

**TECNOLOGIAS PARA SEGURANÇA DE VOO: UMA REVISÃO PRÁTICA DE
SISTEMAS AUTÔNOMOS EM AERONAVES**

Emmanuel de Oliveira Ferreira¹
João Erick de Mattos Fernandes²

RESUMO

Considerando a relevância de uma melhor compreensão das tecnologias atuais que elevam a segurança da aviação e que ajudam os pilotos a realizar processos que antes eram feitos exclusivamente pelos seres humanos, objetiva-se conhecer os sistemas autônomos utilizados dentro do cockpit de aeronaves comerciais como TCAS, ILS e a nova tecnologia Garmin Autonomi Autoland. Para tanto, procede-se com um estudo de múltiplos casos de conclusão qualitativa, referente a segurança de voo proporcionada por estas tecnologias. Ao finalizar a pesquisa, conclui-se que as tecnologias abordadas são altamente importantes na operação aérea atualmente e que a não utilização destas se dá por uma perda significativa por parte da segurança.

Palavras-chave: Aviação. Segurança. Tecnologias.

¹ Bacharelado em Ciências Aeronáuticas. AEROTD. E-mail: emmanuel.caco@hotmail.com

² Doutorando em Engenharia Aeronáutica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Mestre em Administração pelas Faculdades Ibmecc e Engenheiro Mecânico pela PUC Rio. Piloto de Linha Aérea com habilitação para Airbus 319/320/321. Professor no Curso de Ciências Aeronáuticas na AEROTD. E-mail: joaoerick@gmail.com

TECHNOLOGIES FOR FLIGHT SAFETY: A PRACTICAL REVIEW OF AUTONOMOUS AIRCRAFT SYSTEMS

ABSTRACT

Considering the relevance of a better understanding of current technologies that increase aviation safety and that help pilots to carry out processes that were previously done exclusively by humans, the objective is to know the autonomous systems used within the cockpit of commercial aircraft such as TCAS, ILS and new Garmin Autonomi Autoland technology. For that, we proceed with a study of multiple cases of qualitative conclusion, referring to the flight safety provided by these technologies. At the end of the research, it is concluded that the technologies discussed are highly important in the air operation today and that the non-use of these is due to a significant loss on the part of safety.

Keywords: Aviation. Safety. Technologies.

1 INTRODUÇÃO

É sabido que a vontade de alçar grandes voos faz parte da história da civilização moderna, e a tecnologia avançou de maneira que os aviões começaram a ser usados em maior proporção, além de sua primeira função que foi de uso exclusivo militar, agora também com capacidade de transportar diversos artigos como para Ferreira (2017) “com o desenvolvimento tecnológico das aeronaves foi criado um mercado para o transporte aéreo de correspondências, cargas e pessoas, especialmente a partir do fim da Segunda Guerra Mundial”.

Após o fim da Segunda Guerra Mundial, a aviação comercial passou a desenvolver-se num ramo à parte da aviação militar (PAPINHA *et al.*, 2019). E a partir de então, embarcadas de tecnologia e sempre à frente de seu tempo, e no pós-guerra que foi introduzido o primeiro motor a jato dos aviões, o que impulsionou o transporte aéreo comercial.

Dessa forma com a evolução:

[...] O transporte aéreo no Brasil foi objeto de marcantes transformações nos últimos 30 anos. Um dos principais focos destas transformações decorre da introdução de novas tecnologias na cabine de comando, condensadas após sua automação na expressão “*glasscockpit*”. Estas tecnologias representam mudanças substanciais na atividade do piloto (MONTEIRO, 2007, p. 15).

Nos tempos do avião mais-pesado-que-o-ar, Santos-Dumont não podia imaginar um melhor espaço no posto de trabalho de um piloto ou a criação de um painel com instrumentos, já era bastante tentar sair do chão. E para exemplificar a evolução, para Monteiro (2007) um projeto revolucionário de Donald W. Douglas, que atendendo ao pedido de empresas norte-americanas, forneceu um dos maiores sucessos da aviação e em 17 de dezembro de 1935 colocou em voo o avião DC-3.

Assim é conceituado as aeronaves comerciais:

[...] Não bastasse ter sido produzida com o conforto de uma aeronave dormitório de constituição metálica, colocava à disposição de seus passageiros uma requintada arquitetura de cabine. Repleta de instrumentos de voo para uma navegação segura, era também contemplada com instrumentos para monitoramento dos motores, sistema elétrico, combustível e outras facilidades (MONTEIRO, 2007, p. 30).

Com o desenvolvimento econômico e de estudos para melhorar a aviação, o transporte aéreo foi alvo de muita inovação em diversos setores principalmente na parte da segurança e de tecnologias capazes de melhorar o projeto de futuras aeronaves. Salienta-se que, para Borges (2017), “o maior desafio da indústria aeronáutica é a busca constante no aprimoramento das tecnologias empregadas nos sistemas automatizados das aeronaves comerciais modernas”.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

No contexto da utilização de inovadoras tecnologias na aviação e diante

do surgimento da necessidade comercial e global do transporte aéreo, foram impulsionados os avanços na navegação aérea com o surgimento de auxílios de navegação que solidificaram a segurança operacional. Estas tecnologias passaram por diversas modificações e atualizações até o surgimento da radionavegação e o que há de mais avançado hoje, a navegação por satélite.

O aprimoramento dos auxílios tecnológicos na aviação, cada vez mais evidente de forma computadorizada e autônoma, de maneira que os aviões tiveram o importante papel no desenvolvimento de tecnologias que hoje estão presentes no cotidiano como por exemplo o GPS (*Global positioning system*) que para Jauch (2014) foi projetado para fornecer o posicionamento instantâneo, bem como a velocidade de um ponto sobre a superfície da Terra ou próximo a ela. Esses avanços, com o intuito de aprimorar a orientação geográfica e a navegação sob baixa visibilidade ou até mesmo visibilidade inexistente, revolucionaram a navegação aérea (SANTANA, 2018).

Os seguintes avanços tecnológicos que resultaram na criação de equipamentos para evitar acidentes aeronáuticos, como TCAS, que mitiga colisões aéreas, é mencionado também que atualmente os painéis intitulados *Glass Cockpit* (painéis com telas digitais) evidenciam-se como um auxílio que gera uma menor carga de trabalho ao piloto em comando.

O presente estudo tem por objetivo pesquisar a utilização das tecnologias que auxiliam o piloto no *cockpit* das aeronaves e busca identificar o impacto positivo destas tecnologias quando presentes e que incrementam a segurança na rotina da operação.

O conteúdo visa fornecer material de pesquisa científica em língua nativa do Brasil, de forma a contribuir principalmente para a segurança no cenário da aviação e seus operadores e posterior conhecimento das tecnologias, a fim de sugerir a sua aplicação nos estudos de múltiplos casos baseados na análise das investigações.

1.1.1 Pergunta de Pesquisa

A aviação é monitorada por diversos índices previamente requeridos pelas principais agências reguladoras mundiais, que englobam a eficiência, sustentabilidade e principalmente a segurança. Índices que estão presentes nas grandes empresas aéreas que hoje dominam o mercado da aviação comercial. Diante destes índices operacionais, questiona-se de que maneira as tecnologias automáticas abordadas podem ajudar a desenvolver, diminuir ou evitar acidentes, e assegurar uma operação aérea mais segura? Não coincidentemente o conteúdo deste trabalho mostra interesse nessa questão, associada à capacidade dos recursos tecnológicos no *cockpit*. Diante desse contexto, esse estudo torna-se relevante ao se dedicar ao entendimento das tecnologias para uma melhor compreensão de sua utilização na aviação frente à crescente disseminação e desenvolvimento da mesma de caráter mundial.

1.2 OBJETIVOS

A era da automação e dos sistemas automatizados das aeronaves estão balizados a um melhor desempenho e redução de risco de uma possível quebra na segurança operacional do transporte aéreo, nesse sentido, o objetivo desse trabalho é abordar essas questões.

1.2.1 Objetivo Geral

Conhecer e descrever o funcionamento dos sistemas autônomos no *cockpit* das aeronaves, analisando o impacto positivo destas tecnologias na mitigação da ocorrência de acidentes aeronáuticos.

1.2.2 Objetivos Específicos

Identificar e descrever o funcionamento de tecnologias de voo autônomo, sendo estas o de pouso automático (*autoland*) e suas ferramentas associadas, tal como o ILS (*Instrument Landing System*); o sistema automatizado *Garmin Autonomi Autoland*, e sua principal finalidade; e a tecnologia TCAS (*Traffic Avoidance and Alerting System*). Por fim, reafirmar o impacto positivo das tecnologias estudadas através da seleção e análise de casos em que a presença da tecnologia teria evitado um acidente aeronáutico.

1.3 JUSTIFICATIVA

A razão principal deste trabalho é trazer um dos fatores mais pertinentes e presentes na aviação, que é a tecnologia na parte da segurança de voo. O estudo por sua vez mostra de forma técnica o seu funcionamento, e a importância que estes equipamentos possuem na maioria das aeronaves em atuação no mundo, e, também, no que tange à operação delas com o objetivo de oferecer sistemas autônomos de modo a reduzir ou eliminar os erros operacionais e gerenciais dos pilotos.

Além disso, as tecnologias estudadas foram eleitas pela relevância da pesquisa para a sociedade em geral e para a comunidade aeronáutica em particular. O fato de que o conhecimento adquirido através de um compilado de tecnologias autônomas é um dos motivos empíricos para entender esta revisão, e o processo de evolução destas tecnologias que foi responsável para implementação das mesmas na maioria das aeronaves em operação.

Não coincidentemente o conteúdo deste trabalho refere-se, através da descrição de tecnologias na cabine de comando, e o grande valor que a aplicação delas trouxe para o aumento da segurança na evolução da indústria aeronáutica. Ressalta-se, ainda, a falta que podem ter feito para evitar acidentes

1.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Neste trabalho será delimitado o emprego das tecnologias autônomas nos equipamentos dentro da cabine de comando, como o TCAS, *Transponder* e ILS. Isto porque a descrição destas tecnologias é capaz de proporcionar o entendimento necessário para a melhor relevância das mesmas no cenário da segurança da aviação em momentos chave das operações aéreas, motivado pelo aumento da capacidade de segurança que a automação traz.

É interessante ressaltar que o trabalho não vai discutir a abordagem de outros tipos de tecnologias que também podem utilizar funções autônomas para seu funcionamento. Além disso, o trabalho não menciona a parte das deficiências da automação. O presente estudo descreve de forma técnica o funcionamento das tecnologias em questão na delimitação consideradas de maior relevância.

Tem-se o intuito de salientar e justificar que o conhecimento destas tecnologias trazem um impacto positivo no cenário da segurança de voo. Demonstrar a possível falta destes equipamentos em acidentes aéreos por meio do estudo de múltiplos casos, e como o papel destas tecnologias é evidente na manutenção da segurança atualmente, como na comunicação com outras aeronaves durante o voo.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente trabalho caracteriza-se por sua natureza aplicada, por descrever sistemas de tecnologia já existentes com o objetivo de demonstrar o seu impacto positivo na mitigação da ocorrência de acidentes aeronáuticos. Com procedimentos bibliográficos e documentais, composto por pesquisas de diversos autores focados na aviação, que abrange relatórios de investigações, manuais aeronáuticos, dentre outros trabalhos acadêmicos, a fim de trazer um

conteúdo de informações técnicas pertinentes às tecnologias estudadas.

A conclusão é qualitativa, pois busca trazer para a discussão a interpretação necessária e suficiente dos assuntos estudados para facilitar a apreciação das tecnologias autônomas, motivado pela capacidade de utilização das mesmas. Tendo como essência de pesquisa descrever as ocorrências dos estudos de múltiplos casos, sem opinar, ou tratar de ponto de vista ou mesmo manipular a pesquisa para uma linha de entendimento pessoal, mas sim, descrever equipamentos dentro do *cockpit* considerados hoje essenciais para uma operação aérea segura, que englobam sua aplicação no transporte aéreo.

2.1 TIPO DE PESQUISA

Uma pesquisa pode ser classificada de diferentes formas, sendo a mais clássica aquela que determina a sua natureza, a abordagem do problema, o objetivo, a fonte da informação e os procedimentos e técnicas para coleta de dados (LENZI, 2018). Assim, esse estudo é de natureza aplicada, com ênfase na capacidade de segurança que as tecnologias trazem para a aviação, pois visa gerar conhecimentos para uma aplicação prática objetivando a solução de problemas específicos (LENZI, 2018).

A abordagem do problema será de forma qualitativa, pois “busca a interpretação de fenômenos” (LENZI, 2018, p. 47). O objetivo será explicativo, pois se preocupa em “identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos” (GIL, 2002, p. 42). Já a fonte da informação será efetuada um estudo de múltiplos casos uma vez que é “um estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento” (GIL, 2002, p. 54).

2.2 PROCEDIMENTOS PARA COLETA DE DADOS

Os procedimentos e técnicas para coleta de dados serão: (a) Bibliográficos, pois a pesquisa é desenvolvida a partir de material já publicado (GIL, 2002). (b) Documental, utilizando de materiais que ainda não receberam um tratamento analítico (LENZI, 2018). (c) Levantamento, com o objetivo de conhecer os fatos históricos que foram estudados, como acidentes, para assim gerar uma base madura de reflexão. O estudo aqui proposto foi analisado e descrito de forma a ser o necessário para a compreensão do impacto positivo no meio aeronáutico.

2.3 ANÁLISE DOS DADOS

Após a coleta dos dados, foi feita análise e um resumo das perspectivas mais importantes para o progresso deste trabalho, que não traz as deficiências das tecnologias, mas que aborda como a tecnologia tem hoje um papel de grande relevância para a segurança na operação da aviação e da redução de acidentes, demonstrando também, que a análise dos estudos de caso salientam que é de importante valor a aplicabilidade e o uso das tecnologias descritas no trabalho, e que impactam positivamente na segurança e para que a engrenagem da operação aérea funcione normalmente.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: TECNOLOGIA E SEGURANÇA

Com o objetivo de alcançar o maior conhecimento no meio aeronáutico, a fundamentação teórica utilizada é uma pesquisa bibliográfica baseada em diversas fontes, ou seja, estudos previamente apresentados por autores vinculados ao ramo da aviação e que apresentam o vínculo entre a tecnologia e a segurança de voo, que segundo AOPA (2007, p. 2, tradução nossa) “mostram

que uma aeronave que é considerada *Technologically Advanced Aircraft* proporciona menos acidentes em comparação com outras da aviação geral sem essa tecnologia”.

Contudo o estudo salienta que a evolução apresentou inúmeras formas de melhorar as atividades antes manuais e que hoje mostra diversos motivos que: “[...] o objetivo da automação é melhorar o desempenho humano aumentando a consciência situacional do piloto ao mesmo tempo que reduz a carga de trabalho no *cockpit*, e que os erros diminuem de forma a validar a confiabilidade no equipamento” (NTSB, 2010, p. 49, tradução nossa).

A análise das pesquisas provém de publicações através de fontes nacionais e internacionais que apontam como são medidos os parâmetros dentro da aeronave, a fim de trazer o conhecimento direto da fonte para que o leitor veja de forma prática. Foram utilizados como fontes para a pesquisa, trabalhos de conclusão de curso voltados à aviação e recomendações de sites especializados em segurança de voo.

4 TECNOLOGIA E AVIAÇÃO

Neste capítulo serão abordados alguns dos equipamentos mais importantes de voo de uma aeronave da aviação comercial e também de uso executivo, assim como, qual a função destes a bordo e a segurança que trazem na operação para o meio aeronáutico. Ainda é destacado os aspectos positivos relacionados à operação destes equipamentos.

4.1 TRANSPONDER E TCAS

É de suma importância atentar-se a um elemento que é uma peça chave nesses sistemas de voo dentro de um *cockpit* da aeronave: o *transponder*. O

Controle de Tráfego Aéreo no Brasil e no mundo, atualmente utiliza radares secundários para as tarefas de identificação, monitoramento e orientação de aeronaves no espaço aéreo.

Isto é, além de fornecer a posição (radar primário), esse equipamento fornece também outras informações sobre a aeronave (radar secundário), como número do voo, companhia aérea, velocidade e altitude, porém o secundário não é comum em aeronaves da aviação geral e de treinamento. O responsável no avião por receber o sinal do radar do Controle de Tráfego Aéreo e devolvê-lo com essas informações é o *transponder*.

Existem casos em que o transponder é dispensado, como informa o DECEA (2014, p. 8) “rotas especiais de aeronaves sem *transponder*; e nos espaços aéreos específicos estabelecidos para possibilitar o voo regular de ultraleves, planadores, balões, dirigíveis, aeronaves experimentais ou de treinamento”. Destaca-se que a comunicação com outras aeronaves depende da compatibilidade dos sistemas de bordo, para a comunicação ocorrer de forma assertiva. O tipo de *transponder* que possibilita essa interação é o modelo S, que é um dos principais responsáveis pelo funcionamento de alguns sistemas anticolisão (Figura 1).

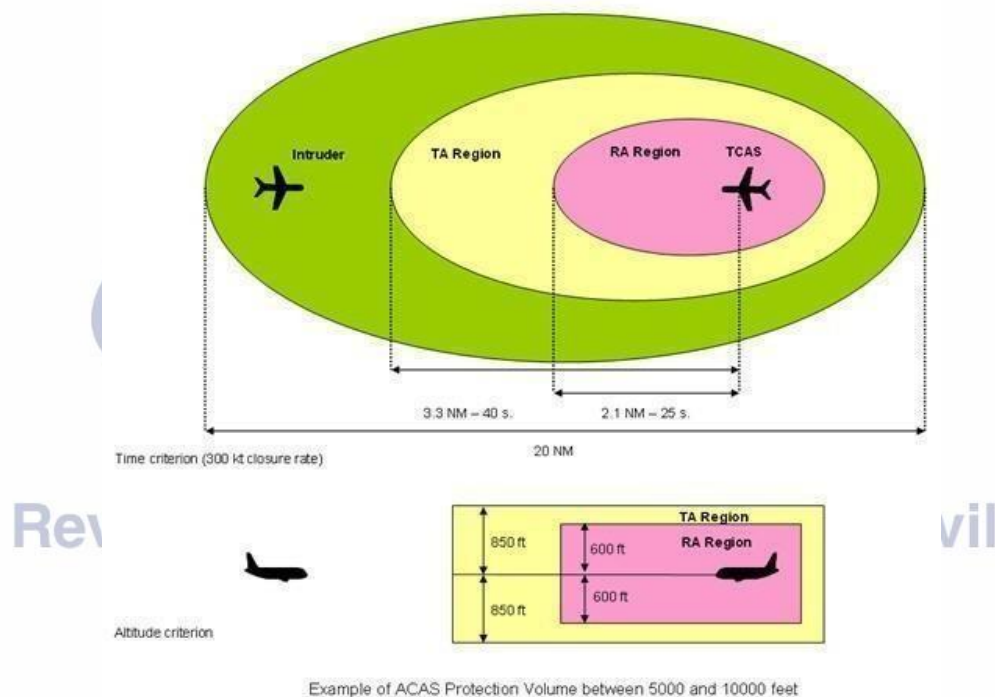
Figura 1 – Transponder



Fonte: Lengel, 2018.

De acordo com o desenvolvimento da cultura de segurança de voo cada vez mais presente, percebeu-se a importância da criação de um dispositivo ou tecnologia que permitisse evitar a colisão entre duas aeronaves ou mais no ar, assim surgiu o TCAS (Figura 2).

Figura 2 – TCAS



Fonte: Skybrary, 2022.

Conforme proposto por Gomes (2019) é dito que:

[...] Considerado um dos mais importantes instrumentos para a segurança da aviação nos dias atuais, o TCAS trabalha em conjunto com outro equipamento denominado *Transponder* e possui basicamente dois tipos de avisos para os pilotos, a TA e o RA (GOMES, 2019, p. 22).

De acordo com Gomes (2019, p. 23), "na ilustração acima, o primeiro aviso sonoro e visual dentro da área amarela é o TA ou simplesmente o *Traffic Advisory* (aviso de tráfego) *Traffic! Traffic!*", com a informação de um intruso,

porém sem precisar efetuar um desvio. Já dentro da área rosa, temos o RA ou *Resolution Advisory* (aviso de resolução ou efetuar desvio) que possui alguns alertas: *Climb! Climb! Climb!* ; *Descend! Descend!* ; *Reduce Climb!* ; *Increase Climb!*.

De forma mais evidente, o TCAS atua de maneira que proposto por Bidinotto e Cesarino (2017, p. 10), “além de serem transmitidos de maneira sonora, esses alertas também aparecem textualmente na tela do sistema”, informando que o intruso é uma ameaça potencial para segurança do voo e que a manobra necessita ser efetuada imediatamente e o piloto em comando deve seguir a instrução do TCAS a fim de evitar a colisão. Os sistemas TCAS pode ser classificado de duas formas:

- TCAS I: é um sistema meramente informativo, que mostra o tráfego nas proximidades e emite alertas caso eles estejam muito próximos.
- TCAS II: além da informação mapeada do tráfego ao redor e dos alertas, o sistema II, mais moderno, também indica a atitude precisa e detalhada que o piloto deve tomar para evitar a colisão.

A utilização do TCAS II só é possível caso as aeronaves estejam equipadas com *transponder* modelo S, que foi comentado anteriormente. Além disso, é notável que a comunicação entre as aeronaves via esse modelo define para uma aeronave uma manobra contrária do que para outra, evitando assim uma colisão ou movimento igual de desvio.

A partir do proposto, é importante ressaltar que a tecnologia aqui abordada é um dos pilares do trabalho, e colabora com o entendimento de que faz parte de forma positiva e fixa para o desenvolvimento da proposta de tecnologias e equipamentos focados na segurança da aviação.

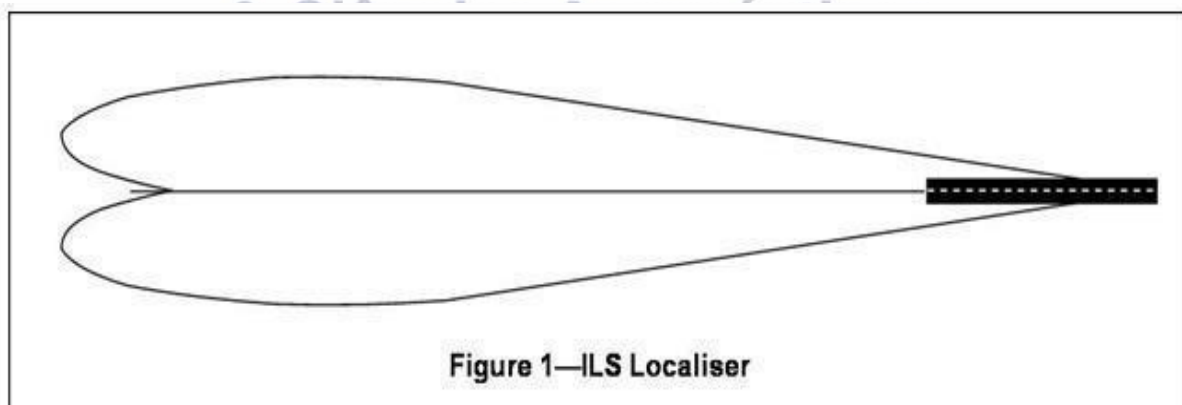
4.2 SISTEMA DE POUSO POR INSTRUMENTO ILS

A partir deste capítulo, será abordado um dos principais auxílios de segurança de voo quando falado do momento do pouso de uma aeronave. O Sistema de Pouso por Instrumento (ILS) é definido como um auxílio de aproximação de pista de precisão com base em dois feixes de rádio que, juntos, fornecem aos pilotos orientação vertical e horizontal durante uma aproximação de pouso.

Esse sistema é formado pelo *localizador* (LOC) que fornece orientação azimutal, enquanto o *glideslope* (GS) define o perfil de descida vertical correto (Figura 3). Balizadores de marcação e luzes de pista de alta intensidade também podem ser fornecidas como auxiliares para o uso de um ILS, embora os primeiros sejam mais provavelmente hoje em dia substituídos por exemplo, com um Rádio de VHF conhecido como VOR (SKYBRARY, [s.d.]).

Revista Brasileira de Aviação Civil

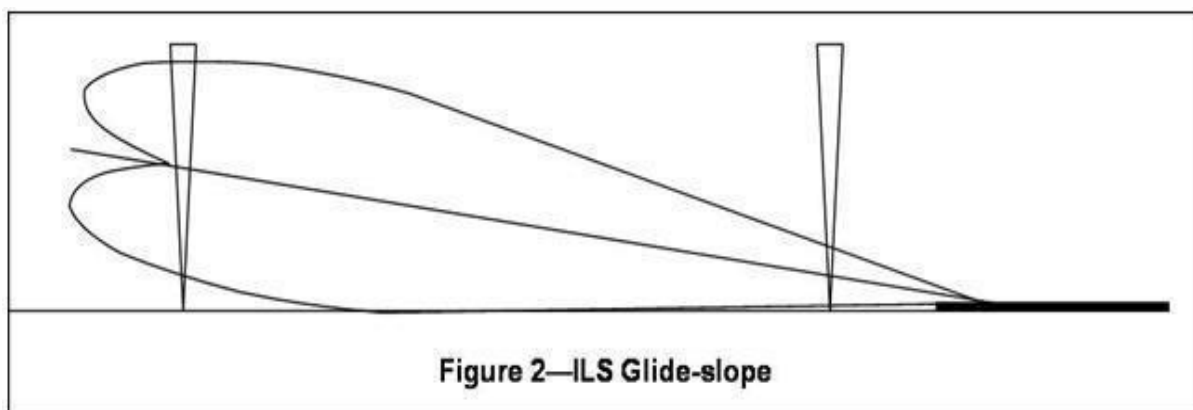
Figura 3 – Localizador



Fonte: SKYBRARY, [s.d.].

As antenas ILS LOC são normalmente localizadas no final da pista, de forma que elas transmitem dois feixes que se cruzam, e que definem a indicação 'no LOC' (Figura 4).

Figura 4 – ILS Glide-slope



Fonte: SKYBRARY, [s.d.].

As antenas ILS GS estão normalmente localizadas no aeródromo, elas transmitem dois feixes estreitos que se cruzam, um ligeiramente abaixo do perfil vertical exigido e outro ligeiramente acima dele que, onde eles se cruzam, definem a indicação "em GS". O equipamento da aeronave indica o deslocamento da aeronave acima ou abaixo do GS. As antenas do ILS são geralmente localizadas de forma que o *glide-slope* forneça uma altura de cruzamento da cabeceira da pista de cerca de 50 pés.

Um pouso não pode ser continuado, a menos que o RVR (distância na qual o piloto de uma aeronave pode ver os sinais da superfície da pista) esteja acima do mínimo especificado. Quando uma aproximação é realizada, o piloto segue a orientação ILS até que a altura de decisão (DH) seja alcançada, que são:

- Categoria I permite uma DH não inferior a 200 pés e um RVR não inferior a 550 m;
- Categoria II permite uma DH não inferior a 100 pés e um RVR não inferior a 300 m;
- Categoria IIIA permite uma DH abaixo de 100 pés e um RVR não abaixo de 200 m;
- Categoria IIIB permite uma DH abaixo de 50 pés e um RVR não inferior a 50

m;

- Categoria IIIC é um pouso totalmente automático com orientação de rolagem ao longo da linha central da pista e nenhuma limitação de DH u RVR (SKYBRARY, [s.d]):.

Esta categoria não está disponível rotineiramente principalmente devido a problemas que surgem com manobras no solo após o pouso (SKYBRARY, [s.d]). As condições especiais aplicáveis às operações de ILS de Categoria II e III abrangem tanto o tipo de aeronave, infraestrutura aeroportuária, treinamento de pilotos, etc. Neste último caso, o treinamento efetuado pelas companhias a seus pilotos, submetem a uma padronização dos procedimentos de modo a garantir que até mesmo durante o taxiamento em solo seja coordenado.

4.2 GARMIN AUTONOMI AUTOLAND

Este sistema de pouso totalmente autônomo pode ser ativado manualmente ou automaticamente quando o sistema detecta a incapacidade do piloto. Os algoritmos consideram o comprimento da pista, tempo, vento, combustível, clima e planagem para determinar o melhor aeroporto para pouso, e notifica o Controle de Tráfego Aéreo, enquanto os passageiros são atualizados sobre a posição da aeronave e tempo de pouso (PIPER, 2022).

Para Garmin (2020a, p. 01, tradução nossa) “é importante dizer que esse sistema é regulamentado e certificado nos EUA pela FAA para aviação geral” e que está disponível apenas nas aeronaves equipadas com o *glass cockpit* G3000 GARMIN (Figura 5), como os aviões Piper M600, um monomotor turboélice como na ilustração abaixo (GARMIN, 2020b).

Figura 5 – Garmin



Fonte: Garmin, 2020b.

As principais funções, incluindo extensão de *flap* (*flaps* são dispositivos ou superfícies articuladas que ajudam no arrasto e sustentação da asa) e extensão do trem de pouso também é automatizado, e assim que a aeronave tocar a pista, o sistema de travagem será ativado e pare completamente a aeronave, o motor desligará e os passageiros serão instruídos como sair da aeronave com segurança (PIPER, 2022, tradução nossa).

Quanto ao seu funcionamento, é importante salientar que o sistema pode ser desconectado pelo piloto a qualquer momento retomando o controle da aeronave, há 4 fases principais:

1. O *Autoland* é ativado manualmente ou automaticamente através de um botão e ele ganha consciência situacional e assume os controles da aeronave em emergência para assim prosseguir para um pouso seguro.
2. A comunicação é feita de forma clara com o Controle de Tráfego Aéreo e passageiros, e são prontamente alertados sobre o novo plano de voo e o tempo estimado até o pouso.

3. Monitora totalmente a consciência situacional da aeronave em tempo real e seus controles, como faria o piloto em comando. Parâmetros como tamanho da pista, o vento, o tempo e a quantidade de combustível, e as condições meteorológicas no caminho para o aeródromo mais próximo.
4. Assim que o *Autoland* pousar a aeronave com segurança, o sistema de frenagem será ativado e levará a aeronave a uma parada total e completa. Por fim, o motor será cortado e serão fornecidas instruções sobre como deixar a aeronave.

Conforme estudos e testes realizados pela Garmin com o sistema *Autonomi Autoland*, ele possui um algoritmo de seleção de aeroportos mais adequado e que considera uma série de fatores importantes, como combustível remanescente para segurança da operação do sistema, podendo também ser desativado caso a emergência seja contornada. Ainda não há a disseminação dessa tecnologia no Brasil.

5 ESTUDOS DE CASO

Os estudos de caso foram eleitos com base nos equipamentos estudados anteriormente. Primeiramente será descrito um acidente que ficou bastante conhecido no cenário nacional e internacional, pelo fato de envolver uma aeronave de uma companhia aérea brasileira e uma outra aeronave de uso executivo americano.

Seguindo para o segundo caso, é relatado um acidente que ocorreu nos Estados Unidos com uma aeronave amplamente conhecida na aviação, um Cessna Caravan, que traz uma série de falhas e erros. Finalmente o último caso trata de uma fatalidade que ocorreu com um Beechcraft King Air, igualmente nos Estados Unidos.

5.1 VOO GOL 1907

De acordo com o Relatório Final emitido pelo CENIPA em 2008, o voo GOL 1907 que partia de Manaus – AM (SBEG) para o Rio de Janeiro aeroporto do Galeão, colidiu com a aeronave EMB-135J Legacy que havia decolado às 17h51min UTC de São José dos Campos (SBSJ) em São Paulo e tinha como destino Manaus (SBEG) e depois prosseguiria para Fort Lauderdale – FL/EUA (KFL) (CENIPA, 2008).

As aeronaves envolvidas no acidente eram modernas e os pilotos da companhia aérea eram capacitados e muito experientes na função. Já os pilotos do *Legacy* também possuíam boa experiência e horas de voo, porém não neste equipamento, a aeronave era nova e recém fabricada pela Embraer.

O plano de voo apresentado pela tripulação do *Legacy* tinha como objetivo final o nível de voo FL360 após Brasília. Ao solicitar autorização para o voo e devido à dificuldade de familiarização com a língua por parte do controle de solo em São José dos Campos, os pilotos entenderam que estavam autorizados a voar o nível FL370 em toda fase do voo, e assim o fizeram (CENIPA, 2008).

De acordo com o plano de voo da aeronave da GOL, estavam autorizados a voar no nível FL410, contudo, os pilotos solicitaram o FL370 como nível final, o que é previsto e aprovado conforme regulamentação. Às 18:55 o *Legacy* prosseguiu mantendo o nível FL370 após Brasília, nível este que deveria ser FL360 ou FL380 para a aerovia e sentido no qual estavam voando. O erro não foi notado pelos controladores, pois, os pilotos do *Legacy* haviam desligado o *transponder* inadvertidamente, por possuir pouco conhecimento do equipamento e distração com outros assuntos no momento. Após mais de 30 minutos às 19:26, o centro Brasília tenta estabelecer contato com o *Legacy*, porém, sem sucesso. O centro ainda envia uma mensagem para que seja feita

a troca de frequência, mais uma vez sem resposta dos pilotos do *Legacy*. Mesmo percebendo que os pilotos não tiveram conhecimento da informação, o controlador não toma nenhuma atitude e a aeronave se mantém na rota de colisão (CENIPA, 2008).

Conforme o relatório emitido pelo CENIPA em 2008, durante um voo teste realizado pela equipe especializada, notou-se que após a investigação existiram diversos tipos de falhas no sentido da comunicação do *Legacy* com Brasília, pois naquela região a perda de comunicação era um fator já conhecido por parte da comunidade aeronáutica aqui no Brasil, além de ter sido encontrado evidências de que as cartas que os Americanos usaram durante o voo estava desatualizada. Após mais algumas tentativas sem obter contato com o centro, às 19:56:54 aconteceu a colisão entre as duas aeronaves (Figura 6).

Depois de terem colidido com a aeronave da GOL, os pilotos do *Legacy* decretaram emergência e continuaram tentando estabelecer contato, até que um avião cargueiro os ajudou, transmitindo as informações para pousassem com segurança no aeródromo Brig. Veloso (SBCC) às 20:23:00 UTC. O B737 da Gol perdeu metade da asa esquerda durante a colisão, e infelizmente caiu na floresta amazônica matando todos os ocupantes a bordo da aeronave (CENIPA, 2008).

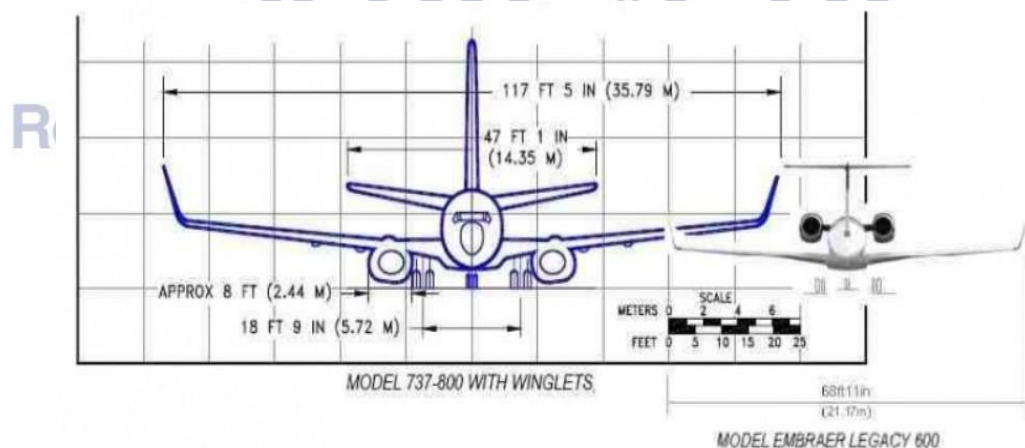
No estudo de caso apresentado, mostra-se evidente a falta de consciência situacional e da utilização do equipamento por parte dos pilotos americanos do *Legacy* que culminaram para o acidente, desligando inadvertidamente o sistema *transponder*, além do mal direcionamento por parte do Controle de Tráfego Aéreo.

É importante salientar que o sistema do TCAS embarcado em ambas aeronaves, só é funcional se ambos estiverem com o seu equipamento *transponder* modelo S em plena atividade e ligado, o que não ocorreu. Além disso, se o equipamento estivesse em plena operação, o primeiro alerta visual e

sonoro que seria possível identificar seria o de TA (*Traffic Advisory*) *Traffic! Traffic!* informando para demonstrar aos pilotos que havia uma outra aeronave intrusa em possível rota de colisão.

Após o acionamento do TA se a proximidade com a outra aeronave diminuir, temos a entrada do RA (*Resolution Advisory*) com os avisos: *Climb! Climb!* , *Descend! Descend!*, que o sistema autônomo assume, a partir daí aplicando a manobra que o avião deve tomar para assim evitar a colisão. Contudo, é possível dizer com base na investigação de que este acidente poderia ter sido evitado se o equipamento em questão estivesse ligado, ou que de alguma forma, a comunicação da aeronave *Legacy* com o Controle de Tráfego tivesse sido efetuada de forma assertiva.

Figura 6 – Geometria da colisão entre o Legacy-600 N600XL e o 737-800 PTR-GTD



Fonte: CENIPA, 2008, p. 26.

5.2 VOO CHI07FA068 CARAVAN 208B

De acordo com o relatório final emitido pelo NTSB (2007) em 8 de fevereiro de 2007, por volta das 02:25 da manhã, um Cessna 208B, matrícula N1116Y, operado pela *Suburban Air Freight Cargo*, sofreu danos substanciais no impacto com um edifício e terreno durante uma aproximação de não precisão à

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 2, n. 1, p. 178-218. mai-jun. 2022.

pista 12 no Aeroporto Municipal *Alliance* (AIA), em *Alliance, Nebraska*. As condições meteorológicas de voo por instrumentos prevaleciam no momento do acidente e o plano de voo de regras de voo por instrumentos (IFR) estava feito e foi ativado. O voo teve origem no Aeródromo de *Eppley* (OMA), por volta de 23:45, e foi despachado para *Western Nebraska* Aeroporto Regional / *William B. Heilig Field* (BFF) (NTSB, 2007, tradução nossa).

Conforme a análise do acidente, o piloto embarcou em um voo de carga não programado para um aeroporto diferente de seu destino porque o piloto ao invés de ir para o aeroporto onde tinha capacidade de pouso por instrumentos de precisão ILS. No entanto ele optou por ir para um outro, que era o de costume, porém neste apenas havia instrumentos de não precisão, como uma aproximação VOR e NDB.

A aproximação NDB foi observada como estando fora de serviço, embora ainda houvesse sinal de rádio proveniente do auxílio à navegação. O piloto foi liberado para a aproximação VOR, embora a instrumentação dentro da cabine fosse encontrada definida para NDB, e dados de rastreamento de radar revelaram que a trajetória de voo foi consistente com o caminho do NDB, não com os VORs. A meteorologia informada no aeroporto era de neblina a 200 pés. Por fim, o avião não alcançou a pista, e colidiu com um poste e um edifício.

A inspeção do avião não revelou evidências de qualquer mau funcionamento mecânico tampouco dos equipamentos dentro do cockpit (NTSB, 2007, tradução nossa). De acordo com o NTSB, a investigação conta com reporte da própria companhia que salienta:

Devido às condições de IFR a aeronave na noite anterior prosseguiu desviando e permanecendo em outro aeroporto CDR (*Chardon, Nebraska*), e sendo incapaz de ir para AIA que partiria à noite, e foi tomada a decisão de deixar este avião em CDR durante a noite e simplesmente voar em um segundo avião de OMA para BFF, onde sim, era adequado para ILS [sistema de pouso de precisão por instrumentos]. Apenas aproximações de não precisão, com mínimos mais altos, estão disponíveis em *Alliance* (AIA) (NTSB, 2007, p. 03,

tradução nossa).

No presente estudo de caso, foi observado que as causas prováveis deste acidente trazem pertinentes pontos para reflexão, que são passíveis de discussão e importante valor na aviação: segurança do equipamento, erro humano, falha no julgamento. A descida do avião abaixo da altitude mínima de descida durante uma aproximação sem precisão foi um dos principais fatores contribuintes, principalmente porque o aeroporto de Alliance apenas fornecia aproximações de não precisão, NDB e VOR.

A meteorologia do aeroporto no dia do acidente entra também como fator contribuinte, pois não foi observada adequadamente pelo piloto em atividade. Mostra-se evidente que se a aeronave estivesse em aproximação de um aeroporto com capacidade de pouso por instrumentos ILS, este acidente não teria ocorrido (Figura 7).

Figura 7 – Registro do Acidente



Fonte: NTSB, 2007.

No procedimento de aproximação ILS é importante salientar que existem dois feixes de rádio que fornecem a orientação vertical e horizontal da aeronave, sendo possível determinar a sua posição real para realizar o pouso

em perfeitas condições. Inclusive com a operação denominada CAT III *Autoland*, que possibilita a operação do pouso totalmente automático, a partir dos padrões mínimos exigidos para operação no aeroporto em questão.

5.3 BEECH SUPER KING AIR 200 VH-SKC

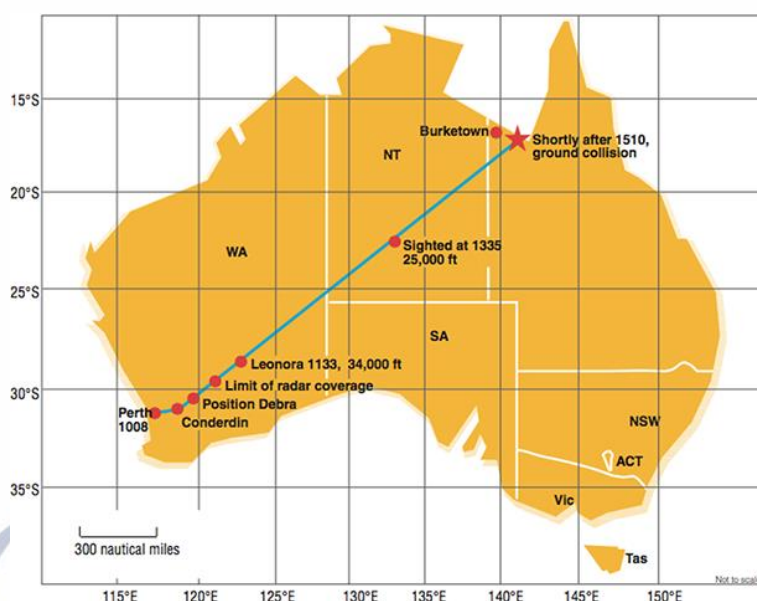
Conforme relatório final entregue pelo ATSB em 4 de setembro de 2000, uma aeronave Beech Super King Air 200, VH-SKC, partiu de *Perth*, Austrália Ocidental às 10:09 UTC em um voo charter para Leonora com um piloto e sete passageiros a bordo. Até às 10:32 a operação da aeronave e as comunicações com o piloto parecia normal. No entanto, logo após a aeronave ter subido devido à altitude atribuída, a fala do piloto ficou significativamente prejudicada e ele parecia incapaz de responder às instruções do Controle de Tráfego Aéreo.

Transmissões de microfone aberto nos próximos 8 minutos mostraram a deterioração progressiva do piloto para inconsciência e a ausência de quaisquer sons de atividade de passageiros na aeronave. Nenhuma resposta humana de qualquer tipo foi detectada pelo restante do voo. Cinco horas depois de decolar de *Perth*, a aeronave atingiu o solo perto de *Burketown*, *Queensland*, e foi destruída, não houve sobreviventes (ATSB, 2001, tradução nossa).

A investigação apurou que o piloto possuía todas as licenças válidas, inclusive a licença de saúde renovada anualmente exigida pela agência reguladora e que a meteorologia para o dia do voo estava em perfeito estado de operação para a aeronave. Depois que a aeronave subiu acima da altitude atribuída de FL250, os padrões de fala e respiração do piloto apresentaram mudanças consistentes com hipóxia, mas é improvável que uma despressurização rápida ou explosiva da cabine da aeronave tenha ocorrido. Após diversos testes foi constatado que um incêndio ou fogo, não poderia ter sido um fator contribuinte. A possibilidade de tanto os passageiros como o piloto de terem sofrido alguma complicação clínica do tipo AVC, ou infarto,

também foi descartada pela investigação (ATSB, 2001, tradução nossa).

Figura 11 – Pista de aeronaves VH-SKC, 4 de setembro de 2000



Fonte: Relatório de investigação ATSB, 2001, p. 01.

A investigação concluiu que, embora existam várias razões possíveis para o piloto e passageiros incapacitados, a incapacidade foi provavelmente resultado de hipóxia hipobárica devido à aeronave estar total ou parcialmente despressurizada e sua não receber oxigênio suplementar. Devido à extensa natureza dos danos a aeronave causada pelo impacto com o solo, e porque nenhum sistema de gravação foi instalado na aeronave (nem eram obrigados a ser), a investigação não pôde determinar o motivo da despressurização da aeronave, ou por que o piloto e passageiros não receberam oxigênio suplementar. No entanto, a investigação concluiu que um aviso sonoro para altitude de cabine elevada, e definir alertas visuais e auditivos para operar quando a altitude de pressão da cabine exceder 10.000 pés, pode ter evitado o acidente (ATSB, 2001, tradução nossa).

Após a análise deste acidente, foi possível observar alguns importantes ensinamentos que trazem notoriedade para a aviação. Diversos tipos de

problemas com relação a saúde dos ocupantes do avião foram descartados, apenas foi confirmado que sofreram de hipóxia hipobárica, esta acontece na parte do ganho de altitude da aeronave, e como decorrência da queda da pressão atmosférica e conseqüente queda da pressão parcial do oxigênio no ar ambiente e no ar dos pulmões, pela diminuição das trocas gasosas, ocasionando nos primeiros sintomas tonturas, cefaléia, sonolência, e raciocínio deficiente.

É possível conjecturar que, se essa aeronave estivesse equipada com a tecnologia autônoma da *Garmin Autoland*, o acidente provavelmente seria evitado. A tecnologia em questão, além de possuir diversos parâmetros necessários para a sua aplicação dentro da aeronave, utiliza de uma completa base de dados, incluindo aeroportos, capacidade de pouso da aeronave, combustível remanescente e etc. O seu acionamento ocorre de duas formas, ambas cabíveis ao acidente, se embarcadas, são elas: através de um botão de emergência, em caso de incapacidade do piloto os passageiros seriam capazes de acioná-lo, a outra é de forma autônoma com a inteligência artificial embarcada na aeronave, que identifica algum tipo de problema como uma depressurização de cabine, assim entrando em ação e tomando o controle da aeronave.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho se propôs a analisar o impacto positivo que tecnologias autônomas na cabine de comando de uma aeronave podem ocasionar. Com isso obteve-se um maior entendimento sobre a sua pertinente contribuição para segurança da aviação, visto que estas tecnologias podem colaborar com o aumento da capacidade de evitar acidentes.

Os equipamentos autônomos foram descritos de forma técnica, objetivando o conhecimento operacional dos mesmos, deixando de fora do

trabalho as possíveis deficiências que a automação pode trazer para a aviação. Com esta descrição, foi possível vislumbrar sua importância no contexto operacional. O estudo de múltiplos casos foi eficaz em demonstrar o impacto positivo destas tecnologias em relação à mitigação de acidentes, por meio de uma análise calcada nos conhecimentos técnicos explorados anteriormente. Desta forma, foram atingidos os objetivos propostos para este trabalho.

Por fim o trabalho apresentado limitou-se em uma pesquisa técnica que satisfaz de forma necessária para o entendimento do funcionamento dos equipamentos, sendo suficiente a revisão das tecnologias balizada na segurança que elas oferecem, além da inovação que foi proporcionada através destas, trabalhando apenas com dados descritivos e explicativos de sua função específica na aeronave. Esta abordagem foi capaz de prover um somatório de conteúdo técnico e com a proposta de suscitar o reconhecimento de que a disseminação e compreensão do funcionamento destas tecnologias autônomas auxiliam a manter o meio aeronáutico mais seguro, eficiente e funcional.

Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas

REFERÊNCIAS

AOPA AIR SAFETY FOUNDATION (AOPA) (org.). **Technologically Advanced Aircraft Safety and Training**. Estados Unidos: AOPA, 2007. Disponível em: <https://download.aopa.org/asf/TAA2007.pdf>. Acesso em: 15 maio 2021.

AUSTRALIAN TRANSPORT SAFETY BUREAU (ATSB). **Pilot and Passenger Incapacitation**: Beech Super King Air 200 VH-SKC. ATSB, 4 mar. 2001. Disponível em: https://www.atsb.gov.au/media/24344/aair200003771_001.pdf. Acesso em: 15 maio 2021.

AVIATION ACCIDENTS. Cabine de comando Airbus A321. **Aviation Accidents**, 11 jan. 2017. Disponível em: <http://www.aviation-accidents.net/british-midland-airbus-a321-231-g-medj/>. Acesso em: 22 nov. 2021.

BORGES, Vinicius Andrade. **A influência da automação na operação das aeronaves comerciais**. CEFET Araxá-MG, 2017. Disponível em:

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 2, n. 1, p. 178-218. mai-jun. 2022.

<https://www.eng-automacao.araxa.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/152/2018/01/TCC-VI NICIUS-Vers%C3%A3o-Definitiva-EAI-2017.pdf>.

BIDINOTTO, Jorge Henrique; CESARINO, Yuri. **Princípios de Aviação e Navegação - Capítulo 5 - Sistemas Anticolisão**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2017. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5823327/mod_resource/content/0/4%20Anticolis%C3%A3o.pdf. Acesso em: 27 dez. 2021.

CENTRO DE INVESTIGAÇÃO E PREVENÇÃO DE ACIDENTES AERONÁUTICOS (CENIPA). **Introdução de Displays Eletrônicos em Aeronaves de Pequeno Porte**: Estudo de Segurança em Voo - traduzido e comentado. Brasília: CENIPA, 2018. Disponível em: http://sistema.cenipa.aer.mil.br/cenipa/paginas/arquivos/glass_cockpit_final.pdf. Acesso em: 27 dez. 2021.

CENTRO DE INVESTIGAÇÃO E PREVENÇÃO DE ACIDENTES AERONÁUTICOS (CENIPA). **Relatório Final A-022/CENIPA/2008**. Brasília: CENIPA, 2008. Disponível em: http://sistema.cenipa.aer.mil.br/cenipa/paginas/relatorios/rf/pt/PR_GTD_N60 OXL_29_09_06.pdf. Acesso em: 27 dez. 2021.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). **Portaria DECEA nº167/DGCEA, de 17 de outubro de 2017**. CIRCEA 121-7 - Inspeção em Voo: inspeção em voo para vigilância dependente automática por radiodifusão (ADS-B). Disponível em: <https://publicacoes.decea.mil.br/api/storage/uploads/files/74315425-327f-40d6-9031b2103f6a9dd4.pdf>. Acesso em: 15 maio 2021.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DE ESPAÇO AÉREO (DECEA). **Portaria DECEA No 103/SDOP, DE 5 de novembro de 2014**. CIRCEA-100-67 - VOO DE AERONAVES SEM TRANSPONDER NO BRASIL. Disponível em: <https://publicacoes.decea.mil.br/api/storage/uploads/files/5d2930f2-a1cc-48d6-9932a0996c62c73b.pdf>. Acesso em: 14 março 2022.

FERREIRA, Josué Catharino. **Um breve histórico da aviação comercial brasileira, 2017**. Disponível em: <http://www.abphe.org.br/uploads/ABPHE%202017/16%20Um%20breve%20hist%C3%B3rico%20da%20avia%C3%A7%C3%A3o%20comercial%20brasileira.pdf>. Acesso: 25/03/2022

GARMIN (org.). **Autonomí Autonomous Safety-Enhancing Technologies**.

Garmin, 2020a. Disponível em: <https://discover.garmin.com/en-US/autonomi/>. Acesso em: 14 maio 2021.

GARMIN. Garmin Autoland Achieves FAA Certification for General Aviation Aircraft. **Garmin**, 18 maio 2020b. Disponível em: <https://www.garmin.com/en-US/blog/aviation/garmin-autoland-achieves-faa-certification-for-general-aviation-aircraft/>. Acesso em: 27 dez. 2021.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 176 p.

GOMES, Jeronimo Borba. **Segurança de Voo: Tecnologia na Operação da Aviação Civil**. Monografia do Curso de Ciências Aeronáuticas da Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL). Palhoça: Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL, 2019.

JAUCH, Felipe Eugenio; Larissa dos Santos Silva; Otacilio Lopes de Souza Da Paz. **Sistema de Posicionamento Global GPS**. 2014. Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/37756/APOSTILA%20GPS%202014.pdf?sequence=1>. Acesso: 25/03/2022.

LENZEL, Richie. Everything You Need to Know about Mode C Transponders. **Flying**, 27 jun. 2018.

LENZI, Greicy Kelli Spanhol. **Metodologia científica**. Florianópolis: Aerotd, 2018. 71 p.

MONTEIRO, Raul Francé. **Novas Tecnologias de Cabine em Aviões do Transporte Aéreo Regular e Transformações na Representação Social dos Pilotos**. 2007. Universidade Católica de Goiás Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Psicologia. Goiânia: PUC-GO, 2007. Disponível em: <http://tede2.pucgoias.edu.br:8080/bitstream/tede/1957/1/Raul%20France%20Monteiro.pdf>. Acesso em: 27 dez. 2021.

NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD (NTSB). **Aviation Accident Final**

Report - Accident Number: CHI07FA068. Washington, D.C., EUA: NTSB, 2007. Disponível em: https://reports.aviation-safety.net/2007/20070208-0_C208_N1116Y.pdf. Acesso em: 15 maio 2021.

NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD (NTSB). **Introduction of Glass**

Cockpit Avionics into Light Aircraft. Washington, D.C., EUA: NTSB, 2010. Disponível em: <https://www.nts.gov/safety/safety-studies/Documents/SS1001.pdf>. Acesso em: 15 maio 2021.

PAPINHA, Dinis et al. **Breve História da Aviação:** Aviação Após a 1ª Guerra Mundial. Lisboa: Instituto Superior Técnico – MEAer, 2019. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/845043405507268/Grupo%2012.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2021.

PIPER. **M600/SLS.** Piper, 2022. Disponível em: <https://www.piper.com/wp-content/uploads/2022/01/2022-M600SLS-Single-Spec-Sheet.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2022.

SANTANA, Venner Moreira. **A Evolução dos Dispositivos de Navegação.** Monografia do Curso de Ciências Aeronáuticas da Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL). Palhoça: Universidade do Sul de Santa Catarina – UNISUL, 2018. Disponível em: https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/8304/1/VENNER_MOREIRA_SANTANA-%5b51638-685-8-777146%5dMonografia_versAo_Final_entrega_-_Venner_Santana.pdf. Acesso em: 27 dez. 2021.

SKYBRARY. Sistema de pouso por instrumentos ILS. **Skybrary**, [s.d]. Disponível em: <https://skybrary.aero/articles/instrument-landing-system-ils>. Acesso em: 27 dez. 2021.

SKYBRARY. Sistema de Prevenção de Colisões Aerotransportadas (ACAS). **Skybrary**, jan. 2022. Disponível em: <https://skybrary.aero/articles/airborne-collision-avoidance-system-acas>. Acesso em: 26 jan. 2022.