



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 3/2022

RENAN DE OLIVEIRA BONETI TADEN, Cap Av

**Implementação de dispositivos TCAS nas aeronaves da Força Aérea Brasileira:
um incremento para a Segurança de Voo**

Rio de Janeiro

2022

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 3/2022

RENAN DE OLIVEIRA BONETI TADEN, Cap Av

Implementação de dispositivos TCAS nas aeronaves da Força Aérea Brasileira:
um incremento para a Segurança de Voo

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica como requisito parcial para aprovação no Curso de Pós-graduação *Lato Sensu* em Liderança com Ênfase em Gestão no COMAER.

Linha de Pesquisa: Segurança de Voo

Orientador: Pedro Nolasco Duarte, Maj Av

Rio de Janeiro

2022

RENAN DE OLIVEIRA BONETI TADEN, Cap Av

**Implementação de dispositivos TCAS nas aeronaves da Força Aérea Brasileira:
um incremento para a Segurança de Voo**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da
Aeronáutica.

Aprovado por:

Pedro **Nolasco** Duarte, Maj Av
EAOAR

Bruno **Bitencourt** Carvalho de Oliveira, Maj Int
EAOAR

Rio de Janeiro

2022

RESUMO

O COMAER, por meio do PEMAER, prevê no âmbito da Segurança de Voo a realização de ações visando prevenir acidentes aeronáuticos. Considerando que as consequências de um acidente em que ocorre a colisão entre aeronaves em voo podem ser catastróficas e que um número expressivo de aeronaves da FAB não possuem sistemas de prevenção de colisão, é possível afirmar que a implementação do dispositivo denominado TCAS, ou Sistema Anticolisão de Tráfego, nas aeronaves que ainda não possuem tal equipamento, diminui a probabilidade de ocorrência de incidentes e acidentes aeronáuticos decorrentes de colisão em voo. O fornecimento para os pilotos da visualização pictorial e intuitiva de outras aeronaves em proximidade proporciona o aumento da consciência situacional e diminuição das chances de conflitos de tráfego. Ademais, o dispositivo TCAS pode ser umas das últimas barreiras, senão a última, que pode prevenir uma colisão em voo, mesmo que exista uma sequência prévia de erros humanos. Por conseguinte, as margens de segurança são incrementadas e proporcionam vantagens para a FAB por meio da preservação de vidas humanas e do patrimônio nacional, além da salvaguarda dos valores e da imagem da instituição perante a sociedade.

Palavras-chave: TCAS. Colisão em Voo. Consciência Situacional. Fatores Humanos.

1 INTRODUÇÃO

O Comando da Aeronáutica (COMAER) prevê em seu Plano Estratégico Militar da Aeronáutica (PEMAER) a execução de ações que visem à prevenção de acidentes aeronáuticos, enfatizando a influência dos fatores humanos (BRASIL, 2018). Dessa forma, compete aos Comandantes, Chefes e Diretores de cada Organização Militar envolvida direta ou indiretamente com a atividade aérea realizar diligências para anular ou diminuir os riscos inerentes a esta tarefa. (BRASIL, 2012).

Dos riscos proporcionados pela atividade aérea, deve-se considerar relevante a ocorrência de uma colisão em voo, visto que as consequências de um acidente dessa natureza geralmente são catastróficas. Como exemplo, destaca-se o evento de 2006 entre o voo Gol 1907 e a aeronave de matrícula americana N600XL, que causou 154 vítimas fatais, considerado o segundo maior acidente da história da aviação brasileira. Segundo Kuchar e Drumm (2007), a preocupação com a prevenção desses casos teve origem em meados da década de 1950, nos Estados Unidos da América. Foram desenvolvidos sistemas com essa finalidade e, em 1981 foi criado o denominado *Traffic Collision Avoidance System* (TCAS), ou Sistema Anticolisão de Tráfego.

Nesse escopo e, tendo em vista que existe um quantitativo considerável de aeronaves no âmbito da FAB que não possuem sistemas de prevenção de colisão, o presente trabalho defende que a implementação de dispositivos TCAS nas aeronaves que carecem de tal tecnologia contribui para a diminuição da probabilidade de incidentes ou acidentes aeronáuticos causados por colisão em voo.

Para este propósito, o equipamento em tela promove um aumento da consciência situacional dos pilotos, pois possibilita aos mesmos uma visualização pictorial e intuitiva das aeronaves em proximidade e que podem constituir ameaças de conflito.

Ademais, o TCAS é uma das últimas barreiras de prevenção de acidentes quando o erro humano, relacionado aos fatores humanos, é uma condição em potencial para que ocorra um evento relacionado à colisão em voo.

2 DESENVOLVIMENTO

Após o desenvolvimento dos sistemas de prevenção de colisão em voo, surgiu a preocupação dos órgãos governamentais e de regulamentação da aviação

responsáveis pela segurança de voo para a implementação desses sistemas nas aeronaves. Reiteram essa afirmação Kuchar e Drumm (2007), ao declararem que o Congresso Americano tornou mandatório que a *Federal Aviation Administration* (FAA) executasse as providências correlatas até o final de 1992. Além disso, a *International Civil Aviation Administration* (ICAO) tornou obrigatória, em escala mundial, a utilização desses dispositivos em aeronaves propulsadas à turbina que comportam mais de 19 passageiros ou que tenham peso máximo de decolagem maior que 5.700kg.

Tais ações demonstram a efetivação dos esforços visando à segurança das tripulações e passageiros à medida que o número de horas de voo apresenta a tendência de crescimento com o passar do tempo. Assim, é importante a compreensão da maneira que o TCAS, correlacionado com o aumento da consciência situacional e com os fatores humanos, é uma importante ferramenta para a expansão da segurança de voo nas atividades aéreas realizadas pela FAB.

2.1 TCAS e o aumento da consciência situacional

O funcionamento do TCAS, de acordo com Kuchar e Drumm (2007), é realizado mediante a coleta de informações sobre a posição de uma aeronave em proximidade e passível de conflito, denominada intrusa, além da representação pictorial e intuitiva no *cockpit* da aeronave. Os dados são processados por algoritmos para determinar se existe ameaça de colisão. Se uma ameaça for identificada, uma série de algoritmos de resolução de ameaças determina a ação a ser tomada pelos pilotos, que é a sugestão para o comando de uma manobra de subida ou uma manobra de descida. Se a aeronave intrusa também possuir TCAS, será sugerida a esta uma manobra oposta em relação à outra aeronave, aumentando ainda mais as margens de distanciamento entre elas.

A utilização desse sistema é uma ferramenta que auxilia no fomento da consciência situacional que, de acordo com Stanton, Chambers e Piggott (2001) é definida como a percepção dos elementos contendo um volume de tempo e espaço, a compreensão dos seus significados e a projeção de suas situações no futuro próximo.

Ainda segundo Stanton, Chambers e Piggott (2001), um dos modelos de consciência situacional conhecidos, chamado “modelo dos três níveis”, foi desenvolvido para a compreensão das tarefas dos pilotos e controladores de tráfego

aéreo, que devem manter-se atualizados com as constantes mudanças que ocorrem no ambiente de trabalho.

Como apontam Stanton, Chambers e Piggott (2001), o primeiro desses níveis é chamado “percepção dos elementos no meio ambiente”, o que é obtido por meio da coleta de dados básicos fornecidos pelos instrumentos de bordo, comportamento apresentado pela aeronave e controle de tráfego aéreo. Ressalta-se que na FAB existem aeronaves, como o C-95, C-98, T-27M e U-100, que possuem o conceito *glass cockpit* e aviônicos que contribuem para o aumento dessa percepção, mas não dispõem de TCAS. Implementando este equipamento, será reforçada a assimilação do contexto acerca da localização de aeronaves intrusas e que eventualmente podem constituir ameaças.

O segundo nível, para Stanton, Chambers e Piggott (2001) é “a compreensão da situação atual”, assimilada como o ganho de significado das variadas informações obtidas pelos pilotos, isto é, a junção da posição das aeronaves acrescida de fatores como meteorologia, fase atual do voo (após decolagem, voo de cruzeiro ou aproximação para pouso), informações transmitidas pelos órgãos de tráfego aéreo, entre outros, que geram os subsídios para a criação de um panorama da situação presente e, por conseguinte, permite uma comparação com a situação esperada.

O terceiro nível, conforme Stanton, Chambers e Piggott (2001), é denominado “predição de situação futura”, que propicia aos tripulantes tempo para planejamento e execução de ações para impedir o acontecimento de situações mais críticas. Este é o nível mais alto de consciência situacional e que é esperado que seja obtido pelos pilotos visando à condução de voos seguros.

A obtenção desse último nível de consciência situacional, aplicada a um contexto específico de voos realizados na FAB, é altamente desejada durante a condução de voos de ensaio, realizados pelo Instituto de Pesquisas e Ensaios em Voo (IPEV). Esses voos apresentam maior risco que os voos operacionais por exigirem concentração adicional da tripulação na manutenção de parâmetros, coleta de dados específicos e, em alguns casos, a disposição da aeronave além dos limites de seu envelope operacional, o que eleva consideravelmente a carga de trabalho dos pilotos. Ademais, as áreas para a execução desses voos são compartilhadas, o que ocasionalmente gera conflitos de tráfego. Ressalta-se também que nenhuma

aeronave daquele Instituto possui TCAS e a instalação desse equipamento é um fator a mais para que haja a operação segura desses voos com riscos adicionais.

Isto posto, ratifica-se que, uma vez aumentada a consciência situacional dos tripulantes com as vantagens proporcionadas pelo TCAS, serão aumentadas as margens de segurança durante as operações aéreas, por meio da execução segura e eficiente tanto das tarefas rotineiras como das eventuais situações de emergência. Percebe-se, portanto, que existe uma correlação entre a implementação do dispositivo TCAS nas aeronaves da Força que ainda não o possuem e a contribuição para o aumento da segurança de voo, evitando que ocorram acidentes motivados por colisões em voo.

2.2 TCAS como barreira quando o Fator Humano é condição latente

O Manual de Prevenção do Sistema de Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (SIPAER) afirma que:

Apesar de todo avanço tecnológico, o homem ainda continua como o elemento chave de qualquer atividade, por ter a capacidade de criar, gerenciar, tomar decisões, dentre muitas outras ações que lhe são peculiares. Segundo a OACI, Fatores Humanos “referem-se às pessoas em situações de vida e de trabalho, à sua relação com as máquinas, procedimentos e ambiente que as rodeiam e também às suas relações com os demais.” (BRASIL, 2012, p.116)

Independente das evoluções tecnológicas que buscam o aumento da segurança de voo, deve haver o entendimento que o elemento crucial para o sucesso ou fracasso de determinada tarefa depende do Fator Humano, por meio dos julgamentos e tomadas de decisão que, por vezes, podem conter equívocos e provocar efeitos negativos.

Reason (1995) considera que em muitas maneiras os humanos podem contribuir para a ruptura das barreiras de segurança de tecnologias complexas e define erro como a falha das ações planejadas para atingir os objetivos desejados. Além disso, afirma que tais erros podem ocorrer durante a realização de tarefas rotineiras, usualmente em ambientes familiares de trabalho. Dessa forma, em um cenário no qual exista a interação entre os tripulantes de aeronaves e o sistema de gerenciamento de tráfego aéreo, o erro humano é um fator que eventualmente pode tornar-se contribuinte para a ocorrência de acidentes aeronáuticos.

No contexto da compreensão de acidentes que ocorrem em situações de trabalho rotineiras, Carvalho et al., (2009) realizaram um estudo sobre a colisão

entre o Gol 1907 e o Legacy (matrícula N600XL). Este estudo aponta que as investigações concluíram que uma cadeia de erros humanos foi identificada, culminando no evento. Esses erros incluíram falhas dos controladores de tráfego aéreo que não proveram um monitoramento adequado do N600XL, permitindo que essa aeronave mantivesse o mesmo nível de voo do Gol 1907, bem como não perceberam a inoperância do transponder do Legacy. Ademais, os pilotos dessa última aeronave falharam em não identificar a inoperância do próprio equipamento transponder e do TCAS.

A análise de uma ocorrência envolvendo aeronaves da FAB ratifica o entendimento da funcionalidade proposta pelo TCAS relacionada com o erro humano. Segundo o Relatório Final Militar Simplificado I-471M/CENIPA/2014R (BRASIL, 2017), uma aeronave E-99 regressando de missão para a Base Aérea de Santa Maria realizou procedimento de arremetida no ar para evitar conflito com outra aeronave que estava no circuito de tráfego e foi instruída a realizar curva à direita em seguida. Após a arremetida, foi realizada erroneamente uma curva à esquerda, para um setor no qual existem elevações mais acentuadas de terreno e o contato visual com o solo foi perdido após a aeronave entrar em uma nuvem. Nesse momento, foi acionado um alarme de proximidade com o terreno, o que fez com que o piloto subisse. Ao subir, foi observado um segundo erro, no qual a altitude prevista para a aeronave nivelar foi ultrapassada.

Durante a subida foi ativado o alarme TCAS do E-99 comandando uma descida, pois havia uma outra aeronave em proximidade e acima. Após o piloto ter seguido a orientação do sistema, este conflito foi superado. Foi registrado pelo radar que as duas aeronaves ficaram próximas 0,3 milhas náuticas (aproximadamente 550 metros) com separação vertical de 100 pés (aproximadamente 30 metros). Nesse grave incidente foi constatado que houve um considerável potencial para a ocorrência de um acidente em decorrência de uma série de fatores, destacando-se entre eles os erros cometidos pelos pilotos do E-99.

Dessa forma, a apresentação dos fatos mencionados demonstra a importância exercida pelo TCAS pois, apesar da sequência de erros humanos, foi possível um desconflito por meio da sugestão apresentada pelo equipamento, em uma situação crítica que teve grande potencial para resultar em catástrofe, servindo como uma barreira que evitou um acidente. Justifica-se, portanto, que a

implementação do TCAS no maior número possível de aeronaves diminui a probabilidade de ocorrência de acidentes decorrentes de colisão em voo.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A FAB possui como uma de suas atribuições no nível estratégico envidar esforços para a prevenção de acidentes aeronáuticos, e as ações para esta finalidade devem ser executadas em todos os níveis da cadeia de comando. Um expressivo tipo de acidente que deve ser considerado e as suas consequências é o decorrente de colisão em voo. Para auxiliar na prevenção de acidentes dessa natureza, foi desenvolvido o TCAS ou Sistema Anticolisão de Tráfego.

Em relação à consciência situacional, verificou-se que o TCAS permite que as aeronaves que estão próximas e que eventualmente constituam ameaça sejam visualizadas intuitivamente por meio de representações pictoriais no *cockpit*. Observou-se que, dessa forma, aplicado ao “modelo de três níveis” de consciência situacional, o dispositivo contribui para que o nível mais alto de consciência situacional seja alcançado, o que auxilia no processo decisório das ações que favorecem a condução de voos seguros.

Também foi constatado que o erro humano pode ser fator contribuinte para um incidente ou acidente, mesmo que existam tecnologias que busquem aumentar a segurança de voo, o que foi confirmado na análise de um acidente conhecido e de um incidente grave ocorrido na FAB. Demonstrou-se, dessa forma, que o TCAS pode ser uma das últimas, ou a última barreira que pode prevenir uma colisão em voo, mesmo que exista uma sequência prévia de erros humanos.

Assim, pode ser concluído que, instalando-se o TCAS no maior número de projetos possíveis da FAB, haverá uma diminuição da probabilidade que uma colisão em voo ocorra e, para isso, é relevante a implementação do equipamento nas aeronaves que ainda não possuem esse recurso, pois é uma das ferramentas que contribuem para prevenir acidentes ou incidentes aeronáuticos.

Essa providência certamente possui um custo menor em relação ao resultante de um acidente aeronáutico causado por colisão. Como resultados, são esperados ganhos para a Força Aérea no incremento da Segurança de Voo, na contribuição para a preservação de vidas humanas e do patrimônio nacional, bem como na salvaguarda dos valores e imagem da instituição perante a sociedade.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. Portaria CENIPA nº 1/DAM, de 3 de dezembro de 2012. Aprova a edição do MCA 3-3 que dispõe sobre o Manual da Prevenção. **Boletim do Comando da Aeronáutica**. Rio de Janeiro, n. 72, f. 2795, 16 abr. 2013.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. **Relatório Final Militar Simplificado I-471M/CENIPA/2014R**. Brasília. 2017
- BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Portaria nº 2102/GC3, de 18 de dezembro de 2018. Aprova a reedição do Plano Estratégico Militar da Aeronáutica. **Boletim do Comando da Aeronáutica**. Rio de Janeiro, n. 222, f. 14757, 20 dez. 2018.
- CARVALHO, P. V. R.; GOMES, J. O.; HUBER, G. J.; VIDAL, M. C. Normal people working in normal organizations with normal equipment: System safety and cognition in a mid-air collision. **Applied Ergonomics**, [s. l.], v. 40, n. 3, p. 325–340, maio 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2008.11.013>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003687008001889>. Acesso em: 18 set. 2022.
- KUCHAR, J. E.; DRUMM, A. C. The traffic alert and collision avoidance system. **Lincoln Laboratory Journal**, [s. l.], v. 16, n. 2, p. 277, jun. 2007. Disponível em: <https://www.ll.mit.edu/r-d/publications/traffic-alert-and-collision-avoidance-system>. Acesso em: 17 set. 2022.
- REASON, J. Understanding adverse events: human factors. **Quality in Health Care**, [s. l.], v. 4, n. 2, p. 80–89, jun. 1995. DOI: <http://dx.doi.org/10.1136/qshc.4.2.80>. Disponível em: <https://qualitysafety.bmj.com/content/4/2/80>. Acesso em: 18 set. 2022.
- STANTON, N. A.; CHAMBERS, P. R. G.; PIGGOTT, J. Situational awareness and safety. **Safety Science**, [s. l.], v. 39, n. 3, p. 189–204, dez. 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(01\)00010-8](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(01)00010-8). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753501000108>. Acesso em: 18 set. 2022.