3.2.2.1 – Aeronave intrusa 1

Figura 3.2.2.2 – Aeronave intrusa 2

Figura 3.2.2.3 – Aeronave intrusa no display

Figura 3.2.3.1 – Tráfego representando um risco potencial 1

Figura 3.2.3.2 – Tráfego representando um risco potencial 2

Figura 3.2.3.3 – Orientação de tráfego no display

Figura 3.2.4.1 – Tráfego dentro do alcance selecionado no display

Figura 3.2.4.2 – Tráfego fora do alcance selecionado no display

Figura 3.2.5.1 – Tráfego ameaçante

Figura 3.2.5.2 – Orientação de resolução no display

Figura 4.1 – Operação entre os diferentes sistemas

Figura 5.1.1 – Componentes do TCAS II

Quadro 5.1.1 – Componentes do diagrama de instalação

Figura 5.1.2 – Diagrama de bloco da instalação do sistema TCAS II

Figura 5.1.1.1 – Diagrama de bloco do TCAS II

Figura 5.1.1.1.1 – Disposição dos componentes

Figura 5.1.1.2.1 – TCAS x ATS

Figura 5.1.1.3.1 – Painel de Controle ATC Modo S/TCAS

Figura 5.1.1.3.2 – EFIS Control Panel do NG

Figura 5.1.1.4.1 – Antena Direcional

Quadro 5.1.1.4.1 – ANT-81A Antenna

Figura 5.1.1.6 – Antena unidirecional

Figura 5.1.2.2.1 – IVSI

Figura 5.1.2.2.2 – PFD

Figura 5.1.2.2.3 – PFD

Figura 5.1.2.2.4 – EHSI

Figura 5.2.2.1 – Área de interferência sincronizada

Figura 5.2.2.2 – Sequência de interrogação WS

Figura 5.2.2.3 – Transmissão direcional

Figura 5.2.2.4 – Faixa de respostas ATCRBS dinâmicas

Tabela 5.3.1.1 – Definição dos níveis de sensibilidade e faixas de alerta

Figura 5.3.2.1 – Faixa de respostas ATCRBS dinâmicas

Figura 5.3.2.2 – Tau vertical TA/RA para SL 5

Figura 5.3.2.3 – Necessidade de alteração do Tau

Figura 5.3.2.4 – Alcance Tau TA/RA alterado

Figura 5.4.1 – Funções Lógicas do Alerta de Colisão Aérea

Figura 5.4.1.1 – Rastreamento da altitude

Figura 5.4.4.1 – Seleção do sentido do RA

Figura 5.4.4.2 – Seleção de sentido de não cruzamento de RA

Figura 5.4.4.3 – Aumento da razão da resolução

Figura 5.4.4.4 – Inversão da resolução

Tabela 5.4.4.1 – Possíveis RA's iniciais

Tabela 5.4.2 – Anúncios aurais do TCAS

Tabela 5.5.1.3.1 – Fraseologia recomendada para reportar RA's

Tabela 6.1 – Operações no espaço aéreo RVSM

Figura 6.1 - Emissão de TAs pelo TCAS II, versão 7.0, no espaço aéreo RVSM

Figura 6.2 - Emissão de RAs pelo TCAS II, versão 7.0, no espaço aéreo RVSM

Figura 6.1.1 - Aeronaves em níveis adjacentes apresentando desvios verticais

Figura 6.2.1 - Aeronaves em níveis adjacentes oscilando verticalmente

Figura 6.3.1 - Uma aeronave desvia em direção a outra aeronave que voa no nível adjacente

Figura 6.4.1 – Nivelamento com mil pés de separação vertical

Figura 6.4.2 - Nivelamento com mil pés de separação vertical 2

Figura 6.5.1 - Duas aeronaves niveladas, voando em FL adjacentes, seguem a mesma rota

LISTA DE SIGLAS

AC – Advisory Circular

ACAS – Airborne Collision Avoidance System

ADI – Attitude Director Indicator

AGL – Above Ground Level

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil

ARINC – Aeronautical Radio, Inc

ATA – Air Transport Association

ATC – Air Traffic Control

ATCRBS – Air Traffic Control Radar Beacon System

ATS – Air Traffic Services

BCAS – Beacon-Based Collision Avoidance System

CAA – Civil Aviation Authority

CAASD – Community Airfields Association of San Diego

CAS – Collision Avoidance System

CBT – Computer Based Training

CPA – Closest Point of Approach

DMTL – Dynamic Minimum Triggering Level

EFIS – Electronic Flight Information Systems

EICAS – Engine Indicating and Crew Alerting System

EUROCONTROL – European Organization for the safety of Air Navigation

FAA – Federal Aviation Administration

FAR – Federal Aviation Regulations

FL – Flight Level

FMS – Flight Management System

GPS – Global Positioning System

GPWS – Ground Proximity Warning System

HUD – Head Up Display

ICAO – International Civil Aviation Organization

IFR – Instrument Flight Rules

ILS – Instrument Landing System

IVSI – Instantaneous Vertical Speed Indicator

LCD – Liquid Crystal Display

MHz – Mégahertz

MTL – Minimum Triggering Level

NG – New Generation

PFD – Primary Flight Display

PSA – Pacific Southwest Airlines

RA – Resolution Advisory

RVSM – Reduced Vertical Separation Minimums

SL – Sensitive Level

SSR – Secondary Surveillance Radar

TA – Traffic Advisory

TCAS – Traffic Alert and Collision Avoidance System

TWA – Trans World Airlines

VOR – VHS Omni Directional Range

WS – Whisper-Shout

LISTA DE SÍMBOLOS



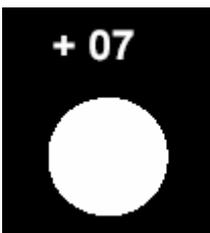
Símbolo do display do sistema TCAS.
Representa a própria aeronave.



DIAMANTE ÔCO BRANCO OU AZUL
Símbolo do display do sistema TCAS.
Tráfego não intruso.



DIAMANTE CHEIO BRANCO OU AZUL
Símbolo do display do sistema TCAS.
Tráfego próximo.
200 pés abaixo e descendo.



CIRCULO AMBAR CHEIO
Símbolo do display do sistema TCAS.
Aviso de tráfego (Intruso).
700 pés acima e nivelado.



QUADRADO VERMELHO CHEIO
Símbolo do display do sistema TCAS.
Orientação de resolução (ameaça).
100 pés abaixo e subindo.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
2	HISTÓRICO RELACIONADO AO DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE ALERTA DE COLISÃO AÉREA	21
2.1	HISTÓRICO DE ACIDENTES	21
2.1.1	Colisão em vôo entre duas aeronaves no <u>Grand Canyon</u>	21
2.1.2	Colisão em vôo entre duas aeronaves em Zagreb	26
2.1.3	Colisão em vôo entre duas aeronaves em San Diego, Califórnia	30
2.1.4	Colisão em vôo entre duas aeronaves em <u>Cerritos</u> , Califórnia	34
2.2	HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE ALERTA DE COLISÃO AÉREA (TCAS)	37
3	CONCEITOS BÁSICOS DO SISTEMA DE ALERTA DE COLISÃO AÉREA (TCAS)	40
3.1	GENERALIDADES	40
3.1.1	Aviso de Tráfego	42
3.1.2	Orientação de Resolução	43
3.2	SIMBOLOGIA	44
3.2.1	Tráfego sem Ameaça	44
3.2.2	Tráfego Próximo (Intruso)	45
3.2.3	Aviso de Tráfego (TA)	47
3.2.4	Tráfego fora da Escala (Off Scale Traffic)	48
3.2.5	Orientação de Resolução (RA)	49

4	CONSIDERAÇÕES GERAIS DAS VERSÕES DE TCAS	51
4.1	TCAS I	51
4.2	TCAS II	52
4.3	TCAS III	53
5	O SISTEMA TCAS II	55
5.1	DESCRIÇÃO TÉCNICA	55
5.1.1	Componentes do Sistema	56
5.1.1.1	<i>TCAS Computer Unit (Unidade de Computador do TCAS)</i>	<i>57</i>
5.1.1.2	<i>Transponder Modo S</i>	<i>58</i>
5.1.1.3	<i>Painel de Controle ATC Modo S/TCAS</i>	<i>59</i>
5.1.1.4	<i>Antenas</i>	<i>61</i>
5.1.2	Apresentação na Cabine	62
5.1.2.1	<i>Display de Tráfego (Traffic Display)</i>	<i>63</i>
5.1.2.2	<i>Display de Orientação de Resolução (Resolution Advisory Display).....</i>	<i>63</i>
5.2	VIGILÂNCIA DO ALVO	66
5.2.1	Vigilância modo S	67
5.2.2	Vigilância modo C	68
5.3	CONCEITOS DO ALERTA DE COLISÃO	72
5.3.1	Nível de Sensibilidade	72
5.3.2	Tau	73
5.3.3	Volume de Proteção	76
5.4	FUNÇÕES LÓGICAS DO ALERTA DE COLISÃO AÉREA	77

5.4.1	Rastreamento	77
5.4.2	Orientação de Tráfego (TA)	79
5.4.3	Detecção de Ameaça	80
5.4.4	Seleção de Orientação de Resolução (RA)	80
5.4.5	Coordenação TCAS/TCAS	85
5.4.6	Anúncio de Orientação	87
5.4.7	Comunicação Ar/Solo	87
5.4.8	Display de Orientação de Tráfego (Traffic Advisory Display)	88
5.4.9	Display de Orientação de Resolução (Resolution Advisory display)..	88
5.4.10	Anúncios Aurais	88
5.4.11	Monitoramento de Desempenho	89
5.5	A OPERAÇÃO DO TCAS II	90
5.5.1	Regulamentos e Operação	90
5.5.1.1	<i>Responsabilidades dos Controladores</i>	91
5.5.1.2	<i>Responsabilidades dos Pilotos</i>	92
5.5.1.3	<i>Fraseologia</i>	93
5.5.2	<i>Programas de Formação</i>	94
5.5.2.1	<i>Formação de Pilotos</i>	94
5.5.2.1.1	<i>Formação Acadêmico TCAS</i>	95
5.5.2.1.2	<i>Treinamento de Manobras TCAS</i>	97
5.5.2.1.3	<i>Avaliação Inicial do Conhecimento do TCAS e Procedimentos</i>	97

5.5.2.1.4	<i>Treinamento Periódico</i>	98
5.5.2.2	<i>Formação de Controladores</i>	98
5.5.3	Considerações Operacionais	101
5.5.4	Testes de TCAS/Transponder no solo	103
6	REGULAMENTOS	106
6.1	DESVIOS VERTICAIS	107
6.2	OSCILAÇÕES	109
6.3	TURBULÊNCIA	110
6.4	NIVELAMENTO COM 1000 PÉS DE SEPARAÇÃO VERTICAL	111
6.5	ENCONTROS COM BAIXA RAZÃO DE APROXIMAÇÃO	113
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	114

1 INTRODUÇÃO

Esta pesquisa pretende desvendar os mistérios sobre o sistema de alerta de colisão aérea, principalmente se tratando do TCAS II, versão 7.0, explicando seu conceito, suas funções e operação. Este é um sistema pouco comentado no círculo aeronáutico, pois geralmente não falha, mas após o acidente do GOL 1907 surgiram muitas dúvidas a respeito do sistema TCAS II, sistema que deve estar embarcado em todas as aeronaves categoria transporte com configuração para passageiros com mais de 30 assentos, que tenham recebido seu primeiro Certificado de Aeronavegabilidade (independente do país emissor do mesmo) em ou após 01 de janeiro de 2008 (TCAS II, versão 7.0), como citado no anexo A.

Este sistema foi criado a partir de alguns acidentes graves, com muitas mortes, que impactaram a população mundial. Tais acidentes ocorreram em uma época de grande crescimento no tráfego aéreo, principalmente nos Estados Unidos, país onde o sistema foi projetado e desenvolvido.

Neste trabalho estudaremos o sistema como um todo, analisando desde o seu histórico até as aplicações práticas. No capítulo 2 veremos um estudo sobre os acidentes que antecedem a criação do sistema TCAS e o desenvolvimento do sistema.

No capítulo 3 veremos os conceitos básicos do TCAS, analisando os tipos de avisos e simbologia.

No capítulo 4 veremos os conceitos das versões TCAS I, TCAS II e TCAS III, para entendermos o porque da criação das diferentes versões.

No capítulo 5 veremos com detalhes o conceito e operação do TCAS II, versão 7.0, estudando desde a descrição técnica até o formação de pilotos e controladores.

No capítulo 6 estudamos os regulamentos focalizando nas condições adversas que podemos encontrar.

2 HISTÓRICO RELACIONADO AO DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE ALERTA DE COLISÃO AÉREA

Neste capítulo apresento os históricos dos principais acidentes aeronáuticos graves, que começaram a ocorrer na década de 50, e despertaram o interesse de alguns pilotos da Associação de Transporte Aéreo dos EUA (ATA), Autoridades da Aviação Civil (CAA's) e fabricantes do ramo aeronáutico a desenvolver um sistema que pudesse evitar tais acidentes, e do desenvolvimento do sistema de alerta de colisão aérea. Um sistema que fosse eficiente e confiável. Existia uma necessidade imensa de garantir segurança entre as aeronaves, em complemento aos sistemas de proteção ao voo, em locais desprovidos dos mesmos, e/ou locais de alta densidade de tráfego aéreo.

Os acidentes apresentados a seguir, ocorreram devido à colisão entre duas aeronaves em pleno voo. Este tipo de ocorrência começou a acontecer devido ao grande crescimento do transporte aéreo, que acarretou em um grande crescimento no tráfego aéreo.

Os históricos dos acidentes aqui descritos foram pesquisados a partir de relatórios finais disponibilizados no site da aviation safety, e complementados com dados do histórico da empresa MITRE, conceituada no ramo de produtos aeronáuticos.

1956 – Colisão em voo entre duas aeronaves no Grand Canyon

1976 – Colisão em voo entre duas aeronaves em Zagreb

1978 – Colisão em voo entre duas aeronaves em San Diego, Califórnia

1986 – Colisão em voo entre duas aeronaves em Cerritos, Califórnia

2.1 HISTÓRICO DE ACIDENTES

2.1.1 Colisão em voo entre duas aeronaves no Grand Canyon

Aeronaves envolvidas:

1. Modelo/ Matrícula: Douglas DC-7/N6324C, figura 2.1.1.1
2. Modelo/ Matrícula: Lockheed Super Constellation/N6324C, figura 2.1.1.2

Acidente

Data: 30 de Junho de 1956

Hora: 10h31min

Local: Grand Canyon, Arizona

Mortes: 128

Operadores:



Figura 2.1.1.1 – Douglas DC-7 da United Airlines



Figura 2.1.1.2 – Lockheed Super Constellation da TWA

Tipo de acidente: Colisão em voo

Histórico do Acidente:

O Douglas DC-7 da United Airlines, como mostrado na figura 2.1.1.3, decolou do aeroporto internacional de Los Angeles com destino a Chicago, Newark e Philadelphia.

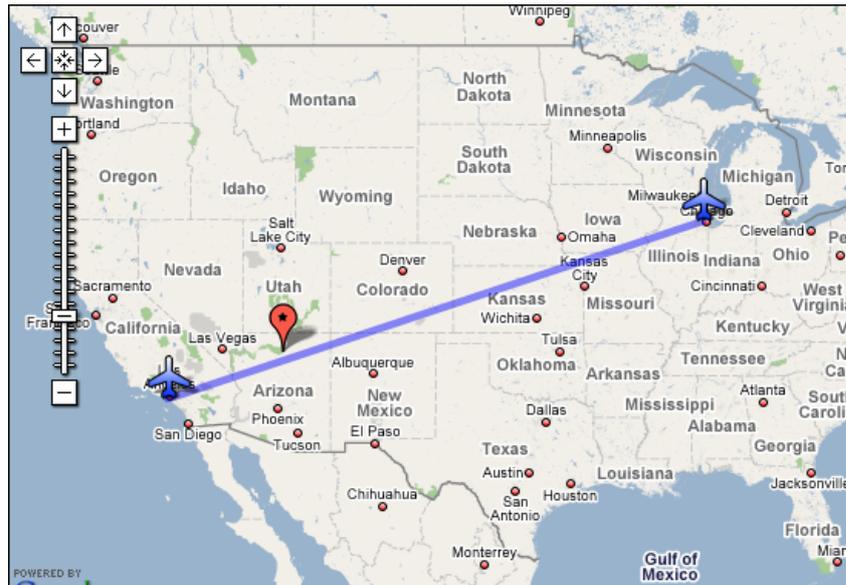


Figura 2.1.1.3 – Trajetória Planejada do Vôo 718 da United

O Lockheed Super Constellation da Trans World Airlines, como mostrado na figura 2.1.1.4, decolou de Los Angeles com destino a Kansas City e New York City.

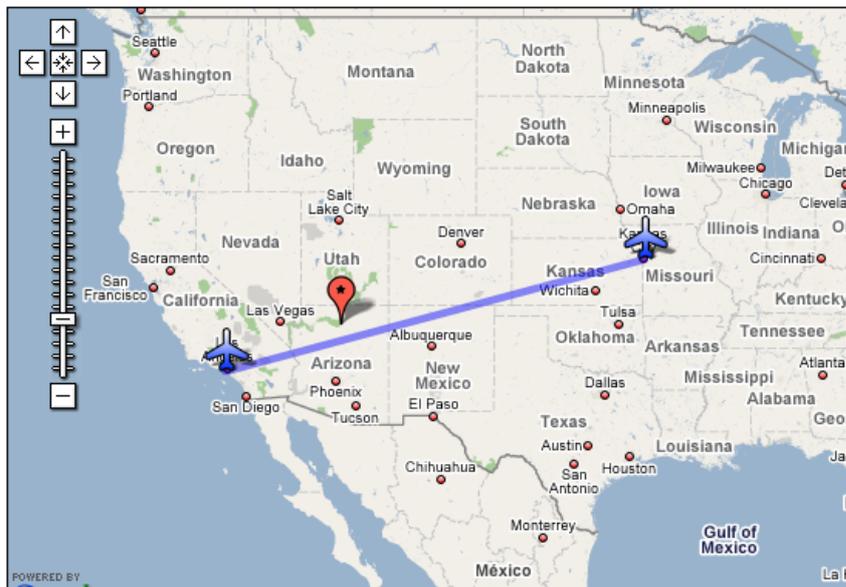


Figura 2.1.1.4 – Trajetória Planejada do Vôo 2 da TWA

As duas aeronaves colidiram em pleno vôo no Grand Canyon, como mostrado na figura 2.1.1.5, matando 128 pessoas ao todo.

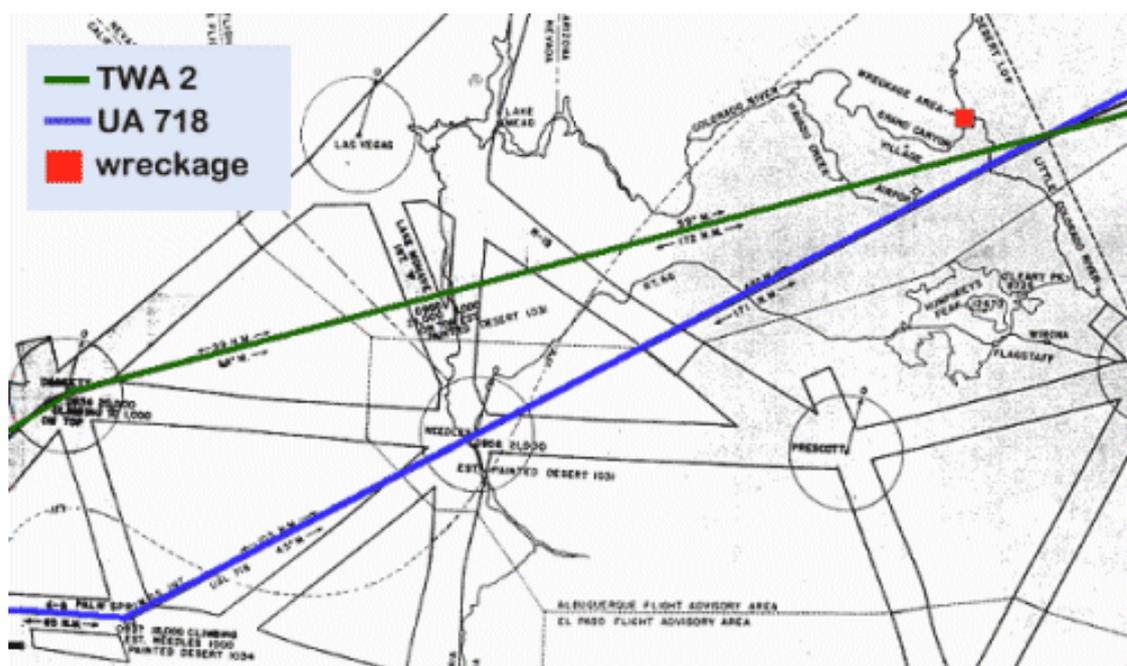


Figura 2.1.1.5 – Trajetória de Colisão dos Vãos TWA 2 e UA 718

A aeronave que fazia o vôo dois (2) da TWA, com sessenta e quatro passageiros e seis tripulantes a bordo, decolou de Los Angeles às nove horas e um minuto, na manhã do dia 30 de Junho de 1956, atrasada trinta e um minutos. Voou em um espaço aéreo controlado até Daggett, Califórnia. Após, saiu do espaço aéreo controlado e voou na proa magnética ZERO CINCO NOVE(059°), em direção a Trinidad, Colorado.

A aeronave que fazia o vôo SETE UNO OITO (718) da United Airlines, tinha cinquenta e três passageiros e cinco tripulantes a bordo. Decolou de Los Angeles às nove horas e quatro minutos, voando a uma altitude de vinte e um mil pés, em um espaço aéreo controlado até Palm Springs, Califórnia. Após, saiu do espaço aéreo controlado e voou na proa magnética ZERO QUATRO MEIA (046°), em direção a St. Joseph, Missouri.

Ambas as aeronaves estimavam que fossem chegar a algum lugar da linha do deserto pintado às 10 horas e trinta e um minutos. A linha do deserto pintada tinha cento e setenta e cinco milhas de comprimento, e percorria desde o Bryce Canyon, Utah até Winslow, Arizona, completamente fora do espaço aéreo controlado.

Quando o vôo dois perguntou ao controle de tráfego aéreo (através de seu operador de companhia; de acordo com a prática naquele tempo, nenhum avião estava no contato direto com ATC após a decolagem), se poderia voar a uma altitude de vinte e um mil pés, foi negada a específica altitude devido a um tráfego, o DC-7 da United, pois as duas aeronaves poderiam

se colidir em uma próxima posição no espaço aéreo controlado. Em vez disso, o voo dois foi autorizado a voar a mil pés do topo. Esta autorização permitia ao voo dois voar mil pés acima do topo das nuvens, porém dava responsabilidade ao piloto de manter sua separação em relação a outros tráfegos. Esta autorização de mil pés acima do topo, permitiu o TWA subir até vinte e um mil pés, conforme o topo das nuvens ia ficando cada vez mais alto durante a rota.

Às dez horas e trinta e um minutos, rádio operadores da United Airlines em Salt Lake City e San Francisco ouviram uma transmissão com interferência na frequência da companhia. Esta foi a última transmissão escutada de uma das aeronaves. Investigadores civis da aeronáutica decifraram como a voz do Comandante do voo SETE UNO OITO dizendo, “Salt Lake, ah, 718... we are going in!”, traduzindo, desesperadamente o comandante disse: Salt Lake, ah, sete uno oito... Nós estamos entrando!

Os restos de ambas as aeronaves e aqueles a bordo foram encontrados no dia seguinte no Grand Canyon, próximo afluência entre o rio Colorado e o rio Pequeno Colorado. Todos os vinte e oito ocupantes de ambas as aeronaves morreram no impacto.

Os jornais americanos deram uma enorme atenção ao acidente. Naquele tempo um comitê congressional estava revendo o estado atual do tráfego aéreo; um dos tópicos em discussão era o grande número de quase colisões ocorrendo devido ao sistema de controle de tráfego aéreo estar muito antiquado. O sistema de Tráfego Aéreo estava sem financiamento, com tripulação reduzida, e sem radar, estava incapaz de fazer a separação de tráfegos em aerovias e em zonas ao redor dos principais aeroportos. Fora dessas áreas, as aeronaves deveriam fazer a separação por si próprias, usando o princípio “veja e seja visto”. Neste caso, embora a aeronave pudesse estar em qualquer posição da linha de 175 milhas do deserto pintado no mesmo tempo estimado, seria impossível para o controle de tráfego aéreo separar seguramente as aeronaves sem saber exatamente em que ponto da linha cada aeronave passaria.

Além do mais, embora o princípio “veja e seja visto” funcionasse para vôos com baixas velocidades e baixas altitudes, era um método inseguro de separação em altitudes onde a atmosfera aparentava estar com uma boa visibilidade, mas na realidade não estava.

Causa Provável

Os pilotos não viram um ao outro a tempo de evitar a colisão. Não é possível determinar o motivo de os pilotos não terem visto um ao outro, mas as evidências mostram que seja resultado de um dos, ou uma combinação dos seguintes fatores:

1. Intervenção de nuvens, reduzindo o tempo de separação visual;
2. Limitações visuais devido ao posicionamento da cabine;
3. Preocupação com deveres de rotinas operacionais de cabine.
4. Preocupação não relacionada às rotinas operacionais de cabine, como por exemplo, tentar fornecer aos passageiros uma boa vista do Grand Canyon;
5. Limitação fisiológica da visão humana, reduzindo o tempo de ver e evitar outra aeronave;
6. Inadequado auxílio do controle de tráfego aéreo durante a rota.

2.1.2 Colisão em vôo entre duas aeronaves em Zagreb

Aeronaves Envolvidas

1. Modelo/ Matrícula: Trident 3B/G-AWZT, figura 2.1.2.1
2. Modelo/ Matrícula: Douglas DC-9/ YU-AJR, figura 2.1.2.2

Acidente

Data: 10 de setembro de 1976

Hora: 10h14min

Local: Zagreb, Yugoslavia

Mortes: 176

Operadores:



Figura 2.1.2.1 – Trident 3B da British Airways



Figura 2.1.2.2 – Douglas DC-9 da Inex-Adria Aviopromet

Tipo de Acidente: Colisão em voo

Histórico do Acidente

O Trident 3B da British Airways, voo BA476, decolou do aeroporto de Heathrow em Londres com destino a Istambul, Turquia, às oito horas e trinta e dois minutos. Nos controles da aeronave estava o experiente comandante Dennis Tann, com aproximadamente onze mil horas de voo, e o primeiro oficial Martin Flint. Havia também um segundo primeiro oficial no voo, Brian Helm. O voo foi tranquilo até o bloqueio do VOR Zagreb.

O Douglas DC-9 da Inex-Adria Aviopromet, voo JP550, decolou de Split, Croácia, às nove horas e quarenta e oito minutos, com destino a Cologne, no Oeste da Alemanha. No controles da aeronave estavam o comandante Jože Krumpak à esquerda, e o primeiro oficial Dušan Ivanuš à direita.

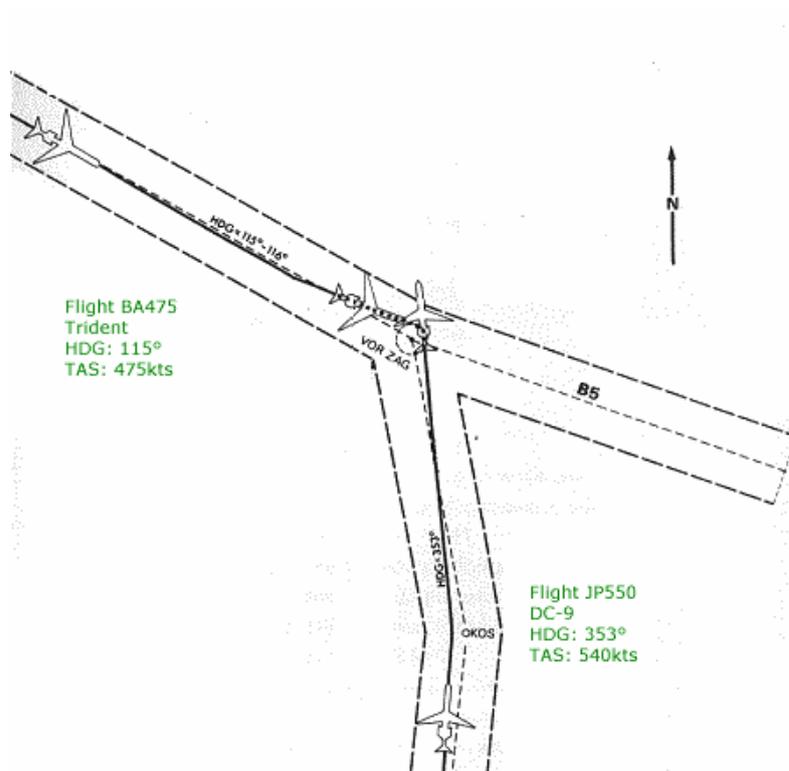


Figura 2.1.2.3 – Rota de Colisão dos Vãos BA476 e JP550

As duas aeronaves colidiram em pleno voo às dez horas e quatorze minutos, como mostrado nas figuras 2.1.2.3 e 2.1.2.4, próximo a cidade de Zagreb, na Croácia, matando todas as 176 pessoas embarcadas em ambas as aeronaves.

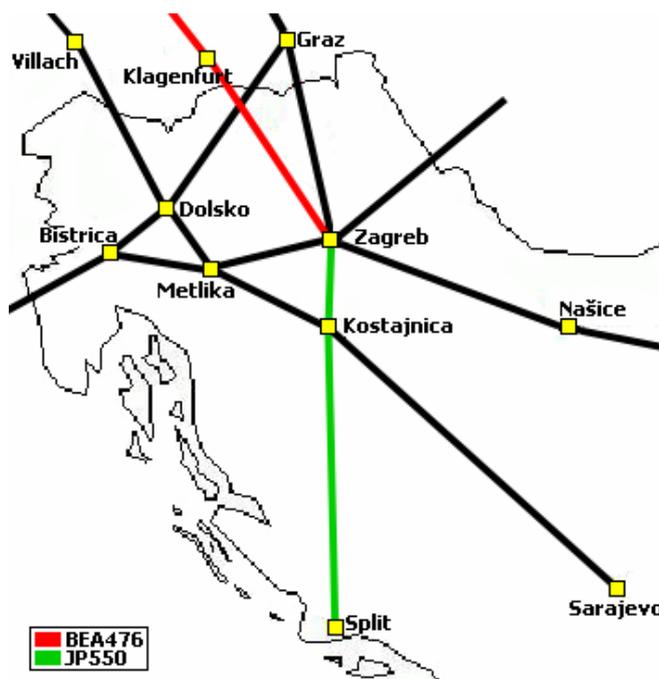


Figura 2.1.2.4 - Trajetória de Colisão dos Vãos BA476 e JP550

Em meados dos anos setenta, o controle de tráfego aéreo de Zagreb era um dos mais intensos da Europa, apesar de ter poucos profissionais e ser mal equipado. O VOR Zagreb era um ponto de reporte para grande parte das aerovias congestionadas entre o norte e o sudeste europeu, o oriente médio, e além. Naqueles tempos, o espaço aéreo foi dividido em três setores, um para cada altitude determinada: o setor inferior, do solo até vinte e quatro mil pés de altitude (exclusive), o setor médio, de vinte e quatro mil pés de altitude a trinta e um mil pés de altitude, e por último o setor superior, acima de trinta e um mil pés de altitude.

No instante do acidente, havia cinco controladores no centro de controle de Zagreb.

O voo BEA476 da British estabeleceu contato com o centro Zagreb na frequência do setor superior às dez horas, quatro minutos e doze segundos, e estimou Zagreb aos quinze minutos da mesma hora. O centro pediu para o BEA476 chamar quando estivesse passando Zagreb, mantendo o mesmo nível de voo, e passou o código transponder.

Ao mesmo tempo, o JP550 contactou o setor médio, solicitando um nível de voo mais elevado. A aeronave estava no nível de voo DOIS MEIA ZERO (FL260), ou vinte e seis mil pés. Os níveis de voo DOIS OITO ZERO (FL280) e TRÊS UNO ZERO (FL310) estavam indisponíveis, então, o centro Zagreb informou à situação a aeronave e ofereceu o nível TRÊS CINCO ZERO (FL350), o qual os pilotos aceitaram.

Para ser autorizado um nível do setor superior, seria necessário obter uma permissão do controlador do setor superior, mas, por falha de comunicação entre os controladores, esta permissão não foi pedida no devido momento.

No momento da colisão, as aeronaves estavam em diferentes aerovias, porém, ambas estavam aproando o mesmo VOR, e, como no momento do bloqueio do VOR o JP550 estava passando o nível de vôo TRÊS DOIS CINCO (FL325) e o BA475 mantinha o nível TRÊS TRÊS ZERO (FL330), não teve como evitar a colisão, que aconteceu exatamente no bloqueio do VOR, quando cinco metros da asa esquerda do DC-9 entraram na cabine do Trident.

Devido a uma descompressão, a parte dianteira da fuselagem do Trident desintegrou-se no ar. O restante da fuselagem colidiu com o solo, primeiramente com a cauda.

O DC-9 perdeu sua asa esquerda na colisão e caiu descontroladamente até atingir o solo, primeiramente com a asa direita.

Causa Provável

1. A causa direta do acidente foi a asa do DC-9 ter atingido o meio da fuselagem do Trident-3B, a uma altitude aproximada de trinta e três mil pés no bloqueio do VOR Zagreb, descontrolando as aeronaves até que ambas atingissem o solo;
2. Deficiente operação do Controle de Tráfego Aéreo;
3. O não cumprimento do regulamento aeronáutico, ao deixar de escutar a frequência de radio solicitada pelo Controle de Tráfego Aéreo;
4. Deficiente cheque externo ao olhar para fora em ambas as aeronaves.

2.1.3 Colisão em vôo entre duas aeronaves em San Diego, Califórnia

Aeronaves Envolvidas

1. Modelo/ Matrícula: Boeing 727-214/N533PS, figura 2.1.3.1
2. Modelo/ Matrícula: Cessna 172/N7711G, figura 2.1.3.2

Acidente

Data: 25 de setembro de 1978

Hora: 09h01min

Local: 5,6 Km do aeroporto internacional de San Diego, Califórnia

Mortes: 144 (incluindo sete pessoas que estavam no solo)

Operadores:



Figura 2.1.3.1 – Boeing 727 da Pacific Southwest Airlines



Figura 2.1.3.2 – Cessna 172 privado

Tipo de Acidente: Colisão em voo

Histórico do Acidente

O Boeing 727 da Pacific Southwest Airlines, PSA182, com 128 pessoas a bordo, decolou do aeroporto internacional de Los Angeles com destino ao aeroporto internacional de San Diego.

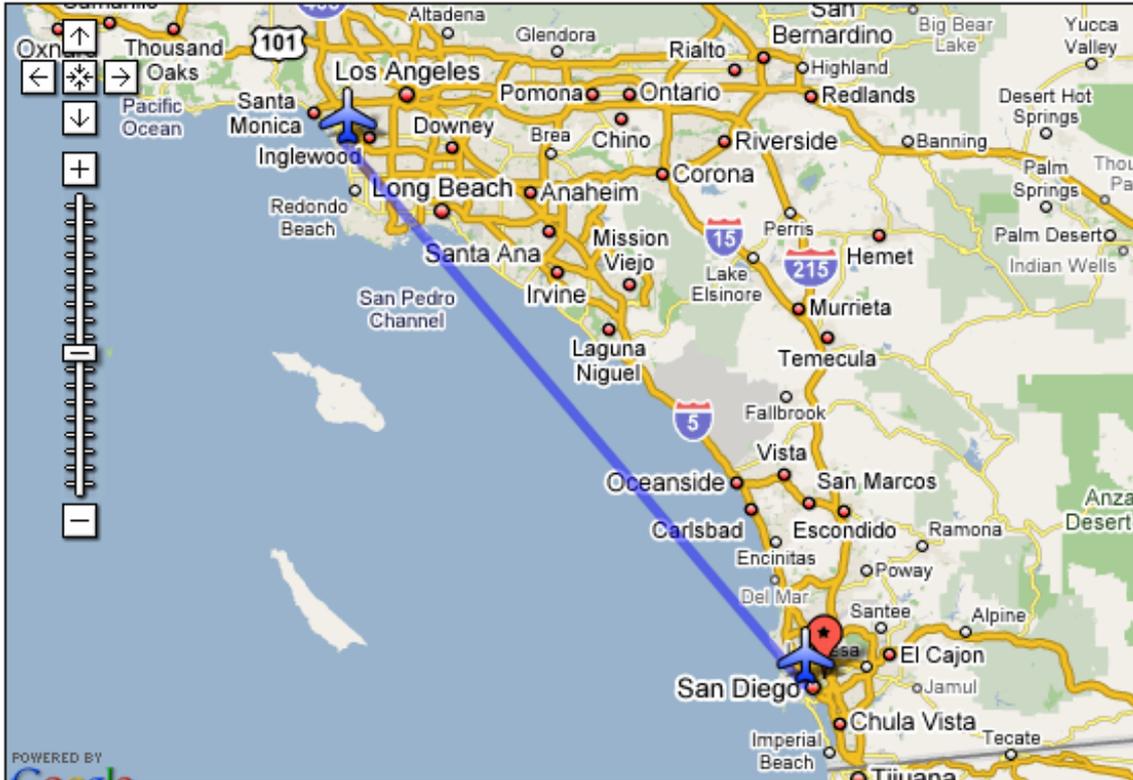


Figura 2.1.3.3 – Trajetória Planejada do Vôo PSA182

O Cessna 172 privado, com dois a bordo, decolou do campo Montgomery às oito horas e dezesseis minutos, com destino ao campo de Lindbergh, para executar duas aproximações ILS da pista 09 (aproximação por instrumento), a fins de prática de vôo. Às nove horas, o piloto do Cessna foi instruído a voar visual e manter uma altitude máxima de três mil e quinhentos pés (3500ft.) na proa magnética ZERO SETE ZERO (070°).

O PSA182 foi autorizado para aproximação da pista 27 e foi informado pelo Controle que havia um tráfego a sua frente. Imediatamente a tripulação do PSA informou que estava visual com o tráfego, então o PSA foi instruído a manter separação visual e chamar a torre Lindbergh. Ao comunicar-se com a torre, o PSA novamente foi alertado a respeito do tráfego que estava a sua frente, o Cessna 172. A tripulação tinha perdido o trajeto do Cessna, então cotejou à torre que achava que o Cessna estava a sua direita.

Às nove horas, um minuto e vinte e oito segundos, um aviso de conflito tocou nas instalações do Controle de Aproximação de San Diego, indicando um risco de colisão entre o PSA182 e o Cessna 172.

Às nove horas, um minuto e quarenta e sete segundos o controlador alertou o piloto do Cessna 172 que havia um tráfego na vizinhança do aeroporto. No mesmo instante, as

aeronaves colidiram. O PSA182 estava descendo e alcançando o Cessna 172, que estava subindo com ângulo de ataque positivo. O Cessna partiu ao meio, e imediatamente após a colisão com a asa direita do PSA, explodiu. O Boeing entrou em uma descida suave, com leve inclinação lateral e caiu em uma área residencial. A figura 2.1.3.4 ilustra a Colisão entre o Cessna 172 e o Boeing 727.

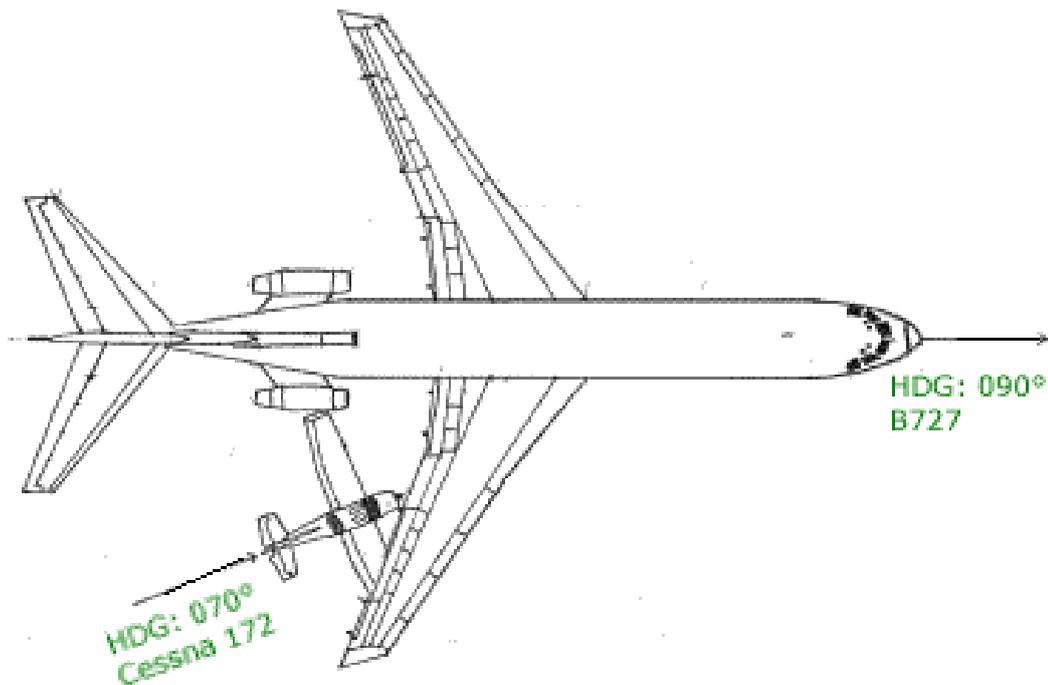


Figura 2.1.3.4 – Colisão entre o Cessna 172 e o Boeing 727

Causa Provável

A tripulação do PSA182 falhou quando foi instruída a manter sua separação visual com o Cessna, e não avisou o controle quando não estava mais visual com o tráfego; e houve uma falha no procedimento do Controle de Tráfego Aéreo ao permitir que os controladores utilizassem um procedimento de separação visual dentro da terminal, enquanto os próprios controladores seriam capazes de prover uma adequada separação lateral e vertical das aeronaves.

Contribuíram ao acidente:

1. A falha do controlador em informar o PSA182 à direção do tráfego;
2. A falha do piloto do Cessna, que não manteve a proa magnética atribuída;
3. A incorreta assimilação do controlador quanto ao alerta de conflito.

2.1.4 Colisão em vôo entre duas aeronaves em Cerritos, Califórnia

Aeronaves Envolvidas:

1. Modelo/ Matrícula: Douglas DC-9-32/XA-JED
2. Modelo/ Matrícula: Piper PA-28-181/N4891F

Acidente

Data: 31 de agosto de 1986

Hora: 11h52min

Local: Cerritos, Califórnia

Mortes: 67 (incluindo quinze pessoas que estavam no solo)

Operadores:



Figura 2.1.4.1 – Douglas DC-9-32 da Aeroméxico



Figura 2.1.4.2 – Piper PA-28-181 Privado

Tipo de Acidente: Colisão em vôo

Histórico do Acidente

O Douglas DC-9 da Aeroméxico, vôo 498, com sessenta e quatro pessoas a bordo, decolou do aeroporto Tijuana-Rodriguez no México com destino ao aeroporto internacional de Los Angeles, e escalas em Guadalajara, Loreto e Tijuana. Após sua decolagem em Tijuana, que se deu às onze horas e vinte minutos, prosseguiu na direção de Los Angeles no nível de vôo UNO ZERO ZERO (FL100). Às onze horas e quarenta e quatro minutos foi autorizado a descer para sete mil pés.

O Piper PA-28, mais conhecido como Cherokee, decolou de Torrance, Califórnia às onze horas e quarenta e sete minutos, com plano de vôo visual para Big Bear, Califórnia, com três pessoas a bordo.

O piloto do Cherokee contrariando os regulamentos do FAR 91.90, curvou para uma proa mais a leste, em direção ao VORTAC Paradise, e entrou na terminal sem receber autorização do Controle de Tráfego Aéreo.

Às onze horas e quarenta e sete minutos, o piloto da Aeroméxico chamou o controle Los Angeles e informou ter atingido sete mil pés de altitude. Então, o controle autorizou o Aeroméxico a executar o afastamento na proa magnética TRÊS DOIS ZERO (320°) para uma aproximação ILS da pista DOIS CINCO da esquerda (RWY25L). Após quatro minutos, o controlador instruiu-o a reduzir sua velocidade para cento e noventa nós (190KIAS) e o autorizou a descer para seis mil pés. Às onze horas, cinquenta e dois minutos e nove segundos o DC-9 e o Cherokee colidiram em vôo sobre Cerritos a uma altitude de seis mil e quinhentos pés.

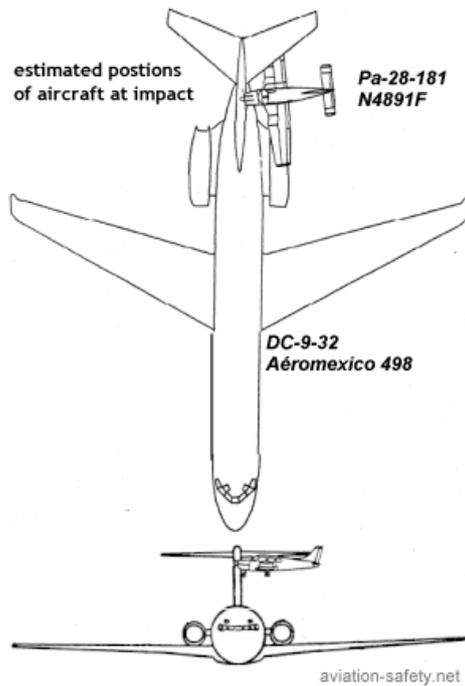


Figura 2.1.4.3 – Colisão entre o Cherokee e o DC-9

De acordo com a figura 2.1.4.3, o Cherokee atingiu o lado esquerdo do profundor e do estabilizador vertical do DC-9. O profundor foi arrancado pela cabine do Cherokee, a qual foi separada da cauda, dividindo o Cherokee em duas partes. Ambas as aeronaves perderam o controle e caíram, matando todos os seus ocupantes e mais quinze pessoas no solo. Cinco casas ficaram totalmente destruídas e sete ficaram danificadas com o impacto, como mostrado na figura 2.1.4.4. No momento do acidente, o céu estava claro com uma visibilidade de quinze milhas.



Figura 2.1.4.4 – Cena logo após o impacto

Causa Provável

As limitações do Controle de Tráfego Aéreo em fornecer proteção contra colisões em ambos os procedimentos executados pelo Controle e redundância automatizada.

Contribuíram ao acidente:

- 1 A entrada inadvertida e não autorizada do PA-28 na Terminal Los Angeles;
- 2 As limitações do conceito “veja e seja visto” para assegurar uma separação sob condições de conflito.

2.2 HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE ALERTA DE COLISÃO AÉREA (TCAS)

Após o desastre do Grand Canyon, em 1956, a indústria aeronáutica percebeu que era preciso um sistema que pudesse impedir acidentes similares.

Fabricantes de componentes aeronáuticos logo começaram a projetar um sistema para evitar colisões, mas dois problemas surgiram na tentativa. Primeiro, a implantação do sistema proposto requereria que as frotas das companhias fossem equipadas com um novo equipamento de altíssimo investimento. Segundo, na maioria das aeronaves, não havia espaço físico para esse novo equipamento.

Em 1974, a MITRE, fabricante de componentes aeronáuticos localizada em Massachusetts e na Virginia, propôs uma alternativa. Usando os transponders, que já estavam instalados nas aeronaves para efetuar a comunicação entre a aeronave e o sistema de radar do controle de tráfego aéreo do FAA (ATCRBS), engenheiros perceberam a vantagem em usar uma tecnologia existente, que agilizaria o projeto e o processo de implantação.

O sistema de alerta de colisão aérea por sinal de rádio (BCAS - Beacon-Based Collision Avoidance System) foi o antecessor do TCAS. Este sistema mandava sinais de interrogação para as aeronaves próximas semelhante ao sistema radar do FAA. Então os transponders das aeronaves próximas retornavam um sinal de resposta. O sistema interpretava estes sinais para determinar a localização, velocidade e curso de cada aeronave e usava a informação para projetar uma possível ameaça de conflito de posição e gerar um alerta para evitar uma potencial colisão.

Os resultados de testes do BCAS foram prometedores. A MITRE equipou um trailer para receber sinais de transponder como se fosse um avião. O BCAS superou as expectativas, estimulando o centro técnico da FAA a testar o sistema em uma de suas aeronaves. Baseando-se nesses dois testes, a FAA decidiu promover o desenvolvimento do BCAS.

Em 1981, a FAA optou por seguir um projeto desenvolvido a partir do projeto usado no BCAS, melhor que um sistema de alerta de colisão baseado no solo que estava fora de consideração, então o BCAS foi renomeado TCAS, conforme concepção mostrada na figura 2.2.1.

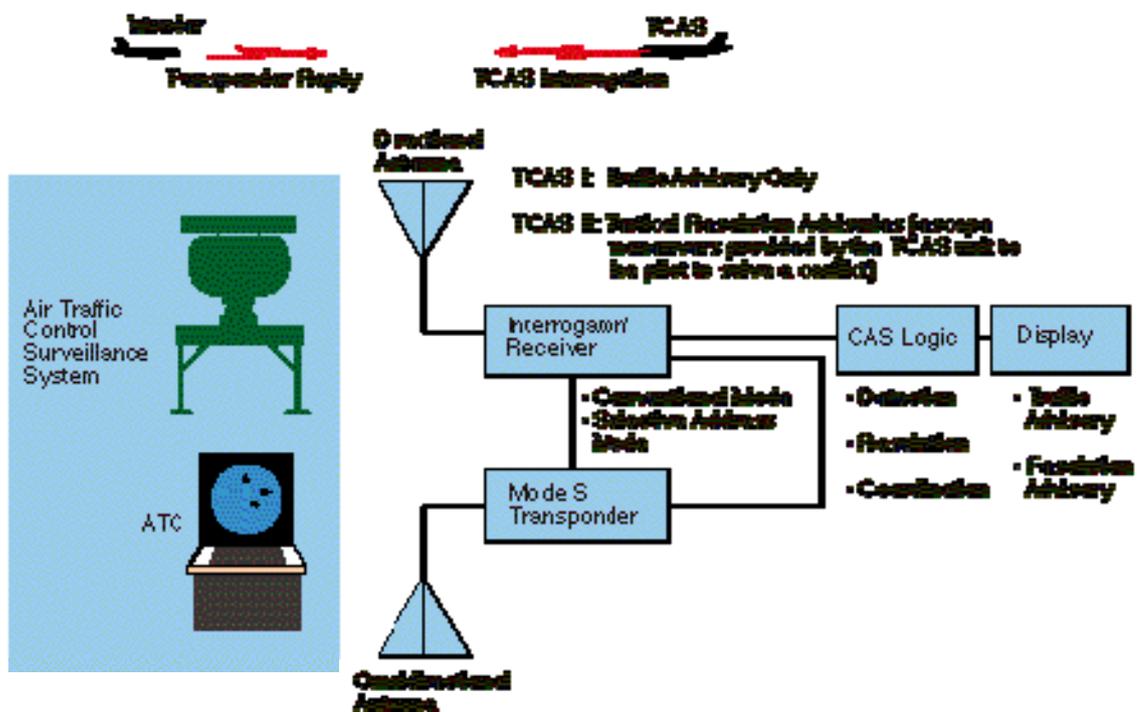


Figura 2.2.1 – Concepção Básica do Sistema de Alerta de Colisão Aérea (TCAS)

Em agosto de 1986, enquanto o TCAS ainda estava em desenvolvimento, outro desastre aéreo ocorreu em Cerritos, Califórnia. Conseqüentemente a este acidente, o congresso americano passou um requerimento de lei ao FAA exigindo o uso do TCAS. Em 1993, todas as aeronaves com mais de 30 assentos operando dentro do espaço aéreo americano estavam equipadas com TCAS II. Para aeronaves com 10 a 30 assentos, foi requerida a instalação do TCAS I (Ambas as versões de TCAS são apresentadas com detalhes nos capítulos seguintes).

A MITRE afirma que seu Centro de Desenvolvimento de Sistemas Avançados para Aviação (CAASD) deu suporte à FAA com ajuda de seu setor de engenharia de sistemas para controle de tráfego aéreo. Durante este período de parceria, a CAASD ajudou o FAA a implantar o TCAS. O resultado do TCAS foi se tornando uma norma de segurança nos EUA e conseqüentemente nos outros países. O resultado foi positivo, pois não ocorre um acidente grave por colisão em vôo desde 1990, quando as companhias começaram a instalar o TCAS em suas aeronaves.

Desde sua implantação, o TCAS melhorou dramaticamente as chances dos pilotos evitarem ameaças de colisão em vôo. Os pilotos começaram a confiar no TCAS, que dava a eles informações primordiais para evitar colisões. Como seu último recurso de defesa, o TCAS deu aos pilotos uma margem necessária de segurança de que sua tripulação e seus passageiros teriam um vôo seguro.

O projeto foi beneficiado pelo empenho cooperativo da FAA, das companhias aéreas, e muitas outras empresas do setor. O CAASD projetou e desenvolveu a lógica para evitar colisões no coração do sistema. O instituto tecnológico de Massachusetts, Laboratório Lincoln, desenvolveu a vigilância aérea. O centro técnico da FAA e uma equipe de contratantes, incluindo a Corporação Analítica de Ciências, a Corporação de Pesquisa Coleman, e a Corporação Rannoch, foram responsáveis pelo programa de verificação e validação. O centro técnico do FAA e o centro de pesquisas da ARINC asseguraram as avaliações operacionais.

3 CONCEITOS BÁSICOS DO SISTEMA DE ALERTA DE COLISÃO AÉREA (TCAS)

3.1 GENERALIDADES

O TCAS, como mostrado na figura 3.1.1, interroga os transponders apropriados de todas as aeronaves na vizinhança, e baseado nas respostas recebidas rastreia a posição (ângulo relativo do tráfego mais a distância) e a altitude (quando a altitude estiver incluída na mensagem resposta do transponder). Após algumas respostas sucessivas, o TCAS calcula o tempo para o conflito com o intruso, pela divisão da distância pela razão de aproximação. Este valor do tempo é o principal parâmetro para emissão de alertas. Se a resposta do transponder do tráfego também incluir a altitude, o TCAS também computa o tempo para atingir a co-altitude (FAA, 2000).

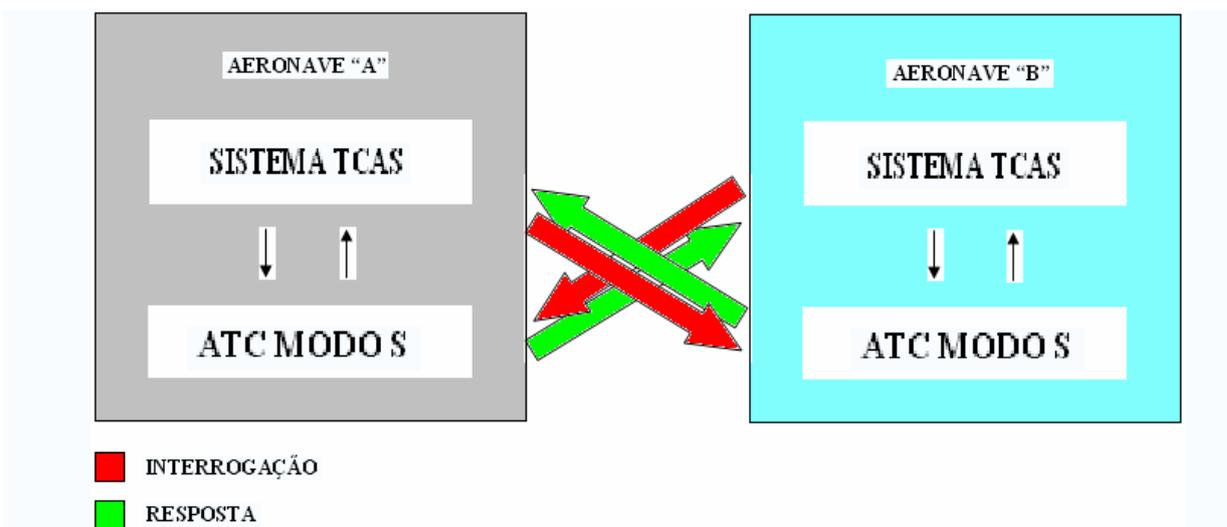


Figura 3.1.1 – Conceito básico do Sistema de Alerta de Colisão Aérea

De acordo com o CBT do Boeing 737-700, o TCAS realiza a comunicação entre a aeronave com TCAS instalado e todas as outras aeronaves equipadas com um transponder apropriado. Cada aeronave equipada com TCAS interroga todas as outras aeronaves em determinada distância, com relação a sua própria posição (através da frequência de rádio 1030 MHz), e todas as aeronaves interrogadas respondem (através da frequência de rádio 1090 MHz). Este processo de interrogação e resposta pode ocorrer várias vezes por segundo.

Através desta troca de informações entre as aeronaves, o sistema TCAS constrói um mapeamento tri-dimensional da aeronave no espaço aéreo, incorporando seus rumos, altitudes e distância. O TCAS auxilia o piloto na indicação de aeronaves intrusas, possibilitando a ação para evitar a colisão com outra aeronave. O sistema ajuda a manter a separação segura entre aeronaves, dando alertas, mudança no sentido do vôo (somente no TCAS II), e informando o tráfego para a tripulação através de displays (CBT 737-700).

O TCAS é um aviônico computadorizado desenvolvido para reduzir o risco de colisão entre aeronaves em vôo. O sistema monitora o espaço aéreo ao redor da aeronave, independente do controle de tráfego aéreo, e adverte os pilotos se houver outra aeronave que represente uma ameaça de colisão em vôo (CBT 737-700).

Em aeronaves modernas com glass cockpit, o display do TCAS pode estar integrado ao display de navegação do comandante e do F/O, mostrado na figura 3.1.2, e as indicações de mudança de sentido aparecem no ADI, como mostrado na figura 3.1.4.

Em aeronaves mais antigas, o TCAS substitui o indicador mecânico de velocidade vertical instantânea (IVSI) por um indicador de velocidade vertical instantânea digital com as informações do sistema TCAS, como mostrado na figura 3.1.3 (CBT 737-700).

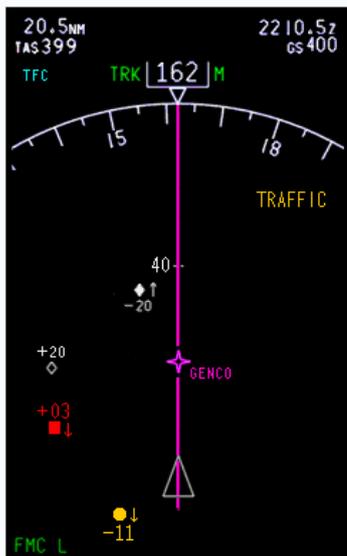


Figura 3.1.2 – Display de navegação



Figura 3.1.3 – Display com IVSI e TCAS

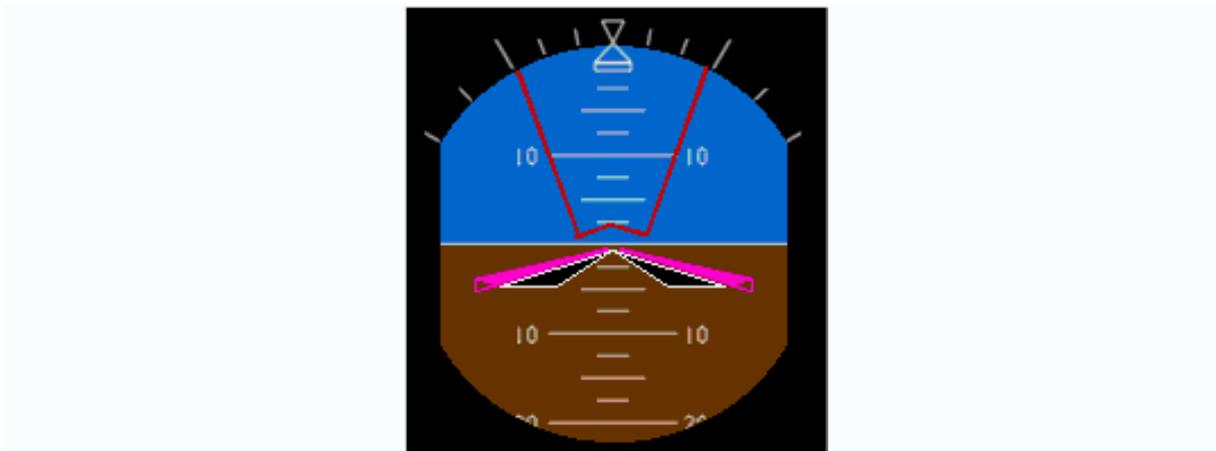


Figura 3.1.4 – Orientação de mudança vertical no ADI

Nos aviões de maior porte, os alertas sonoros são transmitidos por dois alto-falantes localizados no overhead. Na aviação de menor porte, podem ser instalados falantes especialmente para o sistema TCAS, ou se a aeronave possuir um sistema de áudio, o áudio de TCAS pode ser conectado a este sistema.

O TCAS mantém uma área tri-dimensional de proteção ao redor da aeronave. Isto é calculado a partir da altitude, rumo, distância e velocidade que a aeronave se encontra. Como mostrado na figura 3.1.5, a área de proteção, também conhecida por “closest point of approach” ou CPA, tem a forma de uma esfera e suas dimensões mudam constantemente. As informações de altitude, rumo, distância e velocidade, também são usadas para determinar as áreas em que serão gerados os símbolos apropriados (CBT 737-700).

3.1.1 Aviso de Tráfego

Um aviso de tráfego, ou TA (Traffic Advisory), é um alerta de ATENÇÃO que ocorre se o TCAS estimar que outra aeronave se torne uma ameaça. O TA ocorre de 15 a 45 segundos antes de a outra aeronave atingir a esfera de proteção, dependendo da versão do TCAS instalado (CBT 737-700).

No caso de uma ocorrência de um TA, o tráfego é mostrado no display e uma voz diz a tripulação para ficar atento ao tráfego: Exemplo, TRAFFIC! TRAFFIC! TRAFFIC!

3.1.2 Orientação de Resolução

Uma orientação de resolução, ou RA (Resolution Advisory), é um alerta de PERIGO que ocorre se o TCAS estimar que duas aeronaves não estejam com separação suficiente no futuro. O RA ocorre 25 segundos antes que a outra aeronave atinja a esfera de proteção. Esta função só existe no TCAS II (CBT 737-700).

No caso de uma ocorrência de um RA, o tráfego é mostrado no display e a tripulação recebe um comando de voz e uma orientação de mudança vertical aparece no ADI: Exemplo, "DESCENT! DESCENT! DESCENT!" ou "CLIMB! CLIMB! CLIMB!", dependendo de onde estiver localizada a aeronave intrusa.

Uma voz diz a tripulação quando sua aeronave estiver livre do tráfego: CLEAR OF CONFLICT!

A figura 3.1.5 ilustra as orientações de tráfego e resolução citadas acima.

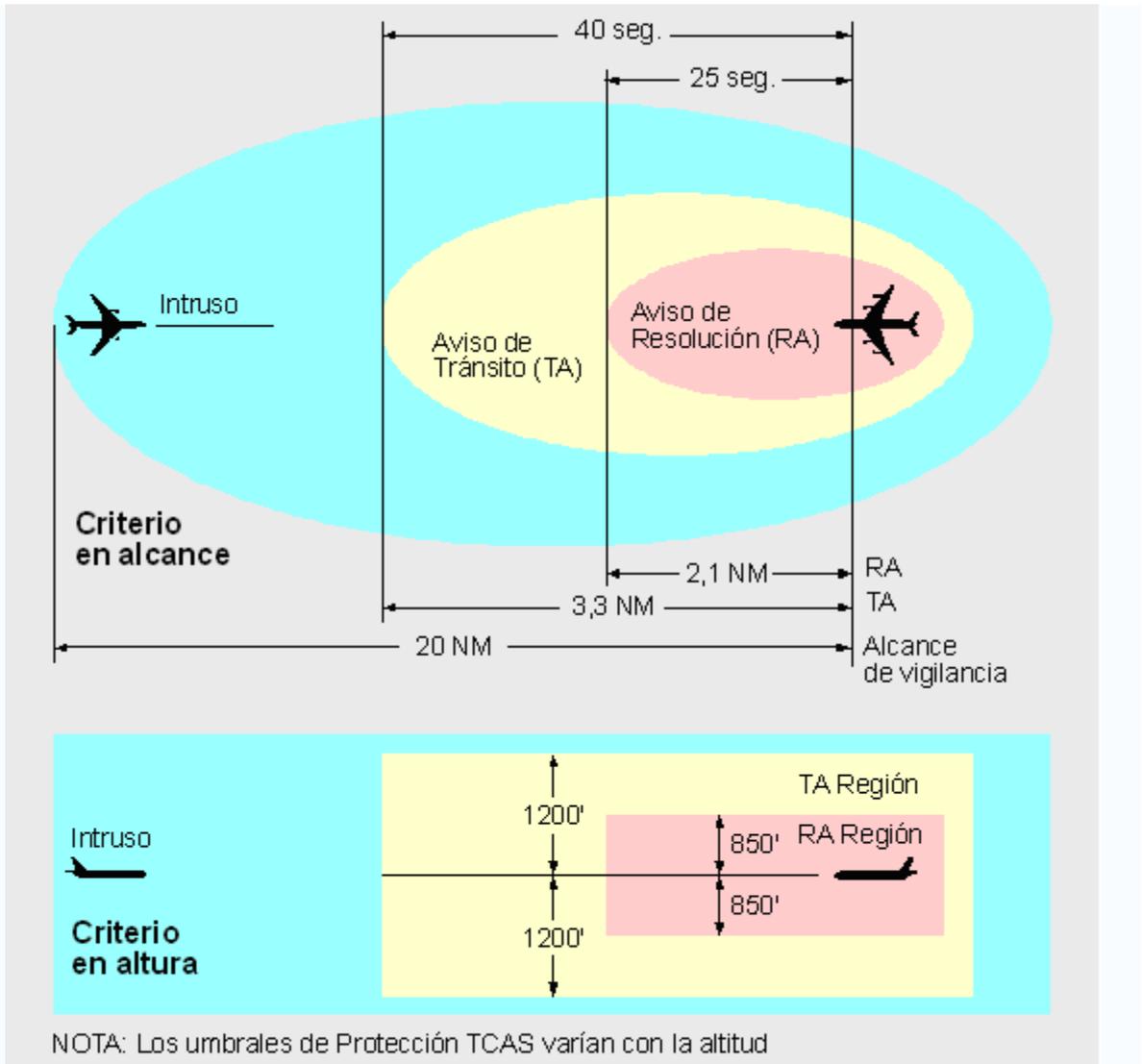


Figura 3.1.5 – Critérios dos avisos

3.2 SIMBOLOGIA

O sistema TCAS possui uma simbologia própria que permite informar aos pilotos da melhor maneira possível em diferentes situações.

3.2.1 Tráfego sem Ameaça

Um diamante oco branco ou azul indica que a altitude relativa do intruso é maior que 1200 pés, ou sua distância é além de cinco milhas náuticas e esta aeronave ainda não é considerada uma ameaça. As figuras 3.2.1.1, 3.2.1.2 e 3.2.1.3 indicam um tráfego a uma

altitude relativa de 1700 pés acima da aeronave, descendo a uma velocidade vertical de no mínimo 500 pés por minuto (Pilot's Guide CAS 66A).

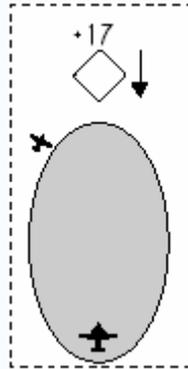


Figura 3.2.1.1 - Tráfego sem ameaça 1

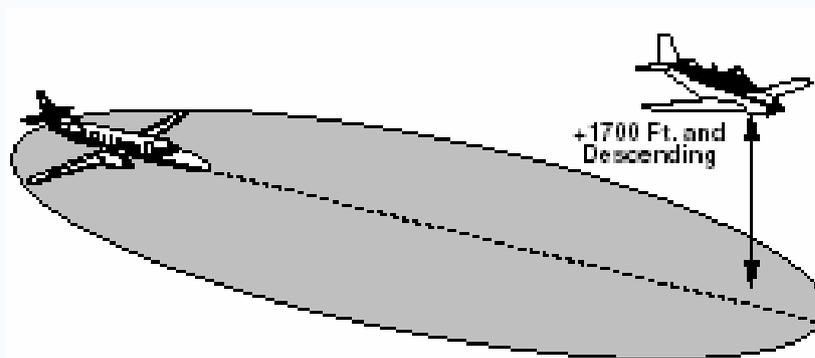


Figura 3.2.1.2 – Tráfego sem ameaça 2

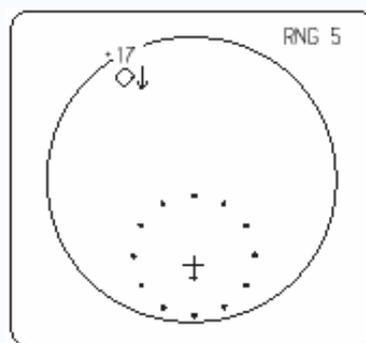


Figura 3.2.1.3 – Tráfego sem ameaça no display

3.2.2 Tráfego Próximo (Intruso)

Um diamante cheio branco ou azul indica que há uma aeronave intrusa dentro de 1200 pés de altitude e cinco milhas náuticas de distância, mas ainda não é considerada uma ameaça.

As figuras 3.2.2.1, 3.2.2.2, e 3.2.2.3 indicam um intruso com uma altitude relativa de 1000 pés acima da aeronave e descendo (Pilot's Guide CAS 66A).

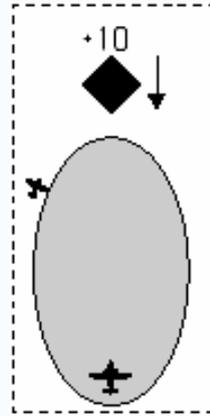


Figura 3.2.2.1 – Aeronave intrusa 1

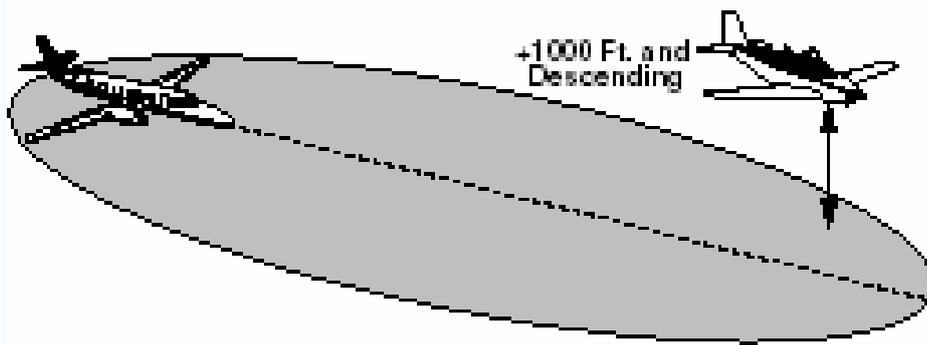


Figura 3.2.2.2 – Aeronave intrusa 2

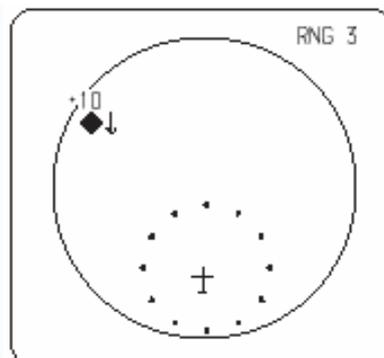


Figura 3.2.2.3 – Aeronave intrusa no display

3.2.3 Aviso de Tráfego (TA)

Um círculo âmbar indica que o intruso é considerado um risco potencial. Dependendo do nível de sensibilidade do TCAS, um TA é mostrado quando o tempo para o CPA (Closest Point of Approach) é de 15 a 30 segundos (TCAS I), já no TCAS II um TA é mostrado quando o tempo para o CPA é de 45 segundos. As figuras 3.2.3.1, 3.2.3.2 e 3.2.3.3 indicam que o intruso está a uma altitude relativa de 500 pés acima da aeronave. (Pilot's Guide CAS 66A)

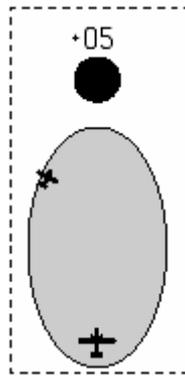


Figura 3.2.3.1 – Tráfego representando um risco potencial 1

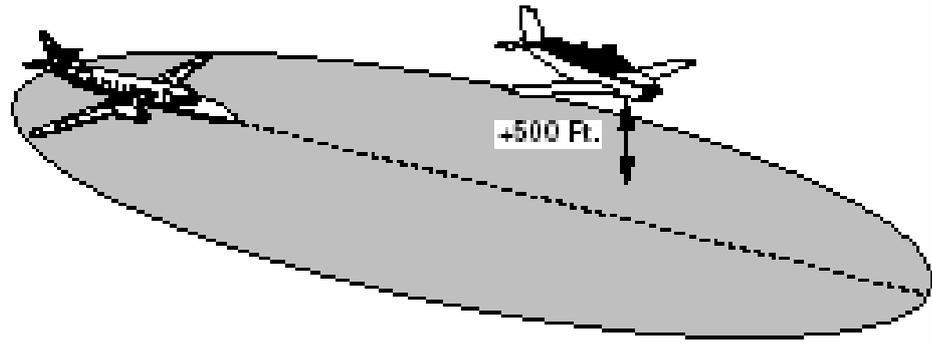


Figura 3.2.3.2 – Tráfego representando um risco potencial 2

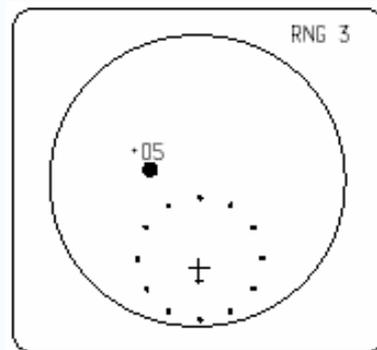


Figura 3.2.3.3 – Orientação de tráfego no display

3.2.4 Tráfego fora da Escala (Off Scale Traffic)

A aeronave que represente uma ameaça e esteja fora do alcance selecionado no display, será indicada por meio símbolo na borda da imagem. A posição do meio símbolo representa a posição relativa da aeronave. As figuras 3.2.4.1 e 3.2.4.2 ilustram esta situação (Pilot's Guide CAS 66A).

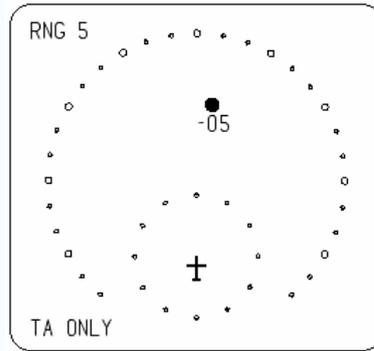


Figura 3.2.4.1 – Tráfego dentro do alcance selecionado no display

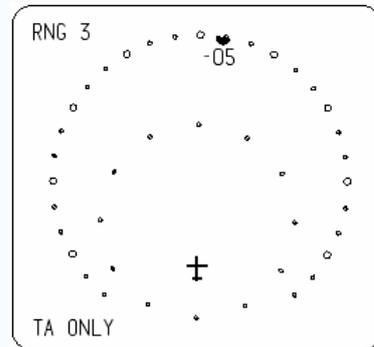


Figura 3.2.4.2 – Tráfego fora do alcance selecionado no display

3.2.5 Orientação de Resolução (RA)

Um quadrado vermelho indica que a aeronave intrusa tornou-se uma ameaça. Esta simbologia só aparece no TCAS II. O TCAS II mostra o RA quando o tempo para o CPA for de 25 segundos. As figuras 3.2.5.1 e 3.2.5.2 indicam um RA de uma aeronave intrusa a uma altitude relativa de 100 pés acima da aeronave e descendo.

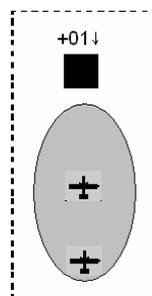


Figura 3.2.5.1 – Tráfego ameaçante

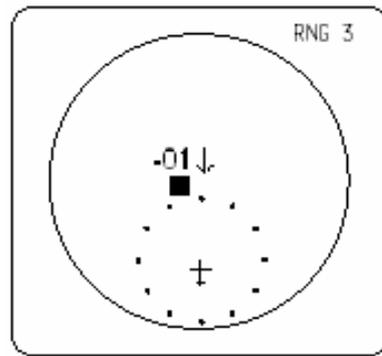


Figura 3.2.5.2 – Orientação de resolução no display

4 CONSIDERAÇÕES GERAIS DAS VERSÕES DE TCAS

Durante o projeto do TCAS, foram criadas diferentes versões, visando as diferentes necessidades da aviação mundial, pois a necessidade de segurança estava para todos.

A aviação de menor porte necessitava de um sistema de baixo custo que ocupasse um espaço físico relativamente pequeno.

Já a aviação de maior porte necessitava de um sistema que trouxesse a maior segurança possível para os seus passageiros, e oferecesse um espaço físico maior para a instalação dos equipamentos necessários.

4.1 TCAS I

O sistema TCAS I, conhecido também por ACAS I, foi o sistema desenvolvido para atender a aviação de menor porte. O sistema fornece avisos de tráfego (TAs) e avisos de tráfegos próximos para ajudar o piloto na separação visual de aeronaves intrusas (Pilot's Guide CAS 66A).

O sistema TCAS I, inclui um processador TCAS, antenas, um display de tráfego e um meio de controlar o sistema. O processador e as antenas do TCAS I detectam e seguem aeronaves na vizinhança, interrogando seus transponders. As aeronaves detectadas, rastreadas, e mostradas no display pelo sistema TCAS são referidas como intrusas. O TCAS I analisa a resposta dos transponders para determinar a distância, rumo e altitude relativa (se o intruso estiver relatando) de cada aeronave em seu redor. Se o processador do TCAS determinar que existe uma possível ameaça de colisão, ele emite anúncios aurais e avisos visuais para a tripulação. O aviso visual é mostrado através de símbolos no display de tráfego. Complementando o display de tráfego, o TCAS fornece anúncios de voz sintetizados e apropriados na cabine da aeronave (Pilot's Guide CAS 66A).

O sistema TCAS I é incapaz de detectar qualquer aeronave que esteja operando sem transponder, ou com o transponder desligado. O sistema pode detectar e rastrear qualquer aeronave que opere com transponder ATCRBS (Air Traffic Control Radar Beacon System, operando no modo A ou C) ou transponder modo S (Pilot's Guide CAS 66A).

O display de tráfego mostra a posição exata da aeronave intrusa. O TCAS I identifica as ameaças relativas de cada intruso usando diferentes símbolos e cores. A altitude do intruso, relativa a altitude da própria aeronave, é mostrada somente se o transponder do intruso estiver relatando sua altitude. Uma seta de tendência é usada para identificar se o intruso está descendo ou subindo com uma razão maior que 500 pés por minuto. O tráfego do sistema TCAS I pode ser mostrado na tela do radar meteorológico, em uma tela dedicada ao TCAS, em uma EFIS Display Unit compatível ou em uma TA/IVSI (combinação de display de tráfego e climb) (Pilot's Guide CAS 66A).

Os modos e funções do TCAS I são controlados por switches localizados no painel de controle do TCAS, ou na combinação de vários outros controles. Os procedimentos do Controle de Tráfego Aéreo, e o conceito “veja e evite” continuam sendo os meios primários para assegurar a separação de aeronaves. Contudo, se a comunicação com o Controle de Tráfego Aéreo for perdida, o TCAS I proporciona uma significativa contribuição para evitar uma colisão em voo (Pilot's Guide CAS 66A).

4.2 TCAS II

Este item, por ser o tema deste trabalho de conclusão de curso, será abordado mais profundamente a partir do capítulo 5.

O TCAS II, conhecido também por ACAS II, fornece o último recurso de segurança quando tratamos de colisão entre aeronaves em voo. Hoje em dia, este sistema faz parte das rotinas operacionais na aviação de maior porte, sendo primordial aos voos comerciais.

O TCAS II fornece orientações de tráfego (TAs) e orientações de resolução (RAs), isto é, orienta manobras evasivas, no plano vertical para aumentar ou manter a separação existente entre as aeronaves.

Recentemente, estudos de segurança de voo da EUROCONTROL confirmaram uma significativa melhoria na segurança de voo devido ao TCAS II, mas também revelaram que o sistema estaria seriamente degradado pela deficiente reação dos pilotos aos RAs. Programas de monitoramento operacionais apontaram em numerosos eventos atuais, uma significativa contribuição do TCAS II para propiciar um voo seguro. Também apontou que em alguns eventos, onde reações de determinados pilotos não foram adequadas, das quais foram identificadas manobras opostas aos RAs, neste caso, anulando o benefício do sistema.

A figura 4.1 ilustra a operação entre as diferentes versões existentes, onde o TCAS I fornece apenas TA quando detecta um intruso independente do sistema ATC embarcado na aeronave intrusa, e o TCAS II pode fornecer somente TA, TA e RA, ou TA e RA vertical coordenado.

		Own Aircraft Equipment	
		TCAS I	TCAS II
Target Aircraft Equipment	Mode A XPDR ONLY	TA	TA
	Mode C or MODE S XPDR	TA	TA and Vertical RA
	TCAS I	TA	TA and Vertical RA
	TCAS II	TA	TA and Coordinated Vertical RA

Figura 4.1 – Operação entre os diferentes sistemas

4.3 TCAS III

As informações do sistema TCAS III foram retiradas do site da Honeywell, conceituada empresa no ramo de produtos aeronáuticos.

O TCAS III seria a próxima geração da tecnologia do sistema de alerta de colisão aérea. A Honeywell era uma das empresas que estava desenvolvendo o TCAS III. O desenvolvimento do TCAS III incorporou melhorias técnicas ao sistema TCAS II, e teria capacidade de oferecer orientações de tráfego e solucionar conflitos de tráfego, usando manobras tanto no perfil de vôo horizontal, quanto no vertical, para orientar os pilotos. Por exemplo, em uma situação que o piloto esteja com a visão voltada para fora, uma aeronave pode ser conduzida a curvar a direita e subir, enquanto a outra aeronave seria conduzida a curvar a direita e descer. Isto resultaria em uma maior separação entre as aeronaves em uma

situação de ameaça de colisão, em ambos os aspectos, horizontal e vertical. Devido a alta complexidade do projeto, atualmente todo o desenvolvimento do TCAS III está suspenso, e não há planos de continuação.

5. O SISTEMA TCAS II

5.1 DESCRIÇÃO TÉCNICA

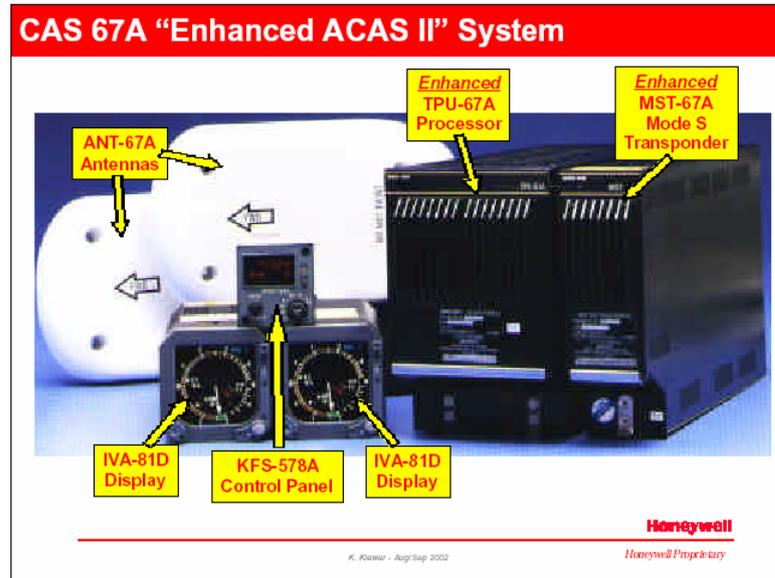


Figura 5.1.1 – Componentes do TCAS II

O sucesso da instalação do sistema de alerta de colisão aérea depende que os componentes citados no quadro 5.1.1, e ilustrados na figura 5.1.2, sejam instalados conforme determina o diagrama de bloco da instalação do sistema TCAS II.

TCAS-94			
Type	Qty	Description	Part Number
TTR-921	1	Receiver / Transmitter	822-1293-002
CTL-92T	1	Control, TCAS	622-9614-104
TRE-920	2	TCAS-II Directional Antenna	622-8973-001
TVI-920D	2	VSI/RA/TA Indicator	622-9728-125
TDR-94D	2	Mode S Transponder	622-9210-008
CTL-92E	1	ATC Control Panel with Flight ID	822-1807-004

Note(s): See Installation Hardware table for mounts and connectors

Quadro 5.1.1 – Componentes do diagrama de instalação
 Fonte: www.rockwellcollins.com/ecat/br/TCAS-94.html

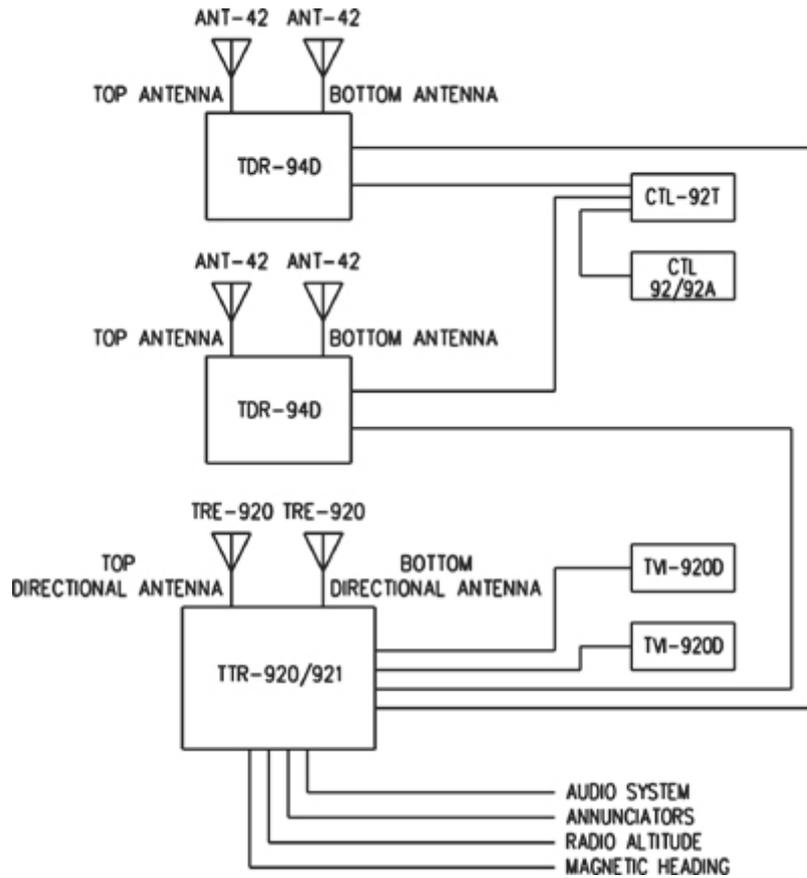


Figura 5.1.2 – Diagrama de bloco da instalação do sistema TCAS II
 Fonte: www.rockwellcollins.com/ecat/br/TCAS-94.html

5.1.1 Componentes do Sistema

A figura 5.1.1.1 é um diagrama de bloco do TCAS II e ilustra os componentes do sistema que estão apresentados abaixo.

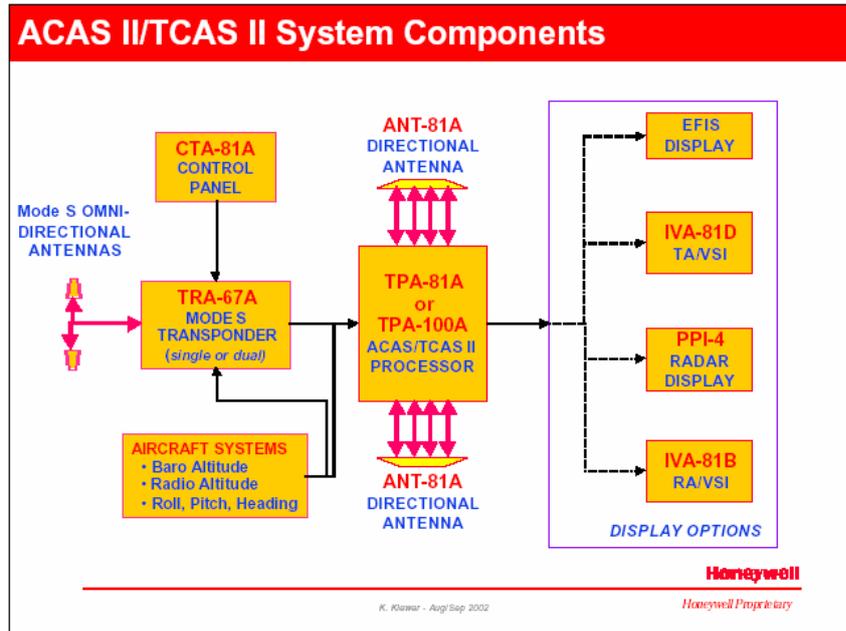


Figura 5.1.1.1 – Diagrama de bloco do TCAS II

5.1.1.1 TCAS Computer Unit (Unidade de Computador do TCAS)

A unidade de computador do TCAS, ou processador, executa a vigilância do espaço aéreo, rastreia aeronaves intrusas, rastreia sua própria altitude, detecta ameaças, seleciona e determina manobras de resolução e gera os avisos de TA e RA. O processador do TCAS usa a altitude pressão, a altitude radar, e outros parâmetros discretos da própria aeronave para controlar os parâmetros lógicos de alerta de colisão que determinam o volume de proteção ao redor da aeronave. Se uma determinada aeronave rastreada representar uma ameaça, o processador seleciona uma manobra de desvio para oferecer uma distância de separação vertical adequada do intruso enquanto minimiza as perturbações do trajeto do vôo. Se a aeronave ameaçante também for equipada com o sistema TCAS II, a manobra de desvio será coordenada entre as aeronaves (FAA, 2000).

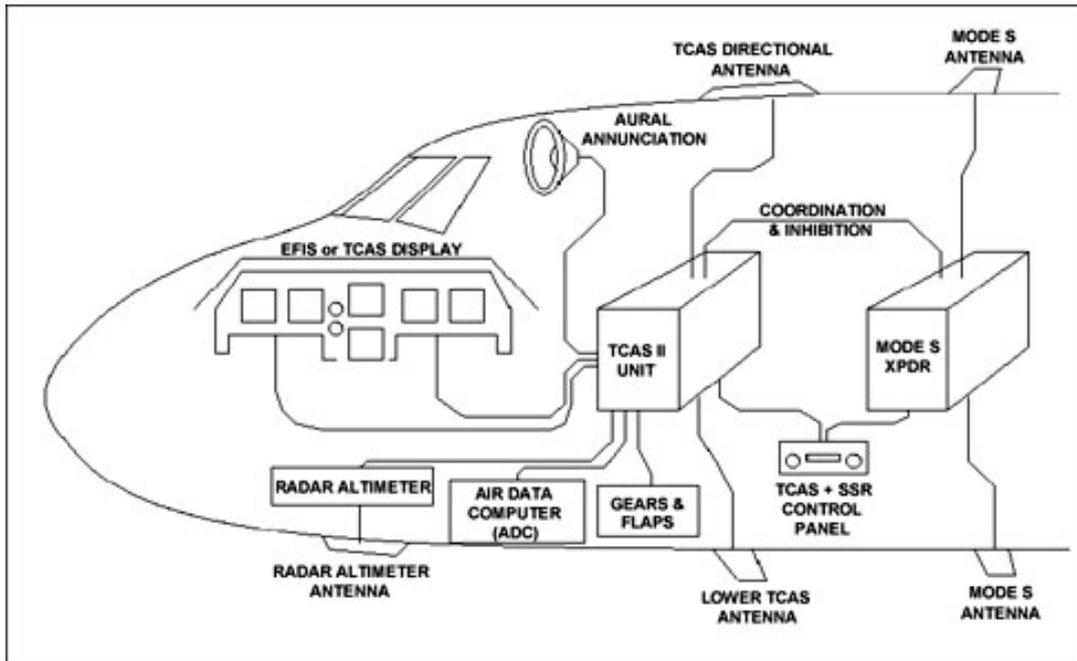


Figura 5.1.1.1.1 – Disposição dos componentes

5.1.1.2 Transponder Modo S

É requerido no mínimo um transponder modo S instalado e operacional na aeronave para que o TCAS II seja operacional. Se o transponder modo S falhar, o monitor de desempenho do TCAS detectará esta falha e automaticamente colocará o TCAS no modo STANDBY. O transponder modo S executa as funções normais para suportar o sistema de controle de tráfego aéreo e pode trabalhar com um ATCRBS ou com um sensor de solo modo S. O transponder modo S também é usado para fornecer a troca de informações no ar entre aeronaves equipadas com TCAS de modo coordenado, resoluções complementares podem ser emitidas quando requeridas (FAA, 2000).

A figura 5.1.1.2.1 mostra que mesmo que as aeronaves estejam se comunicando entre si através do sistema TCAS, elas também mantêm uma comunicação simultânea com o sistema de radar do controle de tráfego aéreo (FAA, 2000).

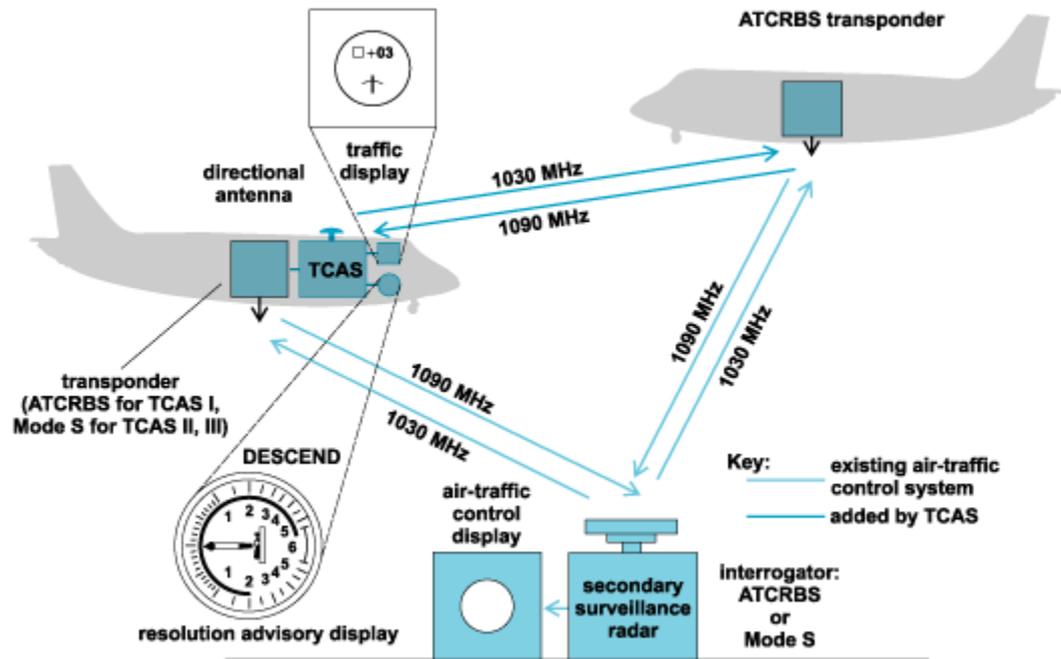


Figura 5.1.1.2.1 – TCAS x ATS

5.1.1.3 Painel de Controle ATC Modo S/TCAS

FAA (2000) afirma que um único painel de controle é necessário para permitir que a tripulação selecione e controle todo o equipamento TCAS, incluindo o processador do TCAS, o transponder modo S, e em alguns casos, os displays do TCAS. Como mostrado na figura 5.1.1.3.1, um painel de controle típico fornece cinco posições básicas de controle:

- OFF: posição que mantém o aparelho desligado. O TCAS não emite nenhuma interrogação e o transponder não responde a qualquer interrogação.
- STAND-BY: É enviada energia ao processador do TCAS e ao transponder modo S, mas o TCAS não emite nenhuma interrogação e o transponder responde somente a interrogações discretas.
- TRANSPONDER (XPDR): O transponder modo S é totalmente operacional e responde a todas as interrogações apropriadas do solo e do TCAS de outras aeronaves. O TCAS permanece em STAND-BY.
- TA ONLY (Apenas TA): O transponder modo S é totalmente operacional. O TCAS opera normalmente permitindo interrogações apropriadas e executando todas as

funções de rastreamento. Entretanto, o TCAS emite apenas TAs, os RAs serão inibidos.

- AUTOMATIC ou TA/RA: O transponder modo S é totalmente operacional. O TCAS opera normalmente permitindo interrogações apropriadas e executando todas as funções de rastreamento. O TCAS emite TAs e RAs, quando apropriado.



Figura 5.1.1.3.1 - Painel de Controle ATC Modo S/TCAS

O switch RANGE seleciona o alcance a ser visualizado no display, em milhas náuticas. No caso de aeronaves com sistema eletrônico de indicação de vôo (EFIS) este switch está localizado no EFIS Control Panel, mostrado na figura 5.1.1.3.2. Neste caso, as informações de tráfego podem ser mostradas em todos os modos de indicação do EFIS.



Figura 5.1.1.3.2 – EFIS Control Panel do NG

5.1.1.4 Antenas

Como mostrado nas figuras 5.1.1.1, 5.1.1.1, 5.1.1.1.1 e 5.1.1.4.1, as antenas usadas pelo TCAS II incluem uma antena direcional, que é instalada na parte superior da aeronave, uma antena unidirecional ou uma antena direcional instalada na superfície inferior da aeronave. A maioria das instalações usa uma antena direcional na superfície inferior da aeronave (FAA, 2000).



Figura 5.1.1.4.1 – Antena Direcional

Estas antenas transmitem interrogações em frequência de 1030 MHz, variando os níveis de potência para cada seguimento de 90 graus. A antena instalada na parte inferior da aeronave transmite menos interrogações que a antena instalada na parte superior, sendo assim, tem potência inferior. Estas antenas também recebem respostas de transponders de outras aeronaves, em uma frequência de 1090 MHz, estas respostas são enviadas ao processador do TCAS. As antenas direcionais permitem a divisão das respostas reduzindo o truncamento da sincronização (FAA, 2000).

ANT-81A Antenna

Environmental Tolerance	All Applicable TSO Categories tested in Accordance with DO-160B
Temperature Range	Operating -55 C to +70 C Storage -55 C to +85 C
Altitude	Maximum Altitude of 50,000 ft.
Weight	2 Pounds (0.9 kg)
Exterior Exposed Volume	57.8 Cubic Inches (946 Cubic Cm.)
Mounting	Mounting per ARINC 735A
Exterior Material	High Strength Composite - special leading edge boot

Quadro 5.1.1.4.1 – ANT-81A Antenna

Além das duas antenas do TCAS, também são requeridas duas antenas unidirecionais para o transponder modo S, uma na parte superior da aeronave e outra na parte inferior, como mostrado na figura 5.1.1.1.1. Estas antenas permitem que o transponder modo S receba interrogações por uma frequência de 1030 MHz e responda tais interrogações a 1090 MHz. O uso das antenas instaladas na parte superior ou inferior da aeronave é automaticamente selecionado para otimizar a força do sinal e reduzir interferências (FAA, 2000).



Figura 5.1.1.6 – Antena unidirecional

A operação do TCAS é automaticamente reprimida sempre que o transponder modo S estiver transmitindo, para assegurar de que o TCAS não irá rastrear a própria aeronave (FAA, 2000).

5.1.2 Apresentação na Cabine

O TCAS faz a interface com os pilotos através de dois displays, o display de tráfego (Traffic Display) e o display de orientação de resolução (Resolution Advisory Display). Estes dois mostradores podem ser usados de várias maneiras diferentes, incluindo os displays que incorporam as duas funções em uma única unidade física. Esta opção é o requisito mínimo exigido pelo FAA na norma DO-185A para certificação de aeronaves com mais de 30 assentos (FAA, 2000).

5.1.2.1 Display de Tráfego (Traffic Display)

O display de tráfego que pode ser selecionado baseado em um período de tempo ou durante toda a operação, tem função de descrever a posição dos tráfegos da vizinhança, posição relativa à própria aeronave. O display de tráfego foi projetado para prover informação ao piloto com o intuito de ajudá-lo a manter uma separação visual segura. Se o display não estiver selecionado e um TA ou RA for emitido, o display é ativado automaticamente. Informações de tráfegos podem ser mostradas juntamente com outros sistemas, entre eles o display do radar meteorológico, o display do GPS, o display do sistema de indicação de motores e alerta a tripulação (EICAS), e outros displays multifuncionais (FAA, 2000).

Uma maioria dos displays de tráfego também permite ao piloto selecionar diferentes escalas de alcance e altitude para o tráfego ser mostrado. Isto possibilita que o piloto selecione maiores alcances quando voando em rota, para ver os tráfegos a longa distância, e menores alcances quando voando em áreas terminais, reduzindo a imagem poluída do display (FAA, 2000).

A simbologia dos displays de tráfegos (Traffic Displays) já foi apresentada no item 3.2.

5.1.2.2 Display de Orientação de Resolução (Resolution Advisory Display)

O display de orientação de resolução fornece ao piloto informações para evitar uma possível colisão, podendo orientar uma determinada velocidade vertical e ângulo de pitch. O display de RA é comumente instalado em um indicador instantâneo de velocidade vertical (IVSI); uma fita de velocidade vertical no mostrador primário de vôo (PFD); e/ou mostrando uma orientação de pitch no PFD. A orientação de resolução também pode ser executada nos Head-Up Displays (mostradores que permitem ao piloto operar com a visão voltada para fora, pois as informações são refletidas no pára-brisas). As orientações usadas no IVSI ou na fita de velocidade vertical usam luzes ou marcações nas cores vermelho e verde, para indicar a faixa de velocidade vertical a ser evitada (vermelho), e a faixa de velocidade vertical desejada (verde) (FAA, 2000).

A maioria das aeronaves que possuem o IVSI instalado são aeronaves cuja fabricação é mais antiga do que a existência do sistema TCAS. Entretanto, alguns operadores com frotas modernas “glass cockpit” optaram por instalar também o IVSI para fornecer uma exposição

mais comum aos seus pilotos. Algumas instalações de IVSI usam instrumentos mecânicos com uma série de led's vermelhos e verdes em torno do perímetro do instrumento, enquanto em instalações usando telas de LCD, o sistema desenha o arco vermelho e verde no local apropriado da tela. Usando telas de LCD, o sistema também tem capacidade de fornecer informações de tráfego e resolução na mesma tela (FAA, 2000).

Em aeronaves modernas com PFD (Primary Flight Display), mostrado na figura 5.1.2.2.3, alguns fabricantes têm instalado o display de orientação de resolução na fita de velocidade vertical; alguns elegeram para fornecer orientações de pitch; e outros optaram por ambas as funções, orientação de pitch e fita de velocidade vertical, como mostrado na figura 5.1.2.2.2 (FAA, 2000).

As normas para a instalação do display de orientação de resolução (RA Display) são fornecidas no DO- 185A, além de algumas exigências para instalação do display, se o mesmo for operar juntamente com um diretor de vôo e um HUD (FAA, 2000).

Dois displays de orientação de resolução são exigidos, um para cada piloto.

A figura 5.1.2.2.1 mostra um display de IVSI com capacidade de fornecer informações de tráfego, Tas e RAs usando uma tela de LCD. As figuras 5.1.2.2.2 e 5.1.2.2.3 mostram diferentes PFD's, a primeira mostrando uma orientação de manobra do FD e a segunda na speed tape (fita de velocidade vertical).



Figura 5.1.2.2.1 – IVSI

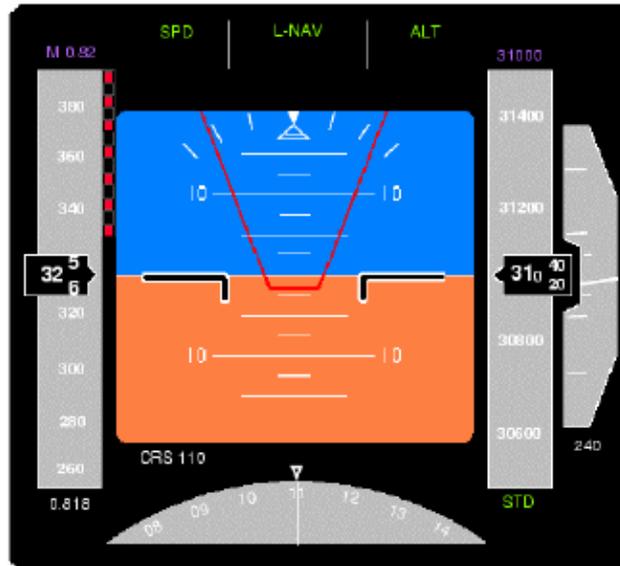


Figura 5.1.2.2.2 – PFD

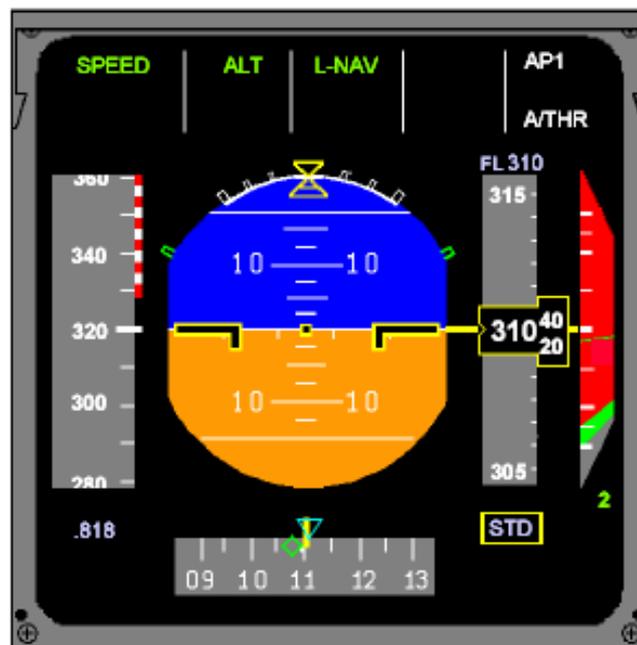


Figura 5.1.2.2.3 – PFD



Figura 5.1.2.2.4 - EHSI

5.2 VIGILÂNCIA DO ALVO

O TCAS, independente de qualquer equipamento no solo, realiza a vigilância de aeronaves próximas para fornecer informações de posição e altitude destas aeronaves para que os algoritmos do alerta de colisão aérea possam fazer suas funções. A função de vigilância do TCAS funciona da seguinte maneira: são emitidas interrogações em uma frequência de 1030 MHz para os transponders das aeronaves próximas responderem em uma frequência de 1090 MHz. Estas respostas são recebidas e decodificadas pela área de vigilância do programa do TCAS, então as informações são fornecidas aos algoritmos do alerta de colisão aérea (FAA, 2000).

Uma vigilância confiável é exigida para o TCAS, sendo no máximo um raio de 14 milhas náuticas e em áreas com alta densidade de tráfego até três aeronaves por milha náutica quadrada. A função de vigilância é fornecer a distância, altitude e rumo das aeronaves próximas para a função do alerta de colisão aérea, para que a ameaça seja determinada e para que as informações mostradas no display de tráfego sejam exatas. A vigilância do TCAS é compatível tanto com ATCRBS quanto com o transponder modo S (FAA, 2000).

O TCAS tem capacidade de rastrear simultaneamente 30 transponders dentro da área de vigilância (FAA, 2000).

Pelo fato de o TCAS operar na mesma frequência usada pelo sistema radar do ATC, há uma exigência imposta de que o TCAS não pode interferir nas funções do radar do ATC. Diversas características do projeto foram desenvolvidas para permitir que o TCAS forneça uma vigilância confiável, sem degradar o desempenho dos radares do ATC (FAA, 2000).

5.2.1 Vigilância modo S

Por causa da característica seletiva do endereço do sistema modo S, a vigilância das aeronaves equipadas com o modo S é relativamente direta. O TCAS aguarda até detectar as transmissões espontâneas, ou squitters, que são gerados uma vez por segundo pelo transponder modo S. Dentre outras informações, o squitter contém o endereço modo S único da aeronave (FAA, 2000).

Após a recepção e decodificação da mensagem do squitter, o TCAS envia uma interrogação modo S para o endereço modo S contido no squitter. O transponder modo S responde a esta interrogação e a resposta é usada pelo TCAS para determinar a distância, rumo e altitude desta aeronave com transponder modo S (FAA, 2000).

Para minimizar interferências com outras aeronaves e com o ATC nos canais 1030/1090 MHz, a razão com que uma aeronave modo S é interrogada pelo TCAS, depende da distância e razão de aproximação entre as duas aeronaves. Se a aeronave alvo aproximar-se para uma área onde um TA é requerido, a razão de interrogação aumenta para uma vez por segundo. Para distâncias prolongadas, um alvo é interrogado pelo menos uma vez a cada cinco segundos (FAA, 2000).

O TCAS rastreia a distância, a direção e a altitude de cada alvo modo S. Os dados dos alvos são fornecidos à lógica do alerta de colisão aérea para ser usados na detecção, à lógica consultiva (lógica dos avisos), e para apresentar ao piloto no display de tráfego. O rumo relativo do alvo também é fornecido à lógica do alerta de colisão aérea de modo que a posição do alvo possa ser mostrada com precisão no display de tráfego. A informação de rumo não é usada pela lógica do alerta de colisão aérea para detectar ameaças e/ou selecionar avisos (FAA, 2000).

5.2.2 Vigilância modo C

O TCAS usa uma interrogação modificada para aeronaves com transponder modo A ou C. A razão nominal de interrogação para estes transponders é uma vez por segundo. Porque o TCAS não usa interrogações modo A, os códigos do transponder modo A de aeronaves próximas não são conhecidos pelo sistema TCAS (FAA, 2000).

As aeronaves que não são equipadas com um codificador de altitude operacional, respondem a estas interrogações com nenhum dado de altitude no campo determinado para tal da resposta. O TCAS usa pulsos pré-determinados de resposta para iniciar e manter uma distância rastreada do alvo. Como as aeronaves modo S rastreadas, estas respostas são passadas à lógica do alerta de colisão aérea para detectar avisos de tráfego e apresentar no display (FAA, 2000).

As respostas da aeronave que são capazes de fornecer sua altitude do modo C são rastreadas em distância, altitude, e rumo. Estes dados do alvo são passados à lógica do alerta de colisão aérea para detectar TAs e RAs e apresentar no display de tráfego (FAA, 2000).

A vigilância TCAS do alvo modo C é complicada por problemas de interferências sincronizadas e não sincronizados, tanto quanto reflexões de sinais do solo. Quando uma interrogação modo C é emitida pelo TCAS, todos os transponders modo C detectam a interrogação e respondem. Por causa do tempo de resposta (21 micro segundos), toda aeronave equipada com transponder modo C dentro de um alcance de 1.7 milhas náuticas da aeronave com TCAS geram respostas com interferência, ou sobrepõe-se uma com a outra, quando recebidas pelo TCAS. Isto é mostrado na figura 5.2.2.1 e é chamado de interferência sincronizada. Várias técnicas têm sido incorporadas no TCAS para lidar com esta circunstância (FAA, 2000).

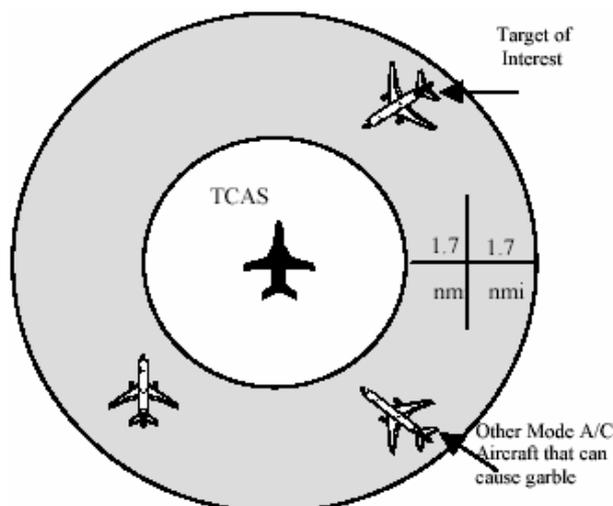


Figura 5.2.2.1 – Área de interferência sincronizada

Um equipamento de des interferência pode confiantemente decodificar até três respostas sobrepostas, e a combinação de potência dos níveis de interrogação variáveis e pulsos de supressão reduzem o número de transponders que respondem a uma única interrogação. Esta técnica, conhecida como WS (Whisper-Shout) leva vantagem sobre as diferenças entre a sensibilidade do receptor dos transponders e o alcance da antena do transponder às aeronaves alvos. Um nível com baixa potência é usado para o primeiro passo da interrogação em uma seqüência WS. Durante o próximo passo WS, um pulso de supressão é primeiramente transmitido em um nível ligeiramente mais baixo do que a primeira interrogação. O pulso de supressão é seguido dois micros segundos mais tarde por uma interrogação com nível de potência um pouco mais elevado. Esta ação suprime a maioria dos transponders que teriam respondido a interrogação anterior, mas elicia respostas de um grupo adicional de transponders que não tenham respondido a interrogação anterior. Como mostrado na figura 5.2.2.2, o procedimento WS é seguido progressivamente em 24 passos, para separar as respostas do modo C dentro de alguns grupos, assim reduzindo a possibilidade de interferência. A seqüência WS é transmitida uma vez durante cada período de atualização de vigilância, no qual leva normalmente um segundo (FAA, 2000).

(*) Um micro segundo é equivalente a 1/1000000 de segundo.

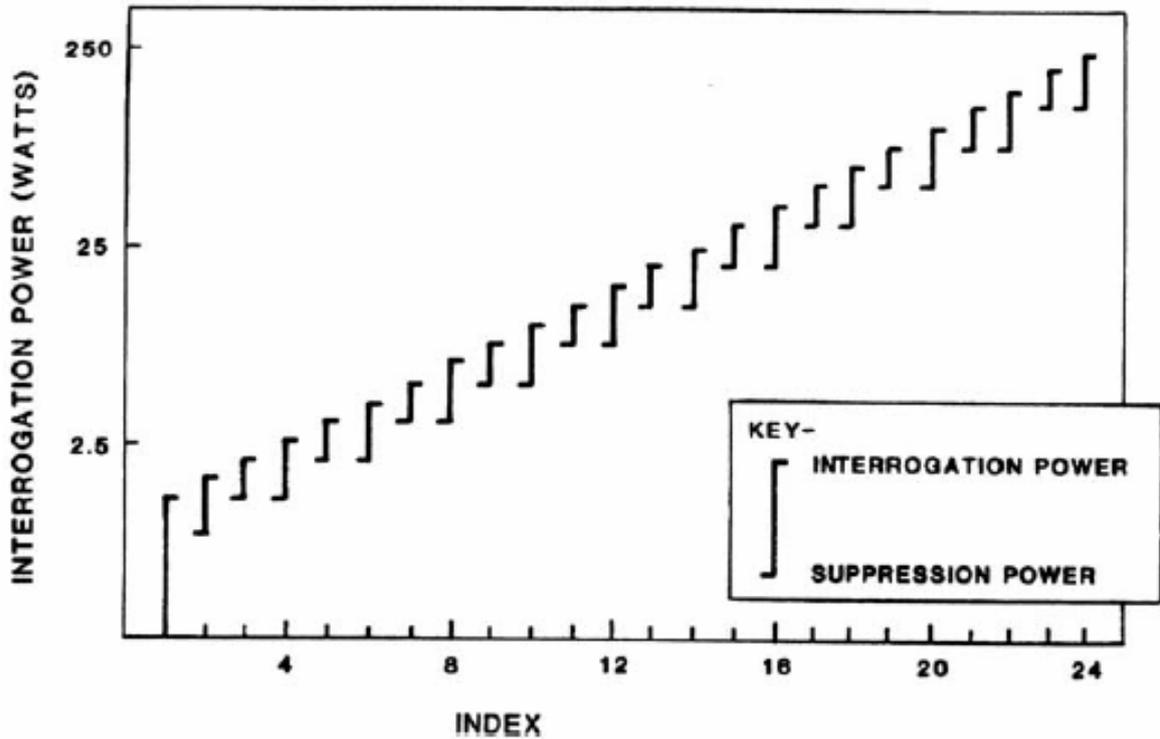


Figura 5.2.2.2 – Sequência de interrogação WS

Outra técnica utilizada para reduzir a interferência sincronizada é o uso de transmissões direcionais para reduzir mais ainda o número potencial de respostas sobrepostas. Esta técnica é mostrada na figura 5.2.2.3. Uma cobertura ligeiramente sobreposta deve ser fornecida em todas as direções, garantindo uma cobertura de 360 graus. O truncamento sincronizado também é reduzido pelo uso de interrogações modo C. Esta interrogação inibe os transponders modo S de responderem a uma interrogação modo C (FAA, 2000).



Figura 5.2.2.3 – Transmissão direcional

A interferência não sincronizada é causada pela recepção de respostas indesejadas do transponder, que são geradas em resposta a interrogações de sensores no solo, ou outras interrogações de TCAS. Estas respostas são transitórias, então, elas são tipicamente identificadas e descartadas pelos algoritmos correlacionados com a lógica de vigilância. A experiência operacional com o TCAS tem mostrado que a probabilidade de iniciar e manter um rastreamento baseado nestas respostas é extremamente remota (FAA, 2000).

Evitar a inicialização do rastreamento de vigilância baseado em diversas respostas de transponders diferentes é outra importante consideração no projeto de vigilância do TCAS. Diversas respostas de transponders diferentes resultam na detecção de mais de uma resposta para a mesma interrogação, geralmente de baixa potência, da mesma aeronave. Isto é causado por uma interrogação refletida e geralmente ocorre acima de terrenos planos. Para controlar este problema, o nível de potência de envio direto é usado para aumentar o MTL (Minimum Triggering Level) do receptor do TCAS o suficiente para discriminar contra o atraso e reflexões de baixa potência. Esta técnica, referida como MTL dinâmico (DMTL), é mostrada na figura 5.2.2.4. Como mostrado na figura 5.2.2.4, os quatro pulsos da resposta direcionada estão acima do DMTL, quando atrasado, as respostas simultâneas de diversos transponders estão abaixo da faixa de DMTL, e assim, são rejeitadas pelo TCAS (FAA, 2000).

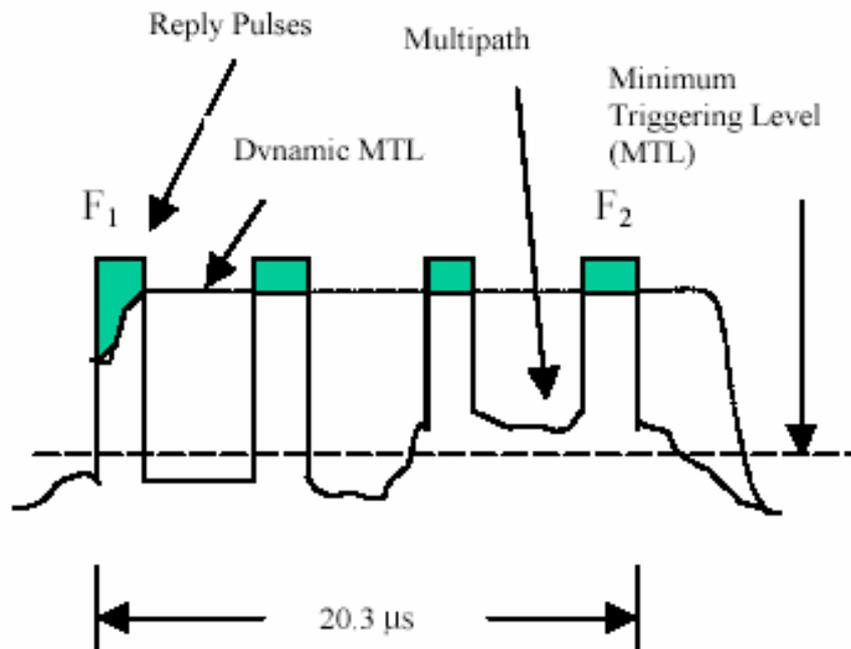


Figura 5.2.2.4 – Faixa de respostas ATCRBS dinâmicas

5.3 CONCEITOS DO ALERTA DE COLISÃO

5.3.1 Nível de Sensibilidade

A operação eficaz da lógica do CAS (Sistema de Alerta de Colisão Aérea) requer um balanço entre a proteção necessária e avisos desnecessários. Este balanço é realizado controlando o nível de sensibilidade (SL), que controla o tempo ou o ponto de entrada para a emissão de TA e RA, e conseqüentemente as dimensões do espaço aéreo protegido em torno de cada aeronave equipada com TCAS. Um SL mais elevado representa um maior volume de espaço aéreo protegido. Entretanto, enquanto o volume de espaço aéreo protegido aumenta, a incidência de alertas desnecessários tem potencial de aumentar (FAA, 2000).

FAA (2000) afirma que existem dois meios de determinar o nível de sensibilidade da operação:

1. Seleção pelo piloto: O painel de controle do TCAS fornece meios para o piloto selecionar entre três modos operacionais:
 - Quando o switch do painel de controle é colocado na posição STAND-BY, o TCAS opera com nível de sensibilidade 1 (SL 1). Com SL1 o TCAS não transmite interrogações. O SL1 é normalmente selecionado apenas quando a aeronave estiver no solo ou se estiver com uma falha no sistema TCAS. A única maneira de selecionar o SL1 é selecionar o modo STAND-BY no painel de controle.
 - Quando o piloto seleciona TA-ONLY no painel de controle, o TCAS opera com SL2. Quando em SL2, o TCAS executa todas as funções de vigilância e emite TAs. Com SL2 os RAs são inibidos.
 - Quando o piloto seleciona TA-RA ou um modo equivalente no painel de controle, a lógica do TCAS automaticamente seleciona o SL apropriado de acordo com a altitude da aeronave. A tabela 5.3.1.1, fornece o ponto em que o TCAS muda automaticamente o SL e o SL associado para cada faixa de altitude. Nestes SLs, o TCAS executa todas as funções de vigilância e emite TAs e RAs.
2. Seleção pelo pessoal de solo: Embora o uso do controle do SL por pessoal de solo não seja permitido entre pilotos e controladores, a capacidade de seleção pelo pessoal de solo foi incluída no projeto do TCAS. Esta característica de projeto permite que o SL

seja selecionado no solo através do envio de mensagens uplink pelo modo S. O projeto do TCAS permite a seleção de qualquer SL mostrado na tabela 5.3.1.1, com exceção do SL1.

Quando o piloto seleciona o modo TA-RA no painel de controle, o SL em operação é automaticamente selecionado através de informações do radar da aeronave ou altímetro pressão. O SL2 será selecionado quando a aeronave estiver menos que 1000 pés acima do solo (AGL), +/- 100 pés como determinado pela entrada do radar altímetro (FAA, 2000).

Os RAs são permitidos e emitidos entre o SL3 e o SL7 nos tempos mostrados na tabela 5.3.1.1. O SL3 é ajustado baseado nas informações do altímetro radar, enquanto os SLs restantes são baseados em altitude pressão usando informações do altímetro barométrico da própria aeronave (FAA, 2000).

Own Altitude (feet)	SL	Tau (Seconds)		DMOD (nmi)		Altitude Threshold (feet)	
		TA	RA	TA	RA	TA	RA (ALIM)
< 1000	2	20	N/A	0.30	N/A	850	N/A
1000 - 2350	3	25	15	0.33	0.20	850	300
2350 - 5000	4	30	20	0.48	0.35	850	300
5000 - 10000	5	40	25	0.75	0.55	850	350
10000 - 20000	6	45	30	1.00	0.80	850	400
20000 - 42000	7	48	35	1.30	1.10	850	600
> 42000	7	48	35	1.30	1.10	1200	700

Tabela 5.3.1.1 – Definição dos níveis de sensibilidade e faixas de alerta

5.3.2 Tau

Tau (τ) é o tempo mínimo que a tripulação precisa para discernir uma ameaça e tomar uma ação de correção. Representa o envelope de desempenho (velocidade e trajeto da aeronave) dividido pela razão de aproximação da aeronave intrusa (FAA, 2000).

$$T = \text{Distância} / \text{Variação da Distância}$$

O TCAS usa o tempo para o CPA, que é mais preciso que a distância quando se trata de determinar quando um TA ou RA deve ser emitido. O TCAS usa o tempo para o CPA para determinar a distância tau, e o tempo para a co-altitude para determinar o tau vertical. Tau é um tempo aproximado, em segundos, para o CPA ou para uma aeronave estando no mesmo nível de vôo. A distância tau é igual à distância diagonal em milhas náuticas dividido pela velocidade de aproximação (knots) multiplicado por 3600. O tau vertical é igual a altitude de

separação (pés) dividida pela combinação das velocidades verticais das duas aeronaves (pés/minuto) em 60 vezes (FAA, 2000).

A operação do TCAS II é baseada no conceito Tau de todas as funções de alerta. A tabela 5.3.1.1 mostra a faixa de Tau para TA e RA em cada nível de sensibilidade. As linhas de limite mostradas na figura 5.3.2.1 indicam as combinações de distância e a razão de aproximação provocando um TA com um Tau de 40 segundos e um RA com um Tau de 25 segundos. Isto representa uma escala de Tau com nível de sensibilidade 5. Gráficos similares ao da figura 5.3.2.1 podem ser gerados para outros níveis de sensibilidade. A figura 5.3.2.2 mostra a combinação entre altitudes de separação e velocidades verticais provocando um TA com um Tau vertical de 40 segundos e um RA com um Tau vertical de 25 segundos (FAA, 2000).

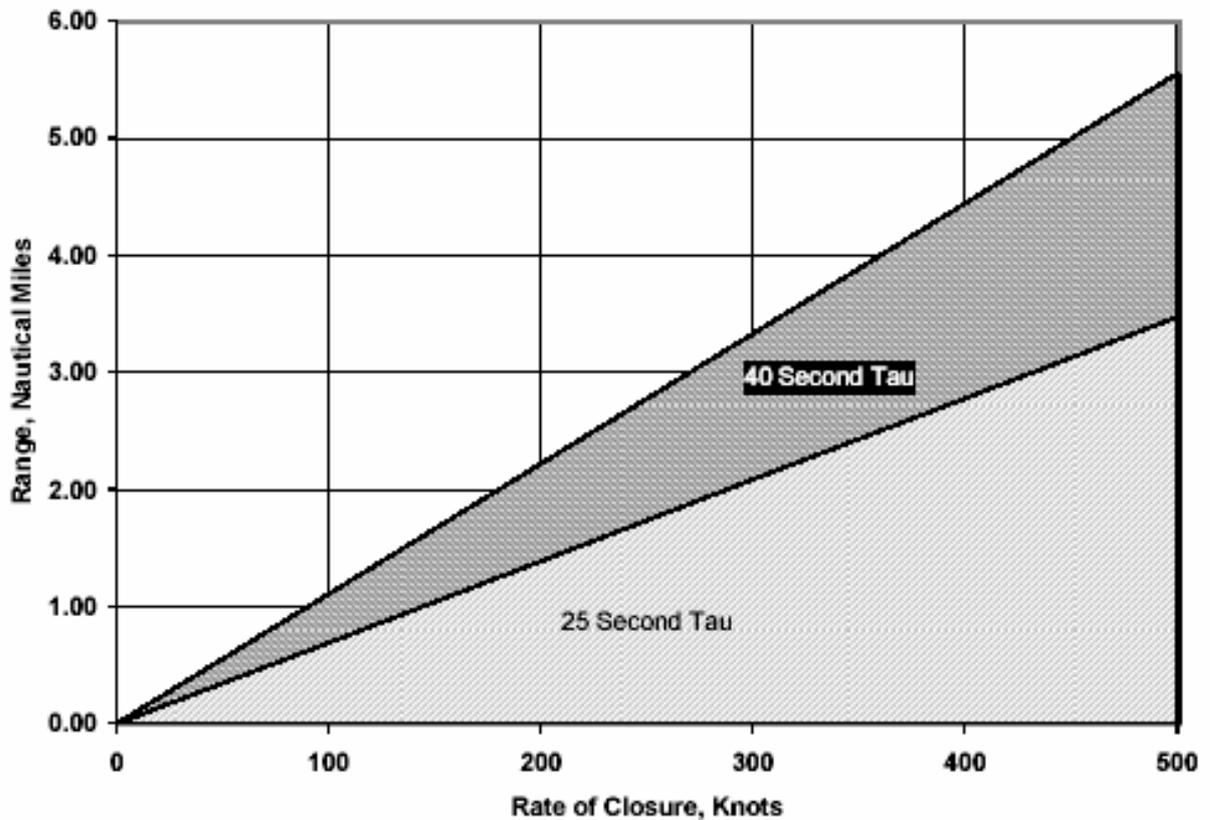


Figura 5.3.2.1 – Alcance Tau TA/RA para SL5

Em condições onde a razão de aproximação é muito baixa, como mostrada na figura 5.3.2.3, uma aeronave intrusa pode chegar bem perto sem ultrapassar as linhas de limite, portanto, sem emitir um TA ou um RA. Para fornecer proteção nestas situações, as linhas de escala Tau são modificadas como mostra a figura 5.3.2.4. Esta modificação é referida como DMOD e permite o TCAS usar escalas fixas de faixa de proteção para emitir TAs e RAs em

casos de razão de aproximação muito baixa. O valor do DMOD varia de acordo com os diferentes níveis de sensibilidade. Os valores usados para emitir TAs e RAs estão demonstrados na tabela 5.3.1.1 (FAA, 2000).

Quando a combinação entre a velocidade vertical da aeronave com TCAS e da aeronave intrusa é muito baixa, o TCAS usará uma faixa de altitude fixa para determinar se um TA ou um RA deve ser emitida. Se com DMOD, a faixa de altitude fixa varia de acordo com o nível de sensibilidade. Faixas de TA e RA estão mostradas na 5.3.1.1 (FAA, 2000).

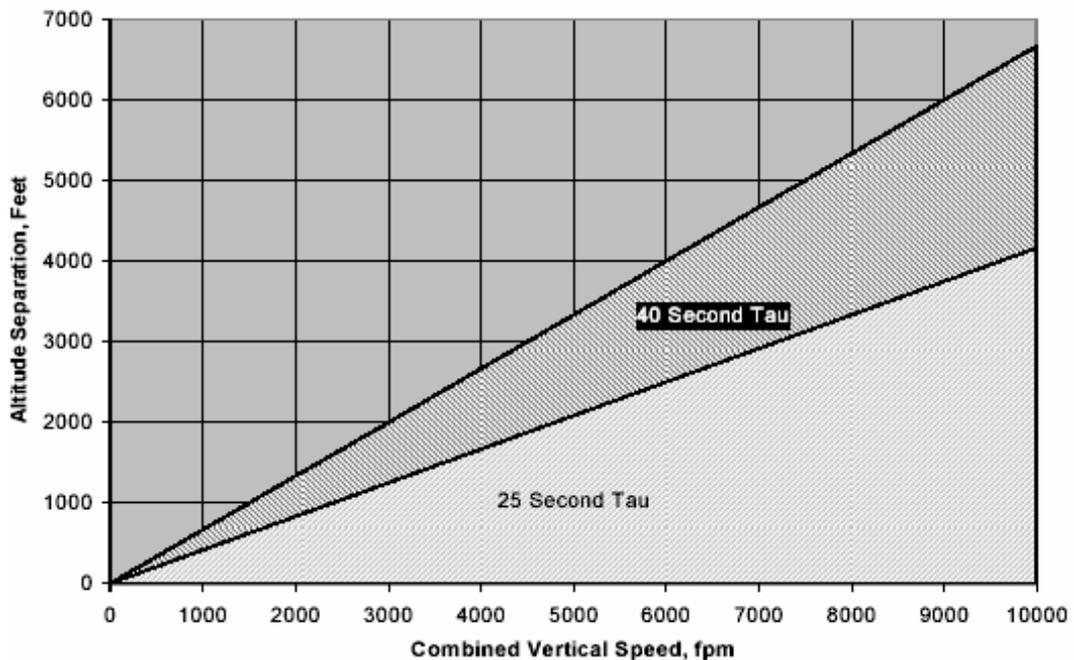


Figura 5.3.2.2 – Tau vertical TA/RA para SL 5

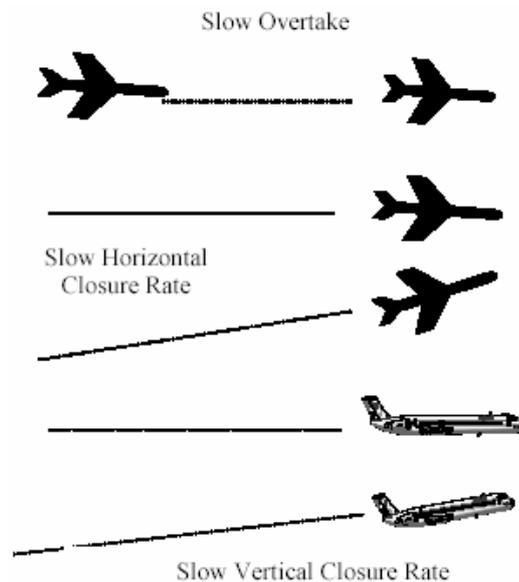


Figura 5.3.2.3 – Necessidade de alteração do Tau

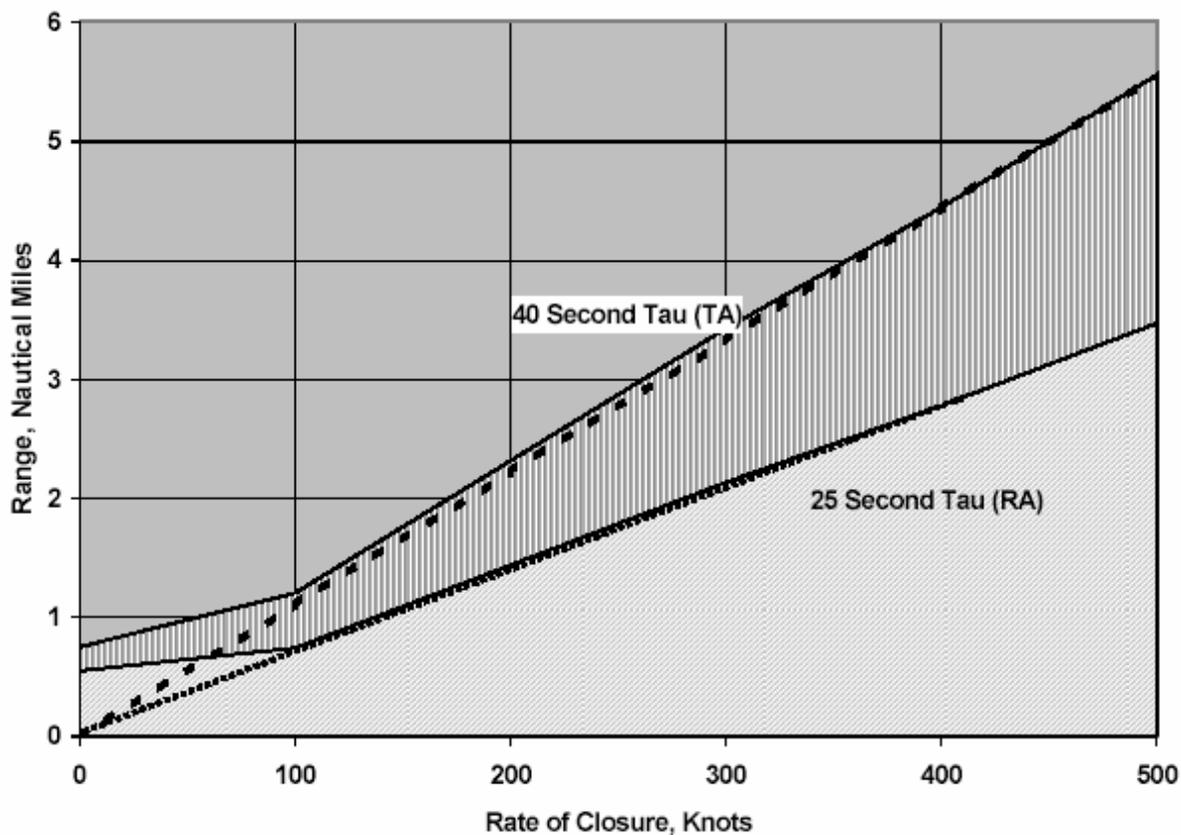


Figura 5.3.2.4 – Alcance Tau TA/RA alterado

5.3.3 Volume de Proteção

O volume de proteção do espaço aéreo está ao redor de cada aeronave equipada com TCAS. Os critérios do Tau e do DMOD descrevem perfeitamente os limites horizontais deste volume. O Tau vertical e a faixa de altitude fixa determinam as dimensões verticais do volume protegido (FAA, 2000).

As dimensões horizontais do espaço aéreo protegido não são baseadas em distância, e sim no Tau. Assim, o tamanho do volume de proteção depende da velocidade e proa da aeronave envolvida no encontro (FAA, 2000).

O TCAS II foi desenvolvido para prover proteção contra colisão no caso de uma das duas aeronaves estarem aproximando horizontalmente a qualquer razão de aproximação até 1200 nós e verticalmente até 10.000 pés por minuto (FAA, 2000).

5.4 FUNÇÕES LÓGICAS DO ALERTA DE COLISÃO AÉREA

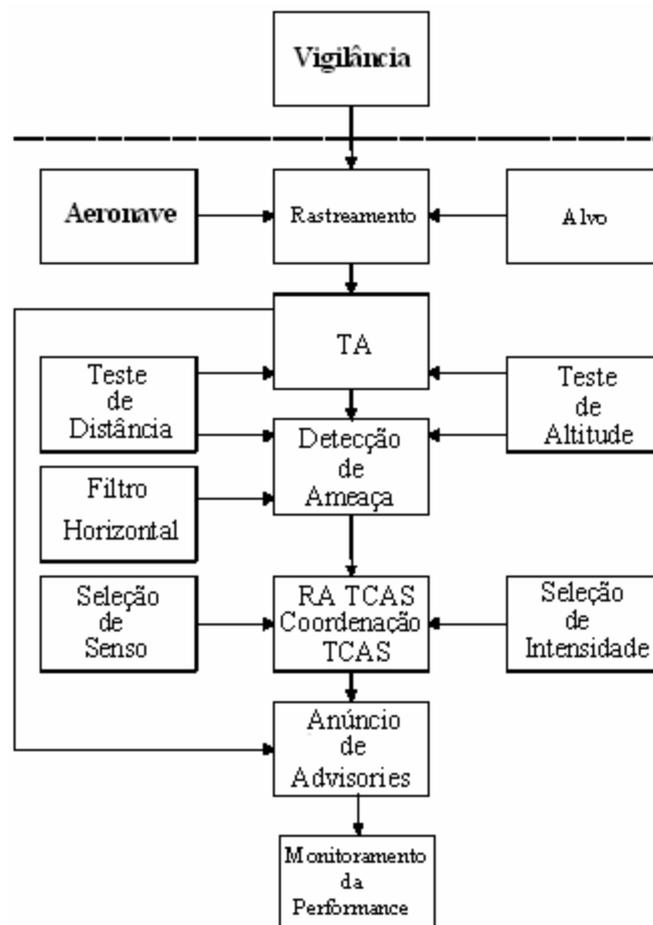


Figura 5.4.1 – Funções Lógicas do Alerta de Colisão Aérea

As funções lógicas empregadas pelo TCAS para executar a função de alerta de colisão aérea são mostradas na figura 5.4.1. A natureza de fornecer um eficiente sistema de alerta de colisão aérea resultou na necessidade de ter algumas condições especiais abrangendo todas as funções que dependem da geometria, distância e faixa de altitude, e desempenho da aeronave. A descrição completa destas condições é fornecida no RTCA DO- 185A.

5.4.1 Rastreamento

Usando distância, altitude (quando disponível), e ângulo relativo da aeronave próxima que são fornecidos ao Sistema de Alerta de Colisão Aérea (CAS) pela função de vigilância, a lógica CAS inicia e mantém um rastreamento tri-dimensional de cada aeronave e usa esta informação para determinar o tempo para o CPA e a altitude de cada aeronave no CPA. A

lógica CAS usa a informação de altitude para estimar a velocidade vertical de cada aeronave próxima e manter um rastreamento vertical de cada aeronave. O rastreamento de altitude pode usar a altitude quantizada com incrementos de 100 ou 25 pés. A função do rastreamento CAS é projetada para rastrear aeronaves com razão vertical até 10 mil pés por minuto (FAA, 2000).

A lógica CAS também usa a informação de altitude pressão da própria aeronave para determinar a altitude da própria aeronave, e também a velocidade vertical e a altitude relativa de cada aeronave intrusa. A lógica CAS usa a fonte de altitude na própria aeronave para fornecer uma resolução perfeita. A informação da própria aeronave pode ser fornecida com incremento de 25 ou 100 pés. A saída dos algoritmos de rastreamento CAS, como, distância, razão de aproximação, altitude relativa, e razão vertical, são fornecidas ao TA e à lógica de detecção de ameaças de modo que a necessidade para um TA ou RA pode ser determinada (FAA, 2000).

O rastreador CAS também usa a diferença entre a altitude pressão e altitude radar da própria aeronave para estimar a elevação aproximada do solo acima do nível do mar. Esta lógica de estimação do solo funciona sempre que a própria aeronave está 1750 pés AGL. Então a altitude de solo estimada é subtraída da altitude pressão recebida de cada aeronave equipada com transponder modo C para determinar a altitude aproximada de cada aeronave acima do solo. Se esta diferença for menor que 360 pés, o TCAS considera que a aeronave reportada está no solo. Se o TCAS determinar que o intruso esta no solo, o sistema inibe a geração de anúncios contra esta aeronave. A figura 5.4.1.1 ilustra este parágrafo (FAA, 2000).

Uma aeronave com transponder modo S é considerada no solo se a posição do freio indicar que a aeronave está no solo.

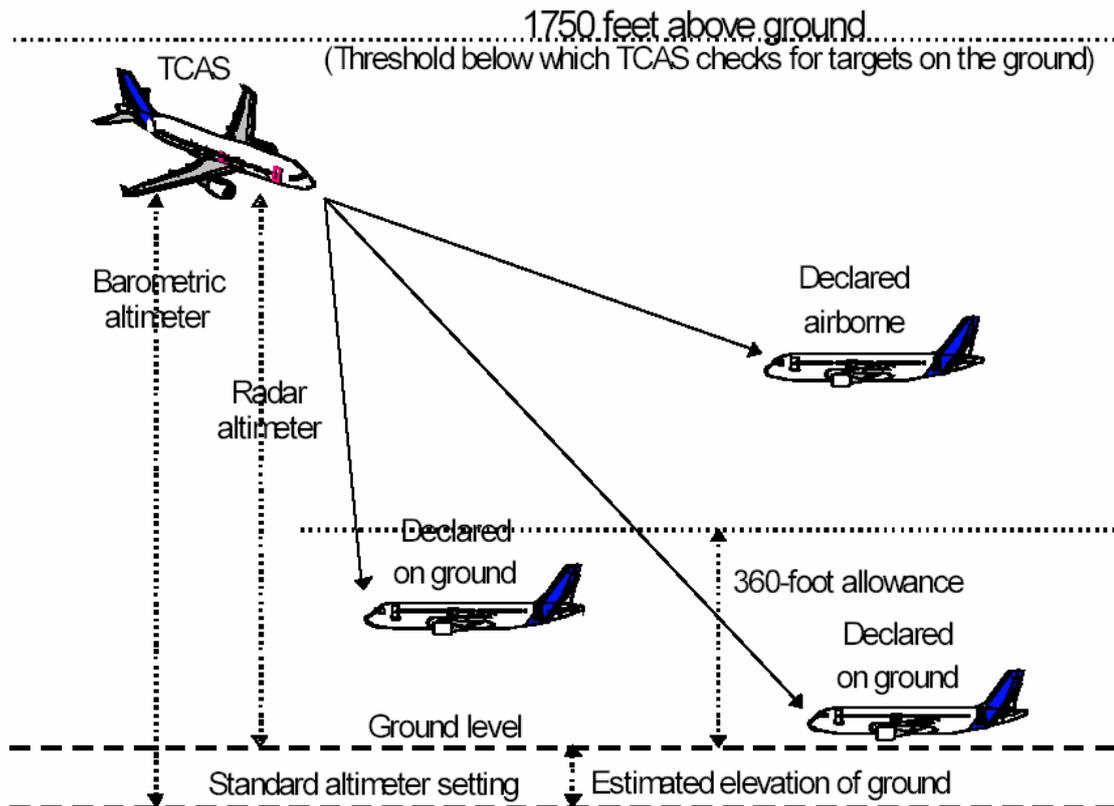


Figura 5.4.1.1 – Rastreamento da altitude

5.4.2 Alerta de Tráfego (TA)

Usando o rastreamento para aeronaves próximas, testes de distância e altitude são executados para cada altitude reportada de um alvo. Para as aeronaves que não reportam altitude são supostos co-altitudes e somente serão executados os testes de distância para estes alvos. O teste de distância é baseado no Tau, e o Tau TA deve ser menor que a faixa mostrada na tabela 5.3.1.1. Além do mais, o fluxo ou separação vertical projetada no CPA deve estar dentro da faixa de altitude do TA mostrada na tabela 5.3.1.1 para que um alvo seja declarado um intruso. Se a lógica do TA declarar uma aeronave como intrusa, um TA será emitido contra a aeronave (FAA, 2000).

Uma aeronave que não reporta altitude será declarada como intrusa se o teste de distância mostrar que o Tau calculado está dentro da faixa do Tau RA associado com o SL prevalente sendo usado, como mostrado na tabela 5.3.1.1 (FAA, 2000).

A versão 7 inclui mudanças para assegurar que a posição dos alvos (TA) serão mantidas com baixa razão de aproximação de encontro invocando exigências mais restritivas para remover um TA. Estas mudanças dirigem-se a problemas reportados em que múltiplos

TA's foram emitidos contra um mesmo alvo paralelo a aproximação do encontro e em espaço aéreo RVSM (FAA, 2000).

5.4.3 Detecção de Ameaça

Testes de distância e altitude são executados para cada reporte de altitude de um intruso. Se o Tau RA e o tempo para co-altitude ou critérios da altitude relativa associados com o SL prevalente forem encontrados, o intruso é declarado uma ameaça. Dependendo da geometria do encontro e da qualidade e período da informação do rastreamento vertical, um RA pode ser atrasado ou não selecionado. Os RA's não podem ser gerados para intrusos que não reportam altitude (FAA, 2000).

A versão 7 inclui mudanças na lógica de detecção de ameaça para melhorar o desempenho desta parte da lógica do sistema TCAS.

5.4.4 Seleção de Orientação de Resolução (RA)

Quando um intruso é declarado uma ameaça, dois passos são usados no processo para selecionar um RA adequado para a geometria do encontro. O primeiro passo no processo é selecionar o sentido do RA, isto é, para cima ou para baixo. Baseado na distância e altitude do intruso, a lógica do CAS modela a trajetória de vôo do intruso a partir da sua posição atual para o CPA. A lógica do CAS então modela o sentido dos RA's para cima e para baixo da própria aeronave, como mostrado na figura 5.4.4.1, para determinar qual sentido fornece a maior separação vertical no CPA. No conflito mostrado na figura 5.4.4.1, o sentido para baixo será o sentido selecionado, pois fornece a maior separação vertical (FAA, 2000).

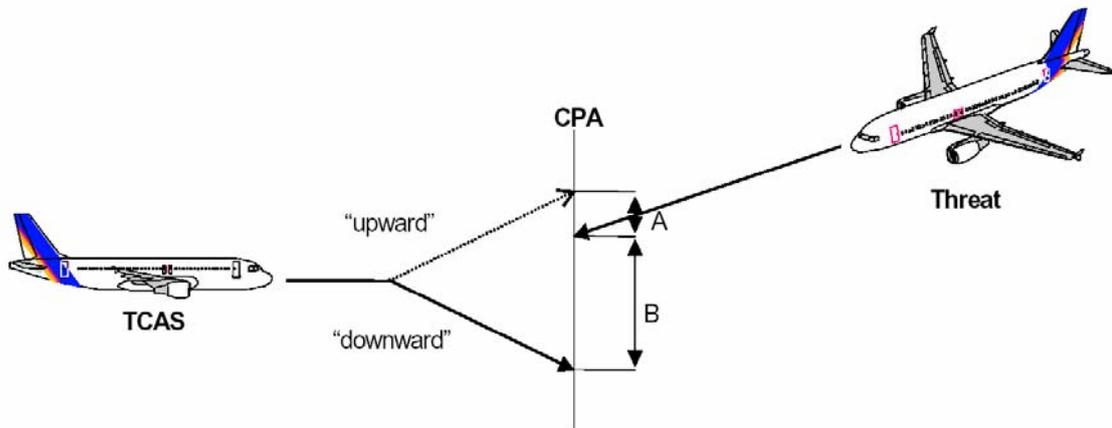


Figura 5.4.4.1 – Seleção do sentido do RA

Em conflitos onde qualquer um dos dois sentidos resultarem no cruzamento entre a própria aeronave e o intruso, o TCAS é desenvolvido para selecionar um sentido para uma altitude que não irá cruzar com a aeronave intrusa, se o sentido fornecer a separação vertical desejada no CPA, conhecida como ALIM. O valor do ALIM varia de acordo com o SL, como mostrado na tabela 5.3.1.1. Se o sentido para uma altitude em que as aeronaves não forem se cruzar fornecer pelo menos a separação vertical desejada no CPA, este será o sentido selecionado mesmo que o sentido para uma altitude de cruzamento fornecer uma separação maior. Se a separação vertical desejada não puder ser obtida no sentido de uma altitude não cruzamento, um RA para uma altitude de cruzamento será emitido. A figura 5.4.4.2 mostra um exemplo de conflito onde são modeladas a altitude de cruzamento e a altitude de não cruzamento, e neste caso, o sentido de não cruzamento é o selecionado (FAA, 2000).

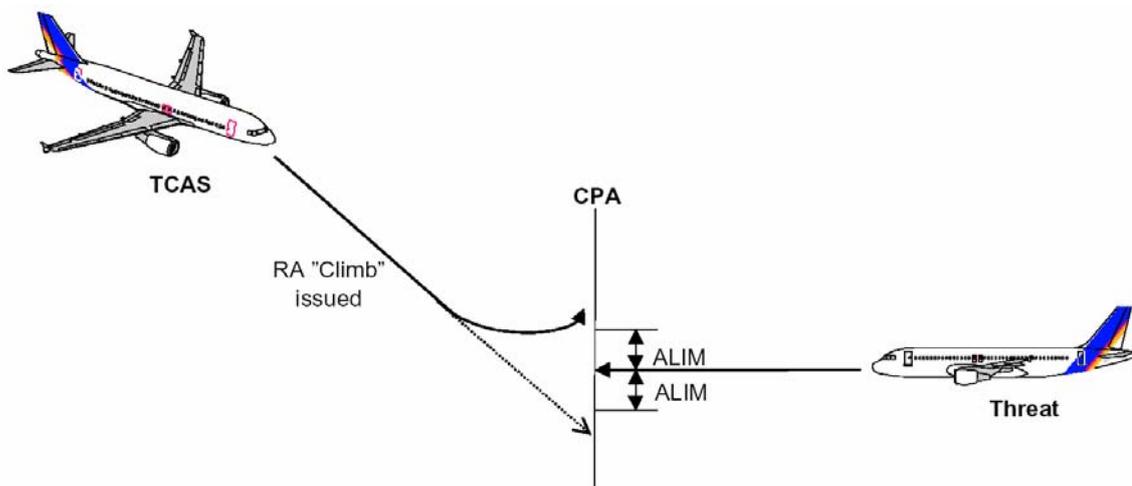


Figura 5.4.4.2 – Seleção de sentido de não cruzamento de RA

O segundo passo na seleção de um RA é escolher a força no anúncio. O TCAS é desenvolvido para selecionar a força de RA em que seja pelo menos tendencioso ao trajeto do voo existente, enquanto ainda fornece a separação vertical desejada. A tabela 5.4.4.1 fornece uma lista de possíveis anúncios que podem ser emitidos como um RA inicial quando apenas um intruso está envolvido no conflito. Após o RA inicial ser selecionado, a lógica do CAS monitora continuamente separação vertical que será fornecida no CPA e se necessário, o RA inicial pode ser modificado (FAA, 2000).

Uma nova característica foi implementada na versão 7 para reduzir a frequência de RA's que invertem a razão vertical existente da própria aeronave. Quando duas aeronaves equipadas com TCAS são verticalmente convergentes com razões opostas e são comumente bem separadas na altitude, primeiramente o TCAS vai emitir um limite de velocidade vertical (negativo) para o RA reforçar aos pilotos a intenção provável de nivelar em um nível de voo adjacente. Se não detectada uma resposta a este RA inicial, ou se ambas as aeronaves acelerarem de encontro uma com a outra, o RA inicial será alterado como necessário. Esta mudança foi realizada para reduzir a frequência de RA's iniciais que invertem a razão vertical da própria aeronave (por exemplo, divulgar um RA subindo para uma aeronave descendo), pois os pilotos não seguiam a maioria destes RA's, e os que seguiam eram considerados desordenados pelos controladores (FAA, 2000).

Em alguns casos, a aeronave intrusa executa uma manobra vertical de maneira frustrante na efetividade do RA emitido. Nestes casos, o RA inicial poderá ser modificado para aumentar a força, ou inverter o sentido do RA inicial. O RA emitido quando a força do RA for aumentada é requerido que seja dependente do RA inicial. A figura 5.4.4.3 descreve um conflito onde é necessário aumentar a razão de descida de 1500 pés requerida pelo RA inicial para 2500 pés. Este é um exemplo de um acréscimo na razão de descida da resolução. A figura 5.4.4.4 descreve um conflito onde uma resolução inicial descendo inicia um voo nivelado, assim alterando o sentido da manobra evasiva da aeronave com TCAS (FAA, 2000).

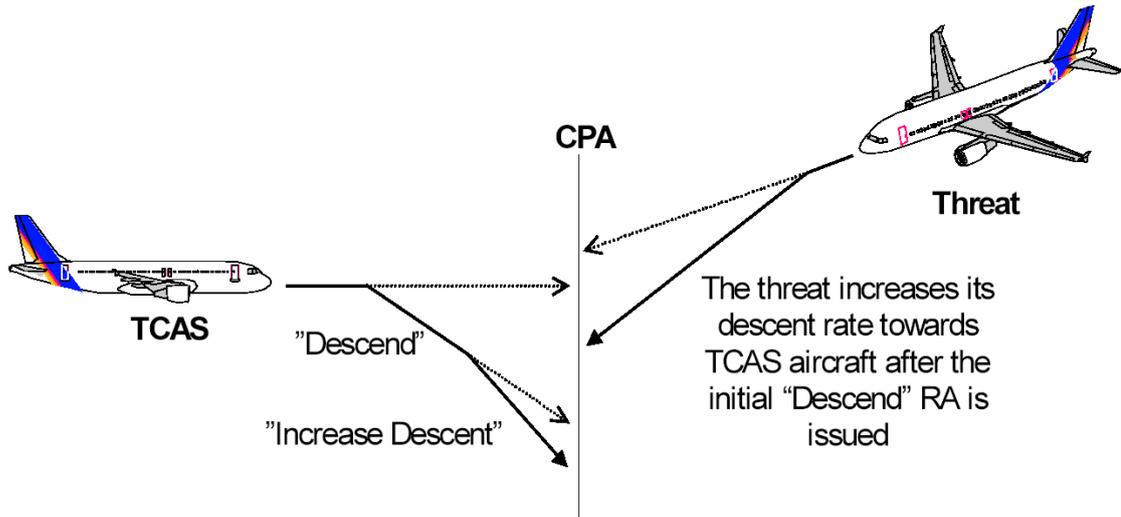


Figura 5.4.4.3 – Aumento da razão da resolução

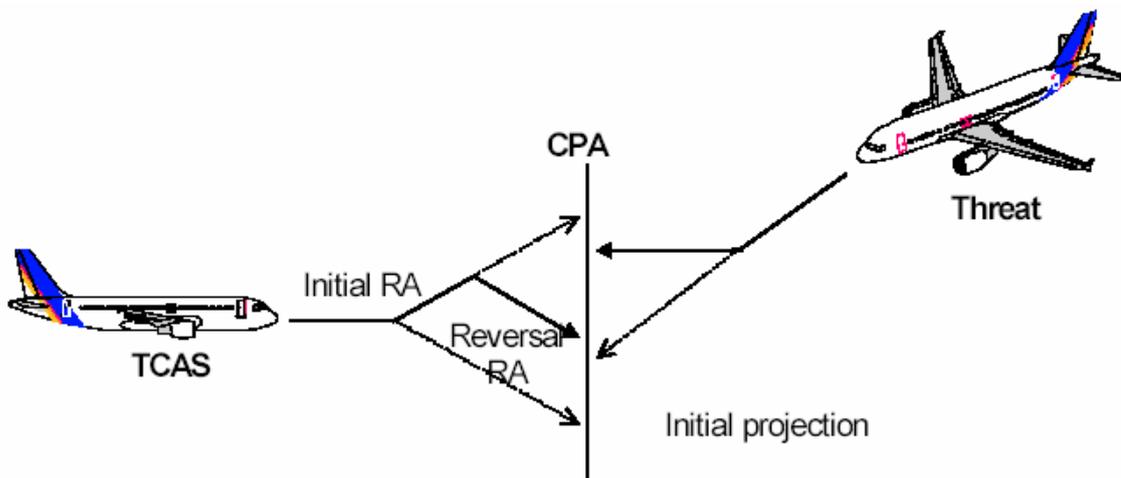


Figura 5.4.4.4 – Inversão da resolução

Em um conflito coordenado em que uma das aeronaves parecerem ignorar uma resolução inicial para uma altitude de não cruzamento, a versão 7 irá inibir o aumento de razão da resolução para esta aeronave, e irá considerar apenas as inversões no caso de o intruso efetuar uma manobra (FAA, 2000).

A versão 7 permite inverter o sentido em conflitos coordenados. Esta lógica de inversão do sentido é similar àquela disponível em conflitos com ameaças sem TCAS (alvo sem TCAS). Em um conflito TCAS-TCAS, não são permitidas inversões de resolução nos primeiros 9 segundos após a resolução inicial para dar tempo de ambas as aeronaves iniciarem suas respostas á resolução. Não são permitidas inversões de resolução se as aeronaves

estiverem a uma distância menor ou igual a 300 pés uma da outra e a inversão for resultar em um cruzamento de altitude. Em conflitos coordenados, a lógica que julga um atraso no acréscimo da razão da resolução para um cruzamento de altitude é inabilitada (FAA, 2000).

Por causa das limitações de desempenho de subida das aeronaves em elevadas altitudes ou com configuração de flap e trem de pouso, a instalação do TCAS pode ser configurada para inibir subidas ou acréscimo de razão de subida para resoluções abaixo de algumas condições. Estas condições de inibição podem ser programadas através dos pinos de programação nos conectores do TCAS ou nos aviões modernos podem programados através do Sistema de Gerenciamento de Vôo (FMS). Se os RA's estiverem inibidos, os critérios de seleção de RA não os considerarão e irão escolher uma alternativa acima do sentido se o sentido abaixo não fornecer uma separação vertical adequada (FAA, 2000).

RA TYPE	UPWARD SENSE		DOWNWARD SENSE	
	RA	Required Vertical Rate	RA	Required Vertical Rate
Positive	Climb	1500 to 2000 fpm	Descend	-1500 to -2000 fpm
Positive	Crossing Climb	1500 to 2000 fpm	Crossing Descend	-1500 to -2000 fpm
Positive	Maintain Climb	1500 to 4400 fpm	Maintain Descend	-1500 to -4400 fpm
Negative	Do Not Descend	> 0 fpm	Do Not Climb	< 0 fpm
Negative	Do Not Descend > 500 fpm	> -500 fpm	Do Not Climb > 500 fpm	< + 500 fpm
Negative	Do Not Descend > 1000 fpm	> -1000 fpm	Do Not Climb > 1000 fpm	< + 1000 fpm
Negative	Do Not Descend > 2000 fpm	> -2000 fpm	Do Not Climb > 2000 fpm	< + 2000 fpm

Tabela 5.4.4.1 – Possíveis RA's iniciais

O TCAS é projetado para suportar conflitos múltiplos, isto é, conflitos em que mais de um intruso são identificados ao mesmo tempo. O FAA afirma que em mais de 10 anos de operação do sistema TCAS, menos de meia dúzia de conflitos múltiplos ocorreram na aviação mundial. O TCAS tenta resolver estes tipos de conflito selecionando uma única resolução para fornecer uma separação adequada de cada um dos intrusos. Esta resolução pode ser qualquer uma das resoluções mostradas na tabela 5.4.4.1, ou uma combinação de resoluções com diferentes sentidos, para baixo e para cima, por exemplo, Do Not Climb e Do Not Descend. É possível que a resolução selecionada para determinado conflito não possa fornecer a separação vertical desejada para todos os intrusos. A versão 7 fornece novas capacidades

para a lógica de múltiplos conflitos para permitir que esta lógica utilize acréscimos nas razões de resolução e inversões de resolução para melhor resolver os conflitos (FAA, 2000).

Durante uma resolução, se a lógica CAS determinar que a resposta á uma resolução positiva (tabela 5.4.4.1) forneceu a separação vertical desejada para uma separação vertical antes do CPA, a resolução inicial será enfraquecida para uma resolução “Do Not Descent” (após uma resolução inicial de subida) ou uma resolução “Do Not Climb” (após uma resolução inicial de descida). Isto é feito para minimizar o deslocamento da altitude original da aeronave equipada com TCAS. Resoluções negativas não serão enfraquecidas e a resolução inicial será retida até o CPA a menos que seja necessário intensificar ou inverter o sentido da resolução (FAA, 2000).

O TCAS é projetado para inibir acréscimos nas resoluções de descida abaixo de 1450 pés AGL; Resoluções de descida abaixo de 1100 pés AGL; e todas as resoluções abaixo de 1000+/-100 pés AGL. Se uma resolução de descida estiver sendo mostrada no display, até a aeronave atingir 1100 pés AGL, a resolução será modificada para “Do Not Climb”.

Após ter passado o CPA e a distância entre a aeronave e a ameaça estiver aumentando, todas as resoluções são canceladas.

5.4.5 Coordenação TCAS/TCAS

Em um conflito TCAS/TCAS, cada aeronave transmite interrogações para a outra através do transponder modo S para assegurar a seleção dos RA's complementares por ambas as aeronaves. As interrogações coordenadas usam as mesmas frequências (1030/1090 MHz) usadas nas interrogações e respostas de vigilância e são transmitidas uma vez por segundo por cada aeronave para a duração do RA. As interrogações coordenadas contêm informação sobre o sentido pretendido da aeronave para solucionar o conflito com a outra aeronave equipada com TCAS. A informação é expressa na forma de um complemento na interrogação coordenada. Por exemplo, quando um avião seleciona uma resolução ascendente, transmitirá uma interrogação coordenada com a outra aeronave para evitar que a mesma selecione uma resolução descendente. A força da resolução descendente seria determinada pela aeronave ameaça baseada no conflito geométrico e na lógica de seleção de resolução (FAA, 2000).

A regra básica para a seleção do sentido em um conflito TCAS/TCAS é que cada TCAS deve checar se recebeu uma mensagem de intenção da outra aeronave antes de selecionar um sentido do RA. Se a mensagem de intenção foi recebida, o TCAS seleciona o sentido oposto ao selecionado pela outra aeronave e comunica através da interrogação coordenada. Se o TCAS não receber uma mensagem de intenção, a seleção do sentido é baseada na geometria do conflito da mesma maneira que seria feito se o intruso não fosse equipado com TCAS (FAA, 2000).

Na maioria dos conflitos TCAS/TCAS, cada uma das aeronaves declarará a outra como uma ameaça em tempo ligeiramente diferente. Nestes casos, a coordenação procede de maneira direta com a primeira aeronave que declarar a outra uma ameaça, selecionando seu sentido de resolução baseado na geometria do conflito, e transmitindo sua intenção à outra aeronave. Após um instante, a segunda aeronave declarará a outra como ameaça como uma ameaça, já tendo recebido a intenção da primeira aeronave, selecionará um sentido complementar de resolução. O sentido complementar selecionado será transmitido a outra aeronave em um interrogação coordenada (FAA, 2000).

Ocasionalmente, cada uma das duas aeronaves declara a outra como ameaça simultaneamente, e conseqüentemente, ambas as aeronaves selecionarão um sentido de resolução baseado na geometria do conflito. Nestes conflitos, existe a chance de ambas as aeronaves selecionarem o mesmo sentido. Quando isto acontece, a aeronave com o modo S mais preciso detectará a seleção do mesmo sentido e inverterá o sentido (FAA, 2000).

A versão 7 inclui a capacidade do TCAS em emitir resoluções reversas em conflitos coordenados se a geometria do conflito mudar após a resolução inicial ser emitida. A resoluções reversas em conflitos coordenados são anunciadas ao piloto da mesma maneira da resolução reversa contra um intruso sem TCAS. Em um conflito coordenado se a aeronave com o endereço modo S fraco tiver a versão 7 instalada, o endereço modo S fraco pode reverter o sentido da resolução inicial e efetuar a comunicação com o endereço modo S mais forte. Então o endereço modo S mais forte irá reverter a resolução mostrada (FAA, 2000).

Em um conflito coordenado poderá ser emitida apenas uma reversão de resolução baseada em mudanças na geometria do conflito. O sentido de resolução inicial não poderá ser recebido até que seja mostrado por pelo menos segundos, a menos que o a aeronave com o endereço modo S mais fraco tenha uma razão vertical maior que 2500 pés por minuto e

representar uma resolução contrária. Este atraso é incluído no projeto para permitir o tempo suficiente para as duas aeronaves iniciarem as respostas á resolução inicial (FAA, 2000).

5.4.6 Alerta de Orientação

A lógica do CAS também executa a função de ajuste de bandeiras que controlam os displays e os anunciadores aurais. O display de tráfego, o display de RA e os dispositivos aurais usam estas bandeiras para alertar o piloto da presença de um TA ou RA. Os anúncios aurais são inibidos abaixo de 500+/-100 pés AGL (FAA, 2000).

Os alertas aurais do TCAS são integrados com outro meio de alertas aurais disponível na aeronave. O método de prioridade estabelecido para estes alertas prioriza os alertas dos sistemas de detecção de tesoura de vento (windshear) e alerta de proximidade com o solo (GPWS), e após prioriza o alerta do TCAS. Os anúncios aurais do TCAS serão inibidos durante o tempo em que os alertas de windshear ou GPWS estiverem ativos (FAA, 2000).

5.4.7 Comunicação Ar/Solo

Usando a conexão de dados do modo S, o TCAS pode enviar os reportes de resolução para uma posição no solo com modo S. Estes reportes podem ser fornecidos através da frequência 1090 MHz em resposta à uma interrogação vinda do solo solicitando informação e também pode ser fornecida automaticamente usando o transmissor de 1030 MHz do TCAS (FAA, 2000).

Durante o tempo que um RA é mostrado, o TCAS gera automaticamente uma mensagem para enviar ao solo contendo informação da resolução que esta sendo mostrada à tripulação. Esta informação, também conhecida por RA Broadcast (RA via rádio), é fornecida quando é iniciada a emissão de um RA e quando o RA é atualizado. A informação é retransmitida a cada oito segundos usando o transmissor de frequência 1030 MHz. Ao final de um RA, uma indicação será fornecida ao solo que o RA já não esta sendo mostrado (FAA, 2000).

5.4.8 Display de Orientação de Tráfego (Traffic Advisory Display)

As funções do display de orientação de tráfego são para ajudar a tripulação a visualizar a aeronave intrusa; diferenciar a aeronave intrusa dos outros tráfegos; determinar a posição horizontal dos tráfegos; e fornecer confiabilidade ao desempenho do TCAS (FAA, 2000).

Os displays de orientação de tráfego foram instalados por diversas maneiras diferentes e com variação de níveis de flexibilidade. As exigências para os vários tipos de instalações dos displays de orientação de tráfego são documentadas no RTCA DO- 185A.

As exigências da versão 7 inibem os intrusos com uma altitude relativa maior que +/- 9900 pés se o piloto selecionar display de altitude relativa. Esta escala é a máxima possível, pois apenas dois dígitos estão disponíveis para indicar a altitude relativa (FAA, 2000).

5.4.9 Display de Orientação de Resolução (Resolution Advisory display)

O display de orientação de resolução é usado pelo TCAS para orientar o piloto como manobrar, ou não manobrar em alguns casos, para solucionar o conflito como determinado pela lógica do CAS. Exemplos dos diversos tipos de displays foram mostrados nas figuras 5.1.1.7, 5.1.1.8, 5.1.1.9 e 5.1.1.10. As exigências para os displays de orientação de resolução estão contidas no RTCA DO- 185A (FAA, 2000).

Para adaptar as limitações físicas em alguns displays de IVSI, a versão 7 não permite mostrar razões de resolução em que a razão vertical exceda 4400 pés por minuto. Por causa disto, a lógica modela um valor mínimo para a razão vertical da aeronave e 4400 pés se a razão de orientação de resolução for requerida; e seleciona o sentido que fornecer a melhor separação, mesmo que o sentido selecionado for o oposto da velocidade vertical existente (FAA, 2000).

5.4.10 Alertas Aurais

Sempre que a lógica do CAS emitir um TA ou um RA, um alerta de voz é emitido para assegurar que os pilotos estejam cientes que está sendo mostrada alguma informação nos displays de orientação de tráfego e orientação de resolução. Estes anúncios podem ser

fornecidos através de um falante instalado na cabine ou através dos painéis de áudio da aeronave, de modo que sejam ouvidos através dos headsets dos pilotos. A tabela 5.4.2 fornece uma lista de anúncios usados na versão 7 do TCAS, tanto quando os usados em outras versões. As mudanças incorporadas na versão 7 estão marcadas (FAA, 2000).

5.4.11 Monitoramento de Desempenho

O TCAS é equipado com um programa de monitoramento de desempenho que monitora continuamente e automaticamente a saúde e o desempenho do TCAS. O monitoramento de desempenho opera sempre que o TCAS esteja suprido de energia. Além disso, o monitoramento de desempenho inclui um teste comandado pelo piloto que inclui um teste expandido dos displays e anúncios aurais do TCAS. O monitor de desempenho também dá suporte aos diagnósticos de manutenção que são disponíveis ao pessoal da manutenção e engenharia enquanto a aeronave esta no solo (FAA, 2000).

O monitor de desempenho valida várias das entradas recebidas dos sistemas de outras aeronaves e valida o desempenho do processador do TCAS. Isto inclui a entrada dos dados de altitude pressão e a conexão do TCAS ao barramento de supressão da aeronave (FAA, 2000).

Quando o monitor de desempenho detecta anormalidades no desempenho do TCAS ou entradas inválidas de sistemas abordo, a falha é anunciada ao piloto. Se apropriado, todas ou uma parte das funções do TCAS podem ser desabilitadas ou inibidas. Se o monitor de desempenho desabilitar alguma capacidade do TCAS, continuará monitorando as outras funções e se for detectada uma falha, a operação total das capacidades será retomada (FAA, 2000).

TCAS Advisory	Version 7 Aural Annunciation	Existing Aural Annunciation
Traffic Advisory	Traffic, Traffic	Traffic, Traffic
Climb RA	Climb, Climb	Climb, Climb, Climb
Descend RA	Descend, Descend	Descend, Descend, Descend
Altitude Crossing Climb RA	Climb, Crossing Climb; Climb, Crossing Climb	Climb, Crossing Climb; Climb, Crossing Climb
Altitude Crossing Descend RA	Descend, Crossing Descend; Descend, Crossing Descend	Descend, Crossing Descend; Descend, Crossing Descend
Reduce Climb RA	Adjust Vertical Speed, Adjust	Reduce Climb, Reduce Climb
Reduce Descent RA	Adjust Vertical Speed, Adjust	Reduce Descent, Reduce Descent
RA Reversal to a Climb RA	Climb, Climb, NOW; Climb, Climb NOW	Climb, Climb, NOW; Climb, Climb NOW
RA Reversal to a Descend RA	Descend, Descend NOW; Descend, Descend NOW	Descend, Descend NOW; Descend, Descend NOW
Increase Climb RA	Increase Climb, Increase Climb	Increase Climb, Increase Climb
Increase Descent RA	Increase Descent, Increase Descent	Increase Descent, Increase Descent
Maintain Rate RA	Maintain Vertical Speed, Maintain	Monitor Vertical Speed
Altitude Crossing, Maintain Rate RA (Climb and Descend)	Maintain Vertical Speed, Crossing Maintain	Monitor Vertical Speed
Weakening of Initial RA	Adjust Vertical Speed, Adjust	Monitor Vertical Speed
Preventive RA (No change in vertical speed required)	Monitor Vertical Speed	Monitor Vertical Speed, Monitor Vertical Speed
RA Removed	Clear of Conflict	Clear of Conflict

Tabela 5.4.2 – Alertas aurais do TCAS

5.5 A OPERAÇÃO DO TCAS II

O uso operacional do TCAS II em todo o mundo durante os últimos 10 anos demonstrou a eficiência do sistema de alerta de colisão aérea. Durante este período de tempo, os procedimentos do uso do TCAS II têm sido desenvolvidos e refinados para assegurar que a operação do TCAS forneça proteção efetiva da aeronave sem ter afetos desnecessários nos controladores responsáveis pela separação das aeronaves. Estas práticas e procedimentos operacionais estão inclusas nos regulamentos do FAA, ICAO, e no Brasil nos regulamentos da ANAC, para fornecer a base do treinamento prático dos pilotos e controladores.

5.5.1 Regulamentos e Operação

Nos Estados Unidos as orientações para a operação do TCAS estão contidas na AC (Advisory Circular) 20- 155. Esta AC fornece as orientações necessárias para o desenvolvimento de programas de formação/treinamento de tripulação, procedimentos para

responder a uma orientação de resolução, uma lista de boas práticas operacionais, formas de fornecer entradas no desempenho do TCAS, e sugestões de fraseologia para ser usada quando for avisar os controladores de que está ocorrendo uma orientação de resolução.

As informações similares as contidas na AC 20- 155 estão incluídas nos anexos ICAO e outras documentações. A maioria dos países tem usado as informações dos anexos ICAO para desenvolver seus próprios requerimentos e procedimentos.

As orientações a respeito da operação do TCAS para os controladores estão contida no manual de controle de tráfego aéreo dos controladores (ATC Controllers Handbook) e em alguns documentos emitidos pelo FAA.

5.5.1.1 Responsabilidades dos Controladores

São responsabilidades do controlador:

Quando uma aeronave que está sob jurisdição do controle e informa que está respondendo a uma orientação de resolução do TCAS, o controlador não deve emitir instruções que forem contrárias a orientação em uso recebida pela tripulação. Prover alertas de segurança com relação ao terreno ou obstruções e orientação de tráfego para as aeronaves que estiverem respondendo a um RA e a todas as outras aeronaves sob sua jurisdição, como apropriado (IAC n° 02/02, 2002).

A menos que avisado por outras aeronaves que também estejam respondendo a um RA, não supor que outra aeronave próxima à outra aeronave que esteja respondendo a uma orientação esteja envolvida na manobra do RA ou esteja ciente das manobras pretendidas pela aeronave. Continuar fornecendo instruções de controle, alertas de segurança, e orientação de tráfego, de modo apropriado às aeronaves (IAC n° 02/02, 2002).

Quando a aeronave executando uma resposta a um RA iniciar uma manobra, o controlador não é responsável por fornecer uma separação padrão entre as aeronaves envolvidas com relação as próprias aeronaves, ao espaço aéreo, ao terreno, ou obstruções. A responsabilidade pela separação padrão resume-se a uma das seguintes circunstâncias (IAC n° 02/02, 2002):

1. A aeronave em resposta estiver retornando a sua altitude autorizada.

2. A tripulação informar ao controlador que a manobra do TCAS foi completada e ele observar que a separação padrão foi restabelecida.
3. A aeronave em resposta tiver executado uma autorização alternativa e o controlador observar que a separação padrão foi restabelecida.

5.5.1.2 Responsabilidades dos Pilotos

O objetivo das orientações do TCAS é o de ajudar os pilotos na busca ativa e na obtenção visual do tráfego com o qual poderia entrar em conflito para evitar possíveis colisões. Os pilotos utilizarão as orientações geradas pelo TCAS, de acordo com as seguintes considerações, com respeito à segurança (IAC nº 02/02, 2002):

- Os pilotos não realizarão nenhuma manobra com suas aeronaves pelo simples motivo de responder a orientações de tráfego;

Nota 1. – O objetivo das orientações de tráfego é o de ajudar na obtenção visual do tráfego com o qual poderia entrar em conflito e alertar os pilotos com respeito à possibilidade de uma orientação de resolução.

Nota 2. – Foi incorporada a restrição mencionada com respeito ao uso das orientações de tráfego pelo fato de que a precisão de marcação é limitada e pela dificuldade de interpretar uma mudança de altitude a partir da informação sobre o tráfego apresentado no display.

- Caso uma orientação de resolução leve a alterar a trajetória de vôo, na busca do tráfego com qual poderá entrar em conflito, deverá ser realizada uma verificação visual do espaço aéreo onde será manobrada a própria aeronave equipada com TCAS.
- A modificação da trajetória de vôo estará limitada ao mínimo necessário para serem cumpridas as orientações de resolução; e
- Os pilotos que se desviarem do indicado nas instruções ou autorizações do controle de tráfego aéreo para responderem a uma orientação de resolução voltarão prontamente a ater-se aos termos das referidas instruções ou autorizações, uma vez que o conflito esteja resolvido. Neste caso, os pilotos

deverão notificar o órgão ATC responsável, tão logo seja possível, a respeito das circunstâncias do desvio efetuado, indicando em que sentido foi efetuado e quando terminou.

5.5.1.3 Fraseologia

Foi desenvolvida uma fraseologia específica para situações envolvendo o TCAS. Ela é clara, simples, concisa e com a máxima isenção de ambigüidade a fim de não causar confusão no entendimento durante a operação. A fraseologia fornece ainda (IAC nº 02/02, 2002):

- Os meios para assegurar que o piloto e os controladores tenham, sempre que possível, um entendimento claro e mútuo do progresso de uma manobra RA do TCAS; e
- Os meios para delinear o ponto em que a responsabilidade para a separação de aeronave diretamente afetada por uma manobra do RA é transferida do controlador para o piloto e, ao completar a manobra, do piloto de volta para o controlador.

Sempre que um RA requerer o desvio de uma autorização/instrução do ATC, os pilotos devem tão logo que possível, reportar ao controlador a direção do RA. Não há exigência para que o piloto dê esta informação ao controlador antes de responder a um RA.

Durante uma manobra em resposta a um RA, o piloto deve notificar os órgãos ATS utilizando a fraseologia padronizada prevista na ICA 100-12¹.

¹ DOCUMENTO QUE SE TRATA DAS REGRAS DO AR E DOS SERVIÇOS TRÁFEGO AÉREO.

Situation	Phraseology
Responding to an RA	“TCAS Climb” or “TCAS Descend”
Initial RA report issued after RA is completed	“TCAS Climb (or descent), returning to [assigned clearance]”
Initial RA report issued after returning to assigned clearance	“TCAS Climb (or descent) completed, [assigned clearance] resumed”
Unable to follow a newly issued clearance because of an RA	“Unable to comply, TCAS resolution advisory”
Controller acknowledgement of any TCAS report	No specific phraseology is defined

Tabela 5.5.1.3.1 – Fraseologia recomendada para reportar RA’s

5.5.2 Programas de Formação

5.5.2.1 Formação de Pilotos

O TCAS é planejado para servir como auxílio visual para se evitar uma colisão aérea quando a aplicação das regras de direito-de-passageiro e os mínimos de separação utilizados pelo ATC forem infringidos. Para total eficácia, respostas oportunas e confiáveis do piloto as orientações do TCAS são essenciais. As respostas demoradas da tripulação de voo ou a relutância de um piloto em cumprir as instruções de um RA podem diminuir significativamente ou anular a proteção do TCAS. Para proporcionar aos pilotos o conhecimento e a familiaridade necessária para responder como desejado, é imprescindível que seja fornecida uma formação TCAS a todos os pilotos antes do uso do sistema. Para que a formação seja adequada, deverão ser fornecidos os seguintes tipos de instrução aos pilotos com relação ao sistema TCAS (IAC nº 02/02, 2002):

- Formação acadêmica TCAS – trata do conhecimento necessário dos conceitos, sistemas e procedimentos do TCAS para a tripulação de voo.

- Treinamento de manobras TCAS – desenvolve as habilidades necessárias do piloto para responder adequadamente aos avisos do TCAS.
- Avaliação inicial TCAS – avalia a capacidade de cada piloto para usar adequadamente o TCAS.
- Qualificação periódica TCAS – mantém o conhecimento e habilidade adequados para o TCAS.

5.5.2.1.1 *Formação Acadêmica TCAS*

A Formação acadêmica objetiva cobrir a teoria do sistema TCAS de forma global, incluindo (IAC n° 02/02, 2002):

- A operação básica da lógica TCAS;
- Os conceitos do ponto mais próximo de aproximação (CPA), o tempo para o CPA e os limites da distância vertical para a emissão de RA corretivos e preventivos;
- A capacidade do TCAS para modificar os avisos durante uma projeção de encontro;
- O significado de TA e RA, taxa de aumento dos RA, reversões dos RA, os RA de cruzamento de altitude e os RA debilitados; a proteção fornecida pelo TCAS contra os intrusos que reportam a altitude e os que não reportam a altitude;
- A proteção que o TCAS provê em projeções de encontros de múltiplas aeronaves;
- O conceito de coordenação TCAS/TCAS;
- Os impactos potenciais por não seguir os RA; e
- A aplicabilidade continuada para ver e evitar conflitos.

A formação acadêmica objetiva também explicar (IAC n° 02/02, 2002):

- A resposta normal do piloto esperada para os TA e RA;
- As distâncias verticais que podem ser esperadas ao responder a um RA;

- A magnitude que os desvios de altitude que podem resultar;
- As responsabilidades do piloto com respeito a retornar prontamente à autorização do ATC a menos que uma nova autorização seja emitida;
- A necessidade de informar ao controlador, tão logo possível, uma manobra em resposta a um RA; e
- O uso de informações de tráfego exibidas para a obtenção visual da aeronave ameaçadora.

A formação objetiva também tratar das limitações do TCAS. Essas limitações incluem:

- A incapacidade do TCAS de detectar as aeronaves não equipadas com “transponder”;
- A incapacidade do TCAS de emitir RA contra os intrusos que não reportam a altitude;
- A capacidade do TCAS de inibir os RA abaixo de 300 m (1000 pés) AGL; e
- A capacidade do TCAS de inibir a subida e aumentar o RA de subida em algumas altitudes devido a limitações do desempenho da aeronave.

Outros tópicos da formação devem incluir o seguinte:

- Comunicação e coordenação com ATC seguindo um RA e a fraseologia a ser usada para notificar o ATC;
- Terminologia TCAS, simbologia exibida, modos de operação, controles operacionais e características exibidas, inclusive quaisquer itens próprios à implementação de um equipamento específico TCAS;
- Interfaces e compatibilidade com outros sistemas da aeronave, inclusive o papel do “transponder” de Modo S na coordenação TCAS/TCAS; interfaces do sistema de instrumento de voo eletrônico ou do radar meteorológico; priorização do cortante de vento e do GPWS em relação ao TCAS;
- Revisões do manual de voo de aeronave, resultante da introdução do TCAS; e
- Listagem mínima de equipamentos e provisões operacionais.

5.5.2.1.2 *Treinamento de Manobras TCAS*

Além da formação acadêmica descrita, é necessário o treinamento apropriado de manobra para assegurar o uso dos procedimentos de resposta as orientações do TCAS. Como um mínimo, o treinamento de manobra TCAS deve expor o piloto às geometrias de projeção de conflito que (IAC n° 02/02, 2002):

- Envolver duas aeronaves niveladas;
- Um intruso com razão vertical;
- Uma aeronave equipada com TCAS com razão vertical;
- Geometria de aproximação paralela; e
- Projeções de encontros múltiplos de aeronaves.

Particular ênfase é exigida na correta avaliação dos “displays”, anúncios aurais e velocidades verticais requeridas pelo TCAS, nos desvios minimizados da autorização original e no reconhecimento das modificações do RA inicial (IAC n° 02/02, 2002).

Esse treinamento pode ser melhor conduzido utilizando simuladores de voo equipados com TCAS, instruções simuladas em computador ou outros meios equivalentes que possam representar o cenário TCAS e requerer prontas respostas do piloto (IAC n° 02/02, 2002).

5.5.2.1.3 *Avaliação Inicial do Conhecimento do TCAS e Procedimentos*

Os conhecimentos individuais do piloto sobre o TCAS e os procedimentos apropriados necessitam ser avaliados antes do uso operacional do TCAS. Os meios aceitáveis de avaliação inicial incluem o seguinte (IAC n° 02/02, 2002):

- Avaliação utilizando um simulador ou dispositivo de treinamento capaz de moldar as projeções de conflito do TCAS, as respostas do TCAS e a interação do piloto;
- Avaliação em relação à operação adequada do sistema nos vôos de treinamento; e

- Testes baseados em computador onde os cenários e respostas previstas do TCAS são representados, sendo verificado se os procedimentos realizados pelos pilotos (alunos) são adequados à operação do TCAS.

5.5.2.1.4 Treinamento Periódico

O treinamento periódico do TCAS pode ser integrado a/ou conduzido em conjunto com outros programas de treinamento periódicos estabelecidos (IAC nº 02/02, 2002).

5.5.2.2 Formação de Controladores

A introdução do TCAS resultou em algum impacto nos procedimentos que os controladores atualmente usam para controlar e separar o tráfego aéreo. Em alguns países, foi expressa uma significativa preocupação pelos controladores de tráfego aéreo em função do impacto que o TCAS tem tido sobre sua carga de trabalho e sobre seu desempenho em certos cenários de voo e projeções geométricas de conflitos. Com base na experiência obtida na condução das avaliações operacionais do TCAS, realizadas em diversos países, tornou-se aparente que muitos controladores não tiveram informação suficiente sobre como o TCAS funcionava, bem como a respeito do objetivo pretendido do seu uso no espaço aéreo (IAC nº 02/02, 2002).

Embora o piloto operando uma aeronave equipada com TCAS deva ter recebido treinamento na operação do sistema, na interpretação das informações exibidas pelo TCAS e na própria resposta aos TA's e RA's apresentados, experiências têm mostrado que nem todos os pilotos responderão de modo idêntico a um mesmo conflito TCAS. Como resultado, os controladores podem esperar algumas variações nas respostas dos pilotos. Apesar dessas variações, é importante para o controlador estar ciente dos tipos de informações fornecidas ao piloto pelo TCAS e as orientações fornecidas aos pilotos durante sua formação TCAS (IAC nº 02/02, 2002).

Quando um TA é emitido, os pilotos são instruídos a iniciar uma busca visual do tráfego que está causando o TA. Se o tráfego já tiver sido visualizado, os pilotos são instruídos a manter separação visual com o tráfego. A formação indica também que nenhuma

manobra será executada somente com a informação do TA ou outras informações mostradas no 'display' de tráfego (IAC n° 02/02, 2002).

Quando um RA é emitido, espera-se que os pilotos respondam imediatamente ao RA, a menos que agindo assim arriscariam a operação segura do vôo. Isso significa que a aeronave poderia manobrar contrariamente ou em desatenção às instruções do ATC. Espera-se que os pilotos retornem prontamente à presente autorização do ATC quando o RA for atendido. Os seguintes pontos são também enfatizados nos programas de formação TCAS do piloto (IAC n° 02/02, 2002):

- Não efetue manobra em direção oposta àquela indicada pelo RA, já que o intruso pode também estar respondendo a um RA coordenado;
- Esteja alerta para o cancelamento dos RA ou um enfraquecimento do RA, de modo que desvios da altitude autorizada possam ser minimizados;
- Se for possível cumprir uma autorização do controle de tráfego aéreo e responder a um RA ao mesmo tempo, faça-o (por exemplo: autorizado a efetuar uma curva para interceptar uma aerovia ou trajetória de aproximação IFR e necessitando responder a um RA ao mesmo tempo);
- Retorne para a autorização em curso, tão logo seja possível depois que o RA for cancelado, ou siga quaisquer autorizações revisadas emitidas pelo Controle após o RA ser completado; e
- Informe ao Controle sobre a manobra em resposta ao RA tão logo seja possível. Não há exigência para que seja feita essa notificação antes de ser iniciada a resposta do RA.

Quando um piloto reportar uma manobra realizada em resposta a um RA do TCAS, o controlador de tráfego aéreo não deverá modificar a trajetória de vôo da aeronave até que o piloto tenha reportado que está retornando aos termos das instruções ou autorizações em vigor emitidas pelo controle de tráfego aéreo. Entretanto os controladores de tráfego aéreo devem continuar a fornecer informações de tráfego, de acordo com seus procedimentos existentes enquanto uma manobra realizada em resposta a um RA do TCAS estiver em ocorrendo (IAC n° 02/02, 2002).

Os controladores de tráfego aéreo devem estar cientes de que o uso do TCAS pelos pilotos não altera suas responsabilidades para a emissão das autorizações/instruções ATC em relação à separação das aeronaves, bem como não altera a obrigação dos pilotos de seguirem as autorizações/instruções ATC quando um RA não é emitido. Durante o tempo em que uma aeronave se desvia da autorização/instrução do ATC em cumprimento a um RA, o controlador de tráfego aéreo deixa de ser responsável pela provisão da separação padrão entre essa aeronave (realizando manobra em resposta a um RA do TCAS) e aquela afetada como consequência direta daquele RA (IAC n° 02/02, 2002).

Vários países têm conduzido avaliações operacionais a fim de calcular os impactos das operações do TCAS nos seus espaços aéreos e nos ATS. A experiência adquirida durante essas avaliações trouxe algumas informações que podem ser úteis para todos os controladores e pilotos (IAC n° 02/02, 2002).

Essas avaliações foram realizadas, verificando-se, na prática, a operacionalidade das versões anteriores da lógica do TCAS e, assim, diversas notificações visando à melhoria operacional do sistema TCAS foram geradas. A lógica atualmente presente no TCAS contém melhorias para lidar com muitos dos antigos óbices operacionais, identificados durante as avaliações mencionadas. Entretanto há a permanência de um número limitado de óbices operacionais que os controladores e pilotos necessitam estar cientes antes de operarem o TCAS (IAC n° 02/02, 2002).

A resposta a um RA do TCAS pode resultar na perda da separação ATC padrão com o intruso ou uma terceira aeronave, causando outro RA. Considerando que o TCAS não está atento aos padrões de separação ATC e não sabe quando uma perda de separação ocorre, é provável que esses tipos de conflitos continuarão a ocorrer no futuro previsível. Se uma terceira aeronave se tornar uma ameaça enquanto o RA está ocorrendo, o RA inicial será modificado para prover uma distância vertical de ambas as aeronaves. Porém, por causa dos limites usados pelo TCAS, essa modificação provavelmente não ocorrerá antes da separação ATC ser perdida (IAC n° 02/02, 2002).

Em certas projeções geométricas de conflito, o TCAS emitirá um RA que requer que o piloto cruze pela altitude do intruso enquanto estiver respondendo ao RA. Esse tipo de RA é necessário em algumas projeções geométricas de conflito, a fim de prover a distância vertical desejada no CPA. Em alguns encontros coordenados onde uma aeronave com TCAS está

subindo e a outra está descendo, as manobras de cruzamento de altitude podem ser emitidas para ambas as aeronaves. Considerando que as manobras de cruzamento de altitude muito próximas a outra aeronave não são desejáveis, a lógica do TCAS contém várias tendências contra a emissão de RA que levem a esse cruzamento de altitude. Apesar dessas tendências, há ainda projeções geométricas de conflitos que podem ser resolvidas pela aeronave com TCAS através do cruzamento da altitude do intruso (IAC nº 02/02, 2002).

O TCAS faz um estimado da distância vertical que ocorrerá no CPA, utilizando a informação de altitude fornecida pela própria aeronave e as respostas do Modo C de outra aeronave. Considerando que o TCAS pode detectar e suprimir erros espúrios de curto prazo nas respostas do Modo C, não existem técnicas que permitam detectar um erro de tendência constante ou de descalibramento do Modo C. Assim o TCAS aceitará as respostas do Modo C que estão erradas e é possível a emissão de um RA baseado nessas inserções (IAC nº 02/02, 2002).

Caso exista um Sistema de Alerta de Conflito de Curto Prazo no órgão ATC é importante que os controladores de tráfego aéreo estejam cientes que os limites dos RA do TCAS foram desenvolvidos independentemente deste Sistema e, assim, os limites do TCAS podem ser diferentes daqueles do STCA. Devido às diferenças nos limites entre o TCAS e o STCA, bem como a não padronização dos Sistemas de Alerta de Conflito de Curto Prazo, poderá existir casos em que o STCA é ativado antes do RA do TCAS, assim como, poderá existir casos em que o RA do TCAS precede a ativação do STCA. Geralmente, o STCA será ativado antes da emissão de um RA (IAC nº 02/02, 2002).

5.5.3 Considerações Operacionais

Os pilotos devem utilizar os TA, tentando estabelecer contato visual com a aeronave intrusa e quaisquer outras aeronaves que possam estar na vizinhança. Nos locais onde não for prestado o ATC, os pilotos precisam coordenar qualquer manobra, o máximo que possível, com os membros da outra tripulação para ajudar na busca visual do tráfego e, quando o tráfego é visualmente alcançado, os pilotos devem continuar a manter ou atingir a separação segura do tráfego, utilizando as regras padrões de direito de passagem.

Quando ocorrer um RA, espera-se que o piloto responda imediatamente, com atenção ao “display” do RA, manobrando como indicado, a menos que, assim fazendo, ponha em

risco a operação segura do voo. É muito importante que os pilotos entendam as complicações potenciais de não cumprirem um RA:

- O ATC pode não estar provendo serviço de separação à aeronave que causa o RA;
- A aeronave observada visualmente pode não ser necessariamente aquela que está causando o RA ou a única aeronave para a qual o TCAS está emitindo o RA;
- Manobras baseadas somente em observação visual podem não ser confiáveis para assegurar uma separação adequada; e
- A distância alcançada pode ser menor do que a desejada como resultado do intruso cumprir com seu RA complementar; ou as duas aeronaves podem experimentar excessivas variações de altitude num cenário de perseguição vertical que se desenvolve como consequência de ambas as aeronaves manobrem na mesma direção vertical.

O excesso de respostas aos RA não são desejáveis ou apropriadas e tendem somente a aumentar a possibilidade de interferência com o outro tráfego e exagerar desnecessariamente quaisquer afastamentos das autorizações do ATC.

Espera-se que, quando for possível responder a um RA e continuar a satisfazer a uma autorização ao mesmo tempo, os pilotos assim o façam. Por exemplo, espera-se que os pilotos respondam a um RA de descida enquanto continuam a satisfazer uma autorização do ATC para curvar ou interceptar um procedimento de aproximação IFR. Entretanto, se o RA estiver conflitando com autorização do ATC, espera-se que os pilotos respondam imediatamente ao RA.

Se um RA exigir uma manobra contrária às regras do direito-de-passage ou a outros critérios regulamentares, espera-se que os pilotos sigam o RA para solucionar o conflito de tráfego de imediato, a menos que, agindo assim, arrisquem a operação segura do voo. Espera-se que o desvio das regras, instruções ou autorizações sejam mantidos ao mínimo possível para satisfazer o RA.

Se a resposta do RA requerer desvio de uma autorização do ATC, espera-se que os pilotos retornem prontamente à presente autorização, quando o conflito de tráfego for resolvido ou sigam qualquer mudança subsequente para a autorização original emitida pelo

controlador. Se a resposta do RA requerer um desvio da autorização, espera-se que seja realizada a comunicação com o órgão ATC tão logo possível depois de responder ao RA.

Se uma manobra do RA for contrária às outras advertências críticas automatizadas de cabina, então essas outras advertências devem ser priorizadas antes de realizar a manobra TCAS. Os alertas do sistema de advertência de proximidade com o solo, cortante de vento e advertência de estolagem têm precedência sobre um RA do TCAS.

Espera-se que os pilotos operem o TCAS em todos os espaços aéreos e em todas as condições meteorológicas, desde que não haja restrições previstas para a sua operação no espaço aéreo que está sendo utilizado.

5.5.4 Testes de TCAS/Transponder no solo

Dado que o processamento que o computador TCAS II das aeronaves em voo efetua para cálculo de TA/RA tem por base as respostas que recebe dos Transponders operacionais na sua vizinhança, a quando da realização de testes no solo, também as respostas destes equipamentos serão recebidas e processadas.

Existe a possibilidade de, na seqüência do processamento da resposta efetuada pelo TCAS II da aeronave em voo, o equipamento em testes ser considerado potencialmente interferente, dando origem a TA/RA, caso se manipulem os valores da altitude a montante do Transponder, sendo estes valores reportados por este equipamento.

Quanto maior for a densidade de tráfego aéreo na zona onde estão a ser efetuados os testes, maior a probabilidade de interferência.

O Transponder em funcionamento normal no solo não interferirá dado que a lógica interna dos TCAS II irá declarar a aeronave no solo.

Existem reportes de situações de TAs e RAs emitidos por TCAS de aeronaves em voo, e comprovadamente causados por tráfego 'fictício' levando, nos casos de RAs, à execução das respectivas manobras. Nalgumas situações reportadas, os ecos deste tráfego 'fictício' aparecem também nos radares do ATC, sendo possível verificar uma abrupta variação da sua altitude, incompatível com as performances de qualquer aeronave. No entanto, e pela própria

localização no solo dos radares do ATC, é mais freqüente a detecção do tráfego apenas pelo TCAS das aeronaves em vôo, não existindo qualquer eco no radar do ATC.

As organizações de manutenção de aeronaves envolvidas nestes testes, e em particular todo o pessoal que neles participa, deverão ter presente a possibilidade deste tipo de ocorrências, devendo adotar procedimentos e precauções que minimizem a sua probabilidade.

Assim, deverão ser tomadas medidas quando da realização de testes no solo aos equipamentos TCAS e Transponder, como forma de reduzir a probabilidade de interferência com as aeronaves equipadas com TCAS em operação ou com o ATC:

- Seguir sempre os procedimentos indicados pelos fabricantes dos equipamentos. Para além disso, as organizações de manutenção de aeronaves envolvidas nestes testes deverão estabelecer os seus próprios procedimentos e metodologias para a sua realização, demonstrando conhecimento do tipo de ocorrências que poderão provocar e a forma como pretendem minimizar a sua probabilidade.
- Não colocar no *Transponder* em teste os códigos reservados para utilizações específicas (7500, 7600, 7700 e 7777).
- Avisar o ATC antes e no final dos testes, sempre que se suspeite que pela localização ou tipo de ensaios a efetuar existe possibilidade de interferência com aeronaves em vôo.
- Colocar sempre que possível o *Transponder* em ‘OFF’ ou ‘STANDBY’, nomeadamente antes do início dos testes, no seu final, e no intervalo entre testes.
- Testes a outros sistemas que requeiram uma simulação de altitude (por exemplo através da aplicação de pressão às tomadas de estática), deverão ser efectuados sempre que possível com o *Transponder* em ‘OFF’ ou ‘STAND-BY’.
- Sempre que possível os testes deverão ser efectuados no interior de um hangar de forma a atenuar a potência radiada para o exterior.
- Sempre que possível colocar atenuadores nas antenas, de forma a atenuar a potência radiada.

- Sempre que for interrogado o *transponder* de uma aeronave em ensaios através de um equipamento *ramp test* exterior, ligá-lo diretamente à(s) antena(s) da aeronave através de um atenuador, e não deixando as antenas radiar livremente.
- Ensaios em bancada deverão ser feitos utilizando um equipamento de teste adaptado na saída do *transponder*, e não através da sua ligação a uma antena emissora.
- Não utilizar uma antena remotamente localizada, para a simulação da operação TCAS.

6 REGULAMENTOS

O TCAS é válido para vôos em qualquer espaço aéreo. No Brasil é mandatório o regulamento da ANAC, o RBHA, que segue os anexos ICAO. No mundo todo o TCAS II é obrigatório a determinados vôos, alguns países com regulamentos mais restritivos e outros um pouco menos, como mostrado na tabela 6.1.

O TCAS II versão 6.04 A é operacionalmente inadequado ao vôo no espaço aéreo RVSM. Para adequar-se às necessidades do espaço aéreo RVSM, no TCAS II, versão 7.0, foi modificada a faixa de altitude correspondente ao FL200-FL300 da versão anterior para FL200-FL420 e adotados os seguintes novos parâmetros para essa faixa:

	TA		RA		
	TEMPO LIMITE	ALTITUDE LIMITE	TEMPO LIMITE	ALTITUDE LIMITE	PERDA VERTICAL
TCAS II V 6.04A	48 s	1200 ft	35 s	800 ft	700 ft
TCAS II V 7.0	48 s	850 ft	35 s	700ft	600 ft

Tabela 6.1 – Operações no espaço aéreo RVSM

Com esses parâmetros, a operação do TCAS II, versão 7.0, no espaço aéreo RVSM (FL 290-410) ficou caracterizada conforme as figuras apresentadas a seguir.

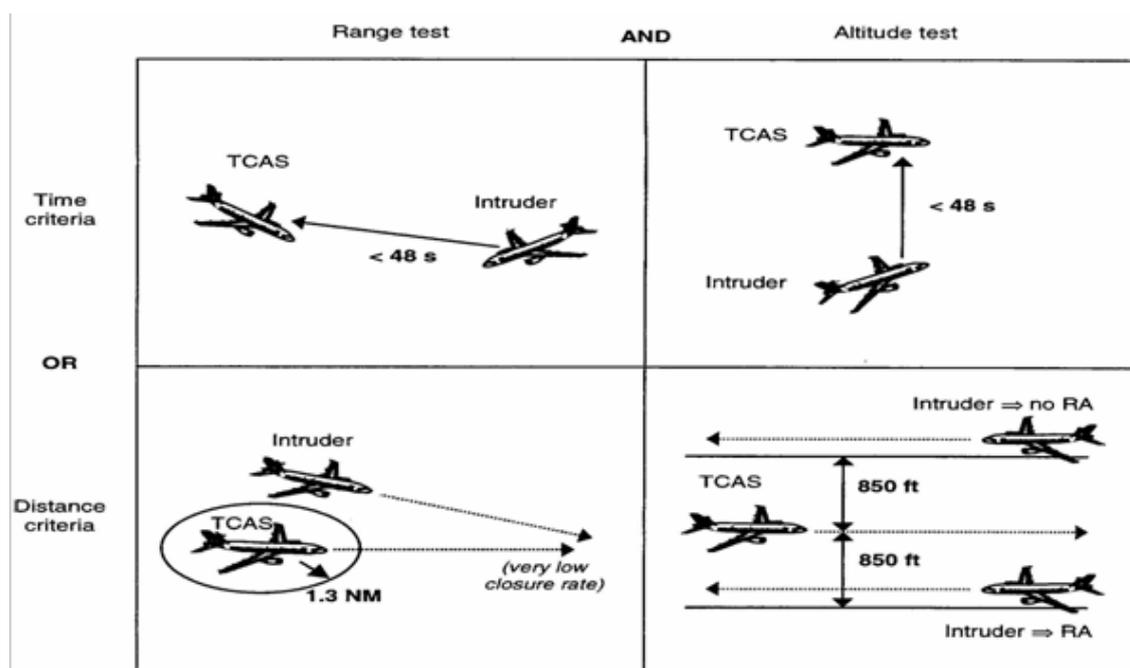


Figura 6.1 - Emissão de TAs pelo TCAS II, versão 7.0, no espaço aéreo RVSM

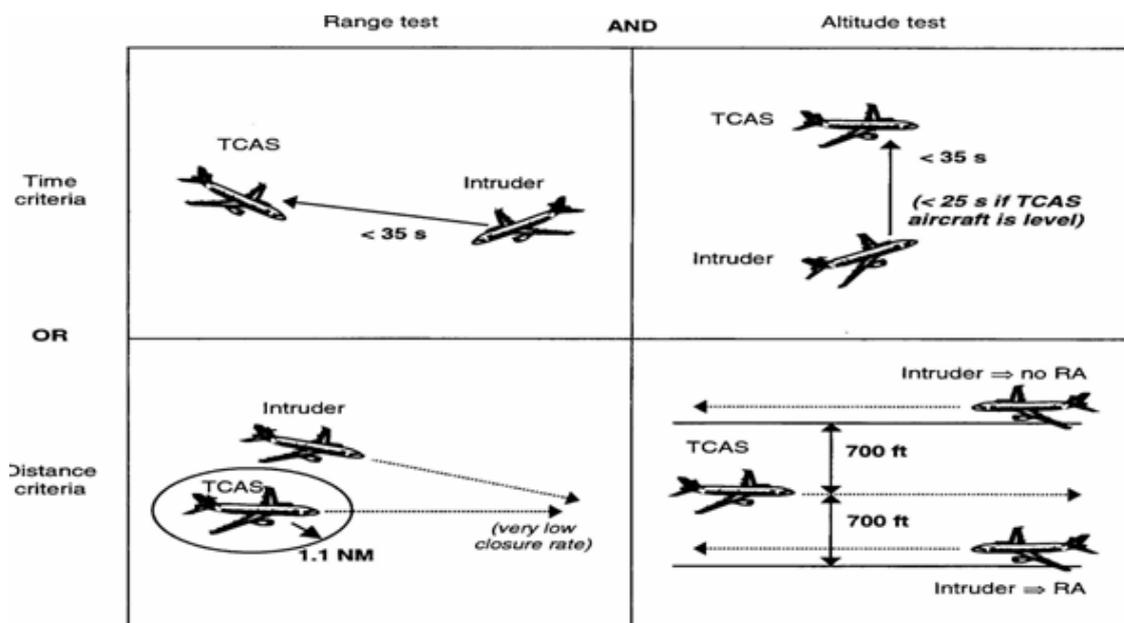


Figura 6.2 - Emissão de RAs pelo TCAS II, versão 7.0, no espaço aéreo RVSM

Estima-se que o TCAS II, v 6.04a, no espaço aéreo RVSM, emita o dobro de RAs em relação ao TCAS II v 7.0.

6.1 DESVIOS VERTICAIS

Uma aeronave aprovada RVSM pode ter um desvio de até 65 pés do FL ATZD. A aeronave tem a capacidade de reportar sua altitude (Modo C ou S) com precisão de 25 pés ou 100 pés. Já a aeronave com TCAS II pode superestimar os desvios de altitude, isto é, 75pés ou 100pés ao invés de 65 pés. Assim o computador de bordo fornece o valor preciso (sem arredondamentos) para o TCAS da sua aeronave.

Intruso com precisão altimétrica de 100 pés:

- O intruso é visto com um desvio de 100 pés, caso o desvio real for maior ou igual 51 pés;
- A altitude da própria aeronave pode ser fornecida para o TCAS de bordo com um desvio de até 65 pés;
- O desvio combinado poderá ser de 100 pés (intruso) + 65 pés (própria aeronave) = 165 pés;

- Um desvio combinado de 150 pés é suficiente para gerar um TA (limite vertical 850 pés);

Nota: O TA será emitido quando ambas as aeronaves possuírem um desvio maior ou igual a 51 pés.

- Um desvio combinado de 300 pés é suficiente para gerar um RA (limite vertical 700 pés).

Nota: Neste caso, o RA não será emitido.

Intruso com precisão altimétrica de 100 pés:

- O intruso é visto com um desvio de 75 pés, caso o desvio real for maior ou igual a 63 pés;
- Nesse caso, o desvio combinado poderá ser de 75 pés (intruso) + 65 (própria aeronave) = 140 pés;
- A altitude entre aeronaves vista pelo TCAS não será menor que 860 pés.

Nota: Nenhum tipo de aviso será emitido pelo TCAS.

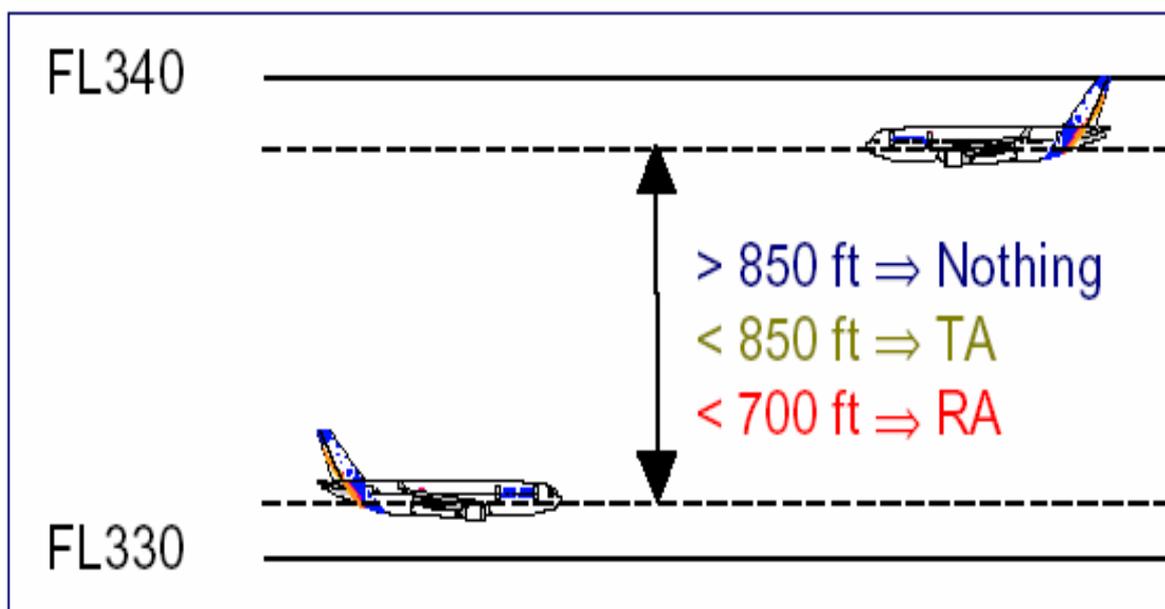


Figura 6.1.1 - Aeronaves em níveis adjacentes apresentando desvios verticais

Os TAs emitidos pelo TCAS II versão 7.0, devido aos desvios verticais de altitude são raros, pois é necessário que ocorra, simultaneamente:

- Dois desvios verticais ≥ 51 pés; e
- A aeronave intrusa reporte sua altitude com precisão de 100 pés.

Caso um TA seja emitido, não haverá ação a ser tomada pelo controlador, tendo em vista que não é previsto o reporte de TAs pelos pilotos.

6.2 OSCILAÇÕES

Aeronave aprovada RVSM pode oscilar até 65 pés de amplitude. Como esta configuração é muito similar ao desvio vertical, poderão ser aplicados os parâmetros mencionados na análise desses eventos. Dessa forma, os TAs emitidos pelo TCAS II versão 7.0, devido às oscilações verticais de altitude são raros, pois é necessário que ocorra, simultaneamente:

- Duas oscilações simultâneas opostas ≥ 51 pés; e
- A aeronave intrusa reporte sua altitude com precisão de 100 ft.

Caso um TA seja emitido, não haverá ação a ser tomada pelo controlador, tendo em vista que não é previsto o reporte de TAs pelos pilotos.

Acima do FL 290, TCAS II versão 6.04a emitirá TAs entre aeronaves separadas por 1000 pés com ou sem oscilações de altitude.

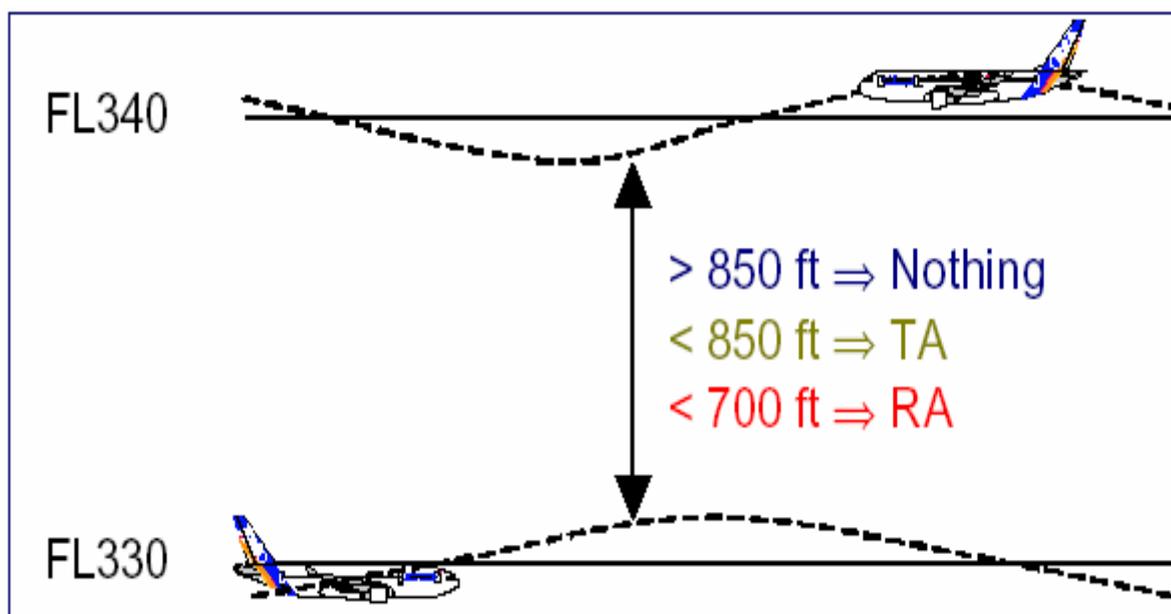


Figura 6.2.1 - Aeronaves em níveis adjacentes oscilando verticalmente

6.3 TURBULÊNCIA

O TCAS II detecta uma configuração com alta razão de aproximação vertical. Caso o tempo estimado para o encontro for:

- Menor que o tempo limite para emissão de TA e RA;

Nota: Um RA instantâneo será emitido.

- Somente menor que o tempo limite para emissão de TA.

Nota: Um TA será emitido.

Esses eventos são raros e não há reportes dos mesmos no espaço aéreo brasileiro.

Caso o controlador seja informado de uma manobra em resposta a esse tipo de RA, deverão ser aplicados os procedimentos previstos para o ATC em relação aos eventos TCAS.

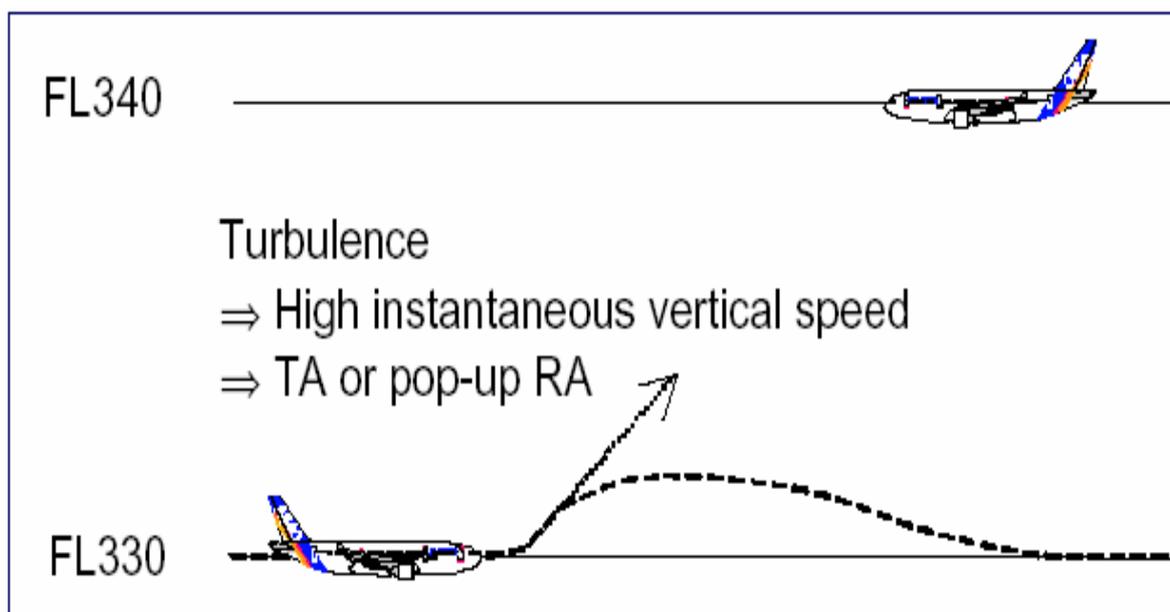


Figura 6.3.1 - Uma aeronave desvia em direção a outra aeronave que voa no nível adjacente

6.4 NIVELAMENTO COM 1000 PÉS DE SEPARAÇÃO VERTICAL

O TCAS II não tem conhecimento da intenção da própria aeronave e do intruso. Então o sistema assume que a projeção atual será mantida.

Exemplo 1 (TCAS II, versão 7.0):

O TCAS II da aeronave que desce emite um TA e um RA.

O TCAS II da aeronave nivelada emite somente um TA.

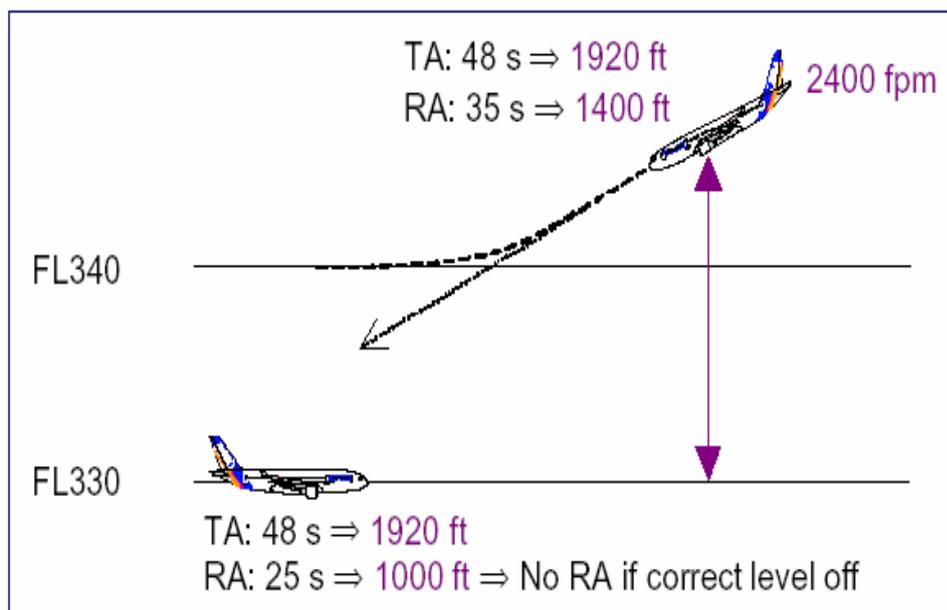


Figura 6.4.1 – Nivelamento com mil pés de separação vertical

Exemplo 2 (TCAS II, versão 7.0):

Neste caso, o RA será emitido 200 pés abaixo do nível autorizado da aeronave que está em procedimento de subida.

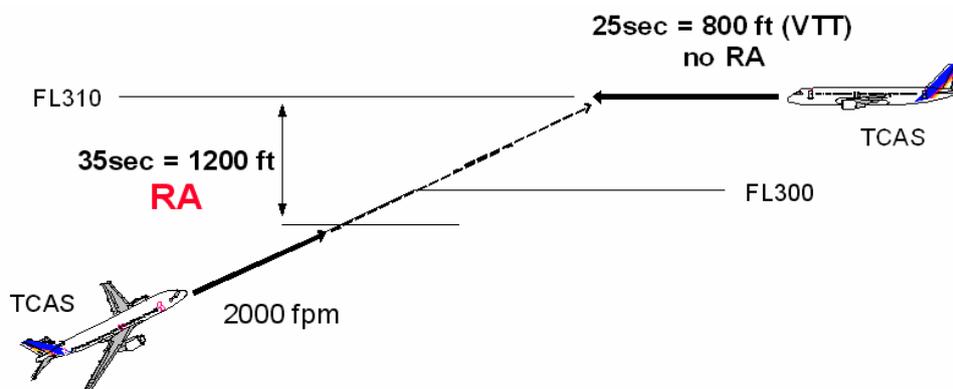


Figura 6.4.2 - Nivelamento com mil pés de separação vertical 2

A maioria dos RAs emitidos durante o nívelamento de aeronaves separadas de 1000 pés ocorrem em baixas altitudes, entre os FL 100 e FL 150, devido ao desempenho de subida das aeronaves modernas. Os RAs emitidos durante o nívelamento de aeronaves separadas de 1000 pés são menos freqüentes acima do FL 300, devido as baixas razões verticais empregadas.

O TCAS II versão 7.0 tenta evitar os “CLIMB RAs” para aeronaves em manobra de descida (e vice-versa). O emprego, nos 1000 pés antes do nível de vôo autorizado, da razão vertical de 1000 pés por minuto deverá evitar a emissão desses RAs e minimizar o número de TAs.

6.5 ENCONTROS COM BAIXA RAZÃO DE APROXIMAÇÃO

Para baixas razões de aproximação, o teste de distância está baseado nas distâncias de proteção 1.3 milhas náuticas para TAs, e 1.1 milhas náuticas para RAs, conforme mostrado nas tabelas 3.1.1 e nas figuras 5.3.2.3. Esses avisos serão emitidos durante o tempo que a aeronave intrusa estiver dentro das distâncias de proteção mencionadas.

O TCAS II, versão 7.0, possui mecanismos para permitir que esses avisos terminem, mesmo que as aeronaves ainda estejam dentro da área de proteção, quando as mesmas possuem trajetórias divergentes.

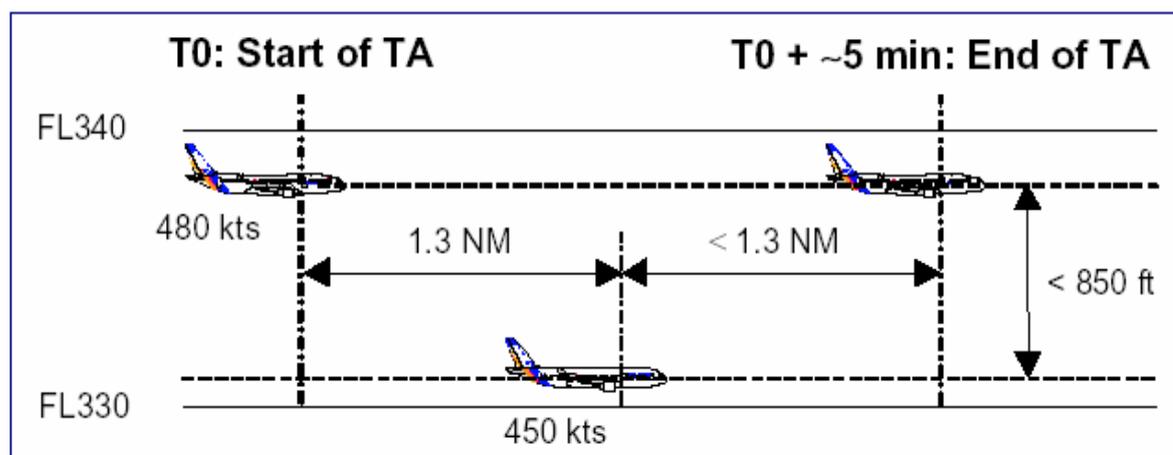


Figura 6.5.1 - Duas aeronaves niveladas, voando em FL adjacentes, seguem a mesma rota

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O TCAS é uma ferramenta desenvolvida como último recurso para prevenir colisões entre aeronaves. As características técnicas empregadas por esse sistema provêm uma significativa melhoria na segurança de vôo e isto tem agregado um reconhecimento na aviação mundial, embora se deva estar ciente de que o TCAS não é um sistema perfeito. O TCAS não pode evitar todos os riscos de colisões e o sistema pode, marginalmente, induzir a um risco adicional, conseqüentemente, é essencial que os procedimentos ATC sejam desenhados para prover um vôo seguro sem dependência do uso do TCAS.

A bordo das aeronaves, gerações de TA e RA pelo TCAS II não têm o mesmo nível de alarme que um aviso de fogo, depressurização ou risco de colisão com o solo, embora elas tenham muita importância na contribuição com a segurança do vôo. TA e RA são eventos que não se esperam, os quais exigem da tripulação uma rápida e apropriada reação e requerendo um treinamento específico. Embora as aeronaves tenham o TCAS II a bordo, a tripulação deve continuar mantendo a vigilância visual para evitar colisões, porque algumas aeronaves ainda não podem transmitir suas altitudes via transponder e somente fornecem TA ou são invisíveis ao sistema TCAS II, porque não estão equipadas com transponder.

Falando de uma forma geral, a implementação do TCAS II trará uma grande gama de benefícios relacionados a segurança, quando o serviço ATC fornecer uma alta qualidade de serviço e todas as decolagens das aeronaves reportarem suas altitudes-pressões via transponder e os pilotos seguirem corretamente as informações do TCAS II.

Além dos alertas de tráfego (TA) e de resolução (RA), face suas características funcionais em que um volume de proteção com alcances variáveis com o nível de vôo são criados, pelo conhecimento da presença, da localização e da movimentação de qualquer aeronave neste mesmo espaço aéreo, o sistema permite aos centros de controle, autorizarem espaçamentos horizontais longitudinais menores, fazendo com que condições meteorológicas mais favoráveis possam ser usufruídas por mais aeronaves.

Conhecer adequadamente os sistemas instalados nas aeronaves faz com que estes profissionais sejam mais proficientes e menos sujeitos a erros humanos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL, PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS E DIRETRIZES DE TREINAMENTO PARA PILOTOS E CONTROLADORES DE TRÁFEGO AÉREO COM RELAÇÃO AO SISTEMA ANTICOLISÃO DE BORDO (ACAS): **AIC n° 02/02**, Divisão de Informações Aeronáuticas, Rio de Janeiro, 2002

Aviation-safety.net

BENDIX/KING, **Pilot's Guide CAS 66A**: TCAS I Collision Avoidance System, Honeywell International Inc., Kansas, 2006

FAA, **Introduction to TCAS II version 7**, 2000

FEDERAL AVIATION REGULATION FAR 129.18, Washington, 2003

FEDERAL AVIATION REGULATION FAR Sec. G91.2, Washington, 2003

Honeywell, **Requirements for ACAS II TCAS**, Washington, 2002

John Law, **ACAS II Bulletin n° 1**, EUROCONTROL, Brussels, 2002

John Law, **ACAS II Bulletin n° 2**, EUROCONTROL, Brussels, 2003

John Law, **ACAS II Bulletin n° 3**, EUROCONTROL, Brussels, 2003

John Law, **ACAS II Bulletin n° 4**, EUROCONTROL, Brussels, 2004

John Law, **ACAS II Bulletin n° 5**, EUROCONTROL, Brussels, 2004

Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica **RBHA 91.221**, Brasília, 2003

ANEXO A

RBHA 91.221

SISTEMA EMBARCADO DE PREVENÇÃO DE COLISÕES (AIRBORNE COLISION

AVOIDANCE SYSTEM - ACAS). EQUIPAMENTO E UTILIZAÇÃO

(a) *Em todo espaço aéreo brasileiro; aviões civis registrados no Brasil:* qualquer sistema embarcado de prevenção de colisões instalado em um avião civil registrado no Brasil deve ser aprovado pela autoridade aeronáutica.

(b) *Sistema embarcado de prevenção de colisões. Operação requerida.* Cada pessoa operando uma aeronave equipada com um ACAS em condições de operação deve manter o sistema ligado e operando.

(c) *[Espaço aéreo RVSM (Reduced Vertical Separation Minimum).* Não obstante o previsto no parágrafo (b) desta seção, quando operando uma aeronave em espaço aéreo RVSM, nenhuma pessoa pode manter um sistema ACAS ligado e em funcionamento a menos que esse sistema seja do tipo ACAS II (TCAS II, tipo 7.0).

(d) Aeronaves categoria transporte com configuração para passageiros com mais de 30 assentos, que tenham recebido seu primeiro Certificado de Aeronavegabilidade (independente do país emissor do mesmo) em ou após 01 de janeiro de 2008, devem ser equipadas com um sistema ACAS II (TCAS II, tipo 7.0 ou superior).

(e) Aeronaves categoria transporte com configuração para passageiros com mais de 19 assentos, que tenham recebido seu primeiro Certificado de Aeronavegabilidade (independentemente do país emissor do mesmo) em ou após 01 de janeiro de 2010, devem ser equipadas com um sistema ACAS II (TCAS II, tipo 7.0 ou superior).]

(Port. 350E/STE, 10/08/98; DOU 158, 19/08/98) (Port. 1026/DGAC, 27/07/00; DOU 153, 09/08/00) (Port. 139/DGAC, 29/01/03; DOU 29, 10/02/03) **(Port. 559/DGAC, 17/06/05; DOU 137, 19/07/05)**

ANEXO B

FEDERAL AVIATION REGULATION (FAR)

Part 129 OPERATIONS: FOREIGN AIR CARRIERS AND FOREIGN OPERATORS OF U.S.-REGISTERED AIRCRAFT ENGAGED IN COMMON CARRIAGE

Sec. 129.18

[Collision avoidance system.]

(a) After December 30, 1993, no foreign air carrier may operate in the United States a turbine powered airplane that has a maximum passenger seating configuration, excluding any pilot seat, of more than 30 seats unless it is equipped with--

- (1) A **TCAS II** traffic alert and collision avoidance system capable of coordinating with **TCAS** units that meet the specifications of TSO C-119, and
- (2) The appropriate class of Mode S transponder.

(b) Unless otherwise authorized by the Administrator, after December 31, 1995, no foreign air carrier may operate in the United States a turbine powered airplane that has a passenger seat configuration, excluding any pilot seat, of 10 to 30 seats unless it is equipped with an approved traffic alert and collision avoidance system. If a **TCAS II** system is installed, it must be capable of coordinating with **TCAS** units that meet TSO C-119.

[(c) Effective May 1, 2003, if **TCAS II** is installed in an airplane for the first time after April 30, 2003, and before January 1, 2005, no foreign air carrier may operate that airplane without **TCAS II** that meets TSO C-119b (version 7.0), or a later version.]

Effective January 1, 2005, this section will read:

129.18 Collision avoidance system.

Effective January 1, 2005, any airplane you, as a foreign air carrier, operate under part 129 must be equipped and operated according to the following table:

Collision Avoidance Systems

If you operate in the United States any ...	Then you must operate that airplane with:
(a) Turbine-powered airplane of more than 33,000 pounds maximum certificated takeoff weight.	(1) An appropriate class of Mode S transponder that meets Technical Standard Order (TSO) C-112, or a later version, and one of the following approved units; (i) TCAS II that meets TSO C-119b (version 7.0), or takeoff weight a later version. (ii) TCAS II that meets TSO C-119a (version 6.04A Enhanced) that was installed in that

	<p>airplane before May 1, 2003. If that TCAS II version 6.04A Enhanced no longer can be repaired to TSO C-119a standards, it must be replaced with a TCAS II that meets TSO C-119b (version 7.0), or a later version.</p> <p>(iii) A collision avoidance system equivalent to TSO C-119b (version 7.0), or a later version, capable of coordinating with units that meet TSO C-119a (version 6.04A Enhanced), or a later version.</p>
<p>(b) Turbine-powered airplane with a passenger-seat configuration, excluding any pilot seat, or 10-30 seats.</p>	<p>(1) TCAS I that meets TSO C-118, or a later version, or</p> <p>(2) A collision avoidance system equivalent to excluding any TSO C-118, or a later version, or</p> <p>(3) A collision avoidance system and Mode S transponder that meet paragraph (a)(1) of this section.</p>

Amdt. 129-38, Eff. 5/1/2003

ANEXO C

Part 91 GENERAL OPERATING AND FLIGHT RULES

Appendix G--Operations in Reduced Vertical Separation Minimum (RVSM) Airspace

Sec. G91.2

Section 2. Aircraft Approval.

(a) An operator may be authorized to conduct RVSM operations if the Administrator finds that its aircraft comply with this section.

(b) The applicant for authorization shall submit the appropriate data package for aircraft approval. The package must consist of at least the following:

- (1) An identification of the RVSM aircraft group or the nongroup aircraft;
- (2) A definition of the RVSM flight envelopes applicable to the subject aircraft;
- (3) Documentation that establishes compliance with the applicable RVSM aircraft requirements of this section; and
- (4) The conformity tests used to ensure that aircraft approved with the data package meet the RVSM aircraft requirements.

(c) *Altitude-keeping equipment: All aircraft.* To approve an aircraft group or a nongroup aircraft, the Administrator must find that the aircraft meets the following requirements:

- (1) The aircraft must be equipped with two operational independent altitude measurement systems.
- (2) The aircraft must be equipped with at least one automatic altitude control system that controls the aircraft altitude--
 - (i) Within a tolerance band of ± 65 feet about an acquired altitude when the aircraft is operated in straight and level flight under nonturbulent, nongust conditions; or
 - (ii) Within a tolerance band of ± 130 feet under nonturbulent, nongust conditions for aircraft for which application for type certification occurred on or before April 9, 1997 that are equipped with an automatic altitude control system with flight management/performance system inputs.
- (3) The aircraft must be equipped with an altitude alert system that signals an alert when the altitude displayed to the flight crew deviates from the selected altitude by more than:

(i) ± 300 feet for aircraft for which application for type certification was made on or before April 9, 1997; or

(ii) ± 200 feet for aircraft for which application for type certification is made after April 9, 1997.

(d) *Altimetry system error containment: Group aircraft for which application for type certification was made on or before April 9, 1997.* To approve group aircraft for which application for type certification was made on or before April 9, 1997, the Administrator must find that the altimetry system error (ASE) is contained as follows:

(1) At the point in the basic RVSM flight envelope where mean ASE reaches its largest absolute value, the absolute value may not exceed 80 feet.

(2) At the point in the basic RVSM flight envelope where mean ASE plus three standard deviations reaches its largest absolute value, the absolute value may not exceed 200 feet.

(3) At the point in the full RVSM flight envelope where mean ASE reaches its largest absolute value, the absolute value may not exceed 120 feet.

(4) At the point in the full RVSM flight envelope where mean ASE plus three standard deviations reaches its largest absolute value, the absolute value may not exceed 245 feet.

(5) *Necessary operating restrictions.* If the applicant demonstrates that its aircraft otherwise comply with the ASE containment requirements, the Administrator may establish an operating restriction on that applicant's aircraft to restrict the aircraft from operating in areas of the basic RVSM flight envelope where the absolute value of mean ASE exceeds 80 feet, and/or the absolute value of mean ASE plus three standard deviations exceeds 200 feet; or from operating in areas of the full RVSM flight envelope where the absolute value of the mean ASE exceeds 120 feet and/or the absolute value of the mean ASE plus three standard deviations exceeds 245 feet.

(e) *Altimetry system error containment: Group aircraft for which application for type certification is made after April 9, 1997.* To approve group aircraft for which application for type certification is made after April 9, 1997, the Administrator must find that the altimetry system error (ASE) is contained as follows:

(1) At the point in the full RVSM flight envelope where mean ASE reaches its largest absolute value, the absolute value may not exceed 80 feet.

(2) At the point in the full RVSM flight envelope where mean ASE plus three standard deviations reaches its largest absolute value, the absolute value may not exceed 200 feet.

(f) *Altimetry system error containment: Nongroup aircraft.* To approve a nongroup aircraft,

the Administrator must find that the altimetry system error (ASE) is contained as follows:

(1) For each condition in the basic RVSM flight envelope, the largest combined absolute value for residual static source error plus the avionics error may not exceed 160 feet.

(2) For each condition in the full RVSM flight envelope, the largest combined absolute value for residual static source error plus the avionics error may not exceed 200 feet.

[(g) Traffic Alert and Collision Avoidance System (TCAS) Compatibility With RVSM

Operations: All aircraft. After March 31, 2002, unless otherwise authorized by the Administrator, if you operate an aircraft that is equipped with TCAS II in RVSM airspace, it must be a TCAS II that meets TSO C-119b (Version 7.0), or a later version.

(h) If the Administrator finds that the applicant's aircraft comply with this section, the Administrator notifies the applicant in writing.]

Amdt. 91-271, Eff. 12/10/2001