

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS – PUC GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO – PROGRAD
ESCOLA CIÊNCIAS EXATAS E DA COMPUTAÇÃO
CURSO DE CIÊNCIAS AERONÁUTICAS

CONTROLE POR PROPULSÃO NA PREVENÇÃO DE ACIDENTES AÉREOS

GOIÂNIA

2020

MARCO ANTÔNIO LIMA CANUTO

CONTROLE POR PROPULSÃO NA PREVENÇÃO DE ACIDENTES AÉREOS

Artigo apresentado à Pontifícia Universidade Católica de Goiás
como exigência parcial para a obtenção do grau de bacharel em
Ciências Aeronáuticas.

Orientador: Me. Fabricio Schlag

GOIÂNIA

2020

MARCO ANTÔNIO LIMA CANUTO

CONTROLE POR PROPULSÃO NA PREVENÇÃO DE ACIDENTES AÉREOS

GOIÂNIA – GO, ___/___/___.

BANCA EXAMINADORA

Me. Fabricio Schlag _____
CAER/PUC-GO Nota: _____

Dra. Nagi Hanna Salm Costa _____
CAER/PUC-GO Nota: _____

Ma. Nadja Fernandes Raful _____
UNIGOIÁS Nota: _____

CONTROLE POR PROPULSÃO NA PREVENÇÃO DE ACIDENTES AÉREOS

MARCO ANTÔNIO LIMA CANUTO¹

FABRICIO SCHLAG²

RESUMO

A perda dos controles convencionais de voo, representa uma das condições mais críticas em que um piloto pode encarar em voo. De acordo com a Associação Internacional de Transportes Aéreos, ao longo da história da aviação comercial alguns acidentes ocorreram devido a essas situações e na grande maioria, houve vítimas fatais. Acerca das consequências nas aeronaves devido à perda dos controles em voo, esta pesquisa irá apresentar como o sistema PCA (*Propulsion Controlled-Aircraft*) e os estudos dos conceitos de Controle por Propulsão, podem contribuir para a redução de acidentes aéreos dessa natureza. Dessa forma, serão analisados regulamentos, artigos técnicos, manuais e relatórios de incidentes e acidentes aéreos, para que sejam identificados os problemas relacionados a perda de controle em voo. Serão exibidos os resultados das análises finais envolvendo os testes de controle por propulsão, destacando suas características e benefícios para redução de futuros acidentes aéreos. Utilizou-se uma abordagem quantitativa nas análises. Ao final, serão apresentadas e discutidas as questões principais envolvidas nos processos de implementação do sistema nas aeronaves atuais. Constata-se que, os órgãos reguladores e outras autoridades aeronáuticas têm papel fundamental para o reconhecimento da necessidade do sistema PCA na prevenção de futuros acidentes aéreos relacionados a perda dos controles de voo.

Palavras-chave: Propulsão Controlada; Perda de Controle em Voo; Acidentes aéreos.

ABSTRACT

The loss of conventional flight controls represents one of the most critical conditions in which a pilot can face in flight. According to the International Air Transport Association, throughout the history of commercial aviation, some accidents have occurred due to these situations and in the vast majority, there have been fatal victims. About the consequences on aircraft due to the loss of controls in flight, this research will present how the PCA system (Propulsion Controlled-Aircraft) and studies of the concepts of Propulsion Control, can contribute to the reduction of air accidents of this nature. Thus, regulations, technical articles, manuals and reports of incidents and air accidents will be analyzed, to identify problems related to loss of control in flight. The results of the final reports involving the propulsion control tests will be displayed, highlighting their characteristics and benefits for reducing future air accidents. A quantitative approach was used in the analyzes. At the end, the main issues involved in the process of implementing the system on current aircraft will be presented and discussed. It appears that regulatory bodies and other aeronautical authorities have a fundamental role in recognizing the need for the PCA system to prevent future air accidents related to the loss of flight controls.

Keywords: *Propulsion Control; Loss of Control in Flight (LOC-1); Air Crash.*

INTRODUÇÃO

O desejo de voar sempre esteve nos instintos do homem. No decorrer da Ascensão humana e no desenvolvimento da tecnologia, várias tentativas e projetos foram elaborados no intuito de alcançar tal feito. A partir do final da segunda guerra mundial, a aviação comercial começou a desenvolver-se e desde então, vem crescendo excepcionalmente. Responsável pelo deslocamento de pessoas e mercadorias além de outros serviços cruciais, o transporte aéreo tem um papel fundamental na abertura de novos mercados e no desenvolvimento de uma determinada região.

Conforme citado, a aviação comercial tem uma função essencial na sociedade atual. Devido as características do transporte aéreo, um acidente fatal sempre será um risco presente na utilização de aeronaves e as consequências desses acidentes são devastadoras. Os acidentes aéreos podem ser eventos bem complexos e resultado de vários fatores contribuintes. Dentre eles, a perda de controle em voo, é uma das condições mais críticas que podem ocorrer a bordo de uma aeronave, e quando ocorrem, são fatais segundos as estatísticas.

Acerca dos problemas que envolvem a perda dos controles de voo, é válido o questionamento; quais as consequências deste problema em aeronaves comerciais? O que é possível fazer diante dessas situações? De que forma a indústria aeronáutica pode contribuir para reduzir tais eventos?

O presente estudo tem como objetivo analisar as consequências da perda de controle em voo em aeronaves comerciais e apresentar os conceitos envolvidos sobre controle por propulsão, evidenciando sua relevância no âmbito da segurança para redução de tais ocorrências. A pesquisa a ser realizada caracteriza-se como exploratória, documental e qualitativa. Os materiais utilizados para a pesquisa são basicamente documentais. Foram analisados relatórios de acidentes disponibilizados pelas agências responsáveis pelas investigações, manuais disponibilizados pela Associação Internacional de Transportes Aéreos (*International Air Transport Association – IATA*), Administração Federal de Aviação (*Federal Aviation Administration – FAA*), e relatórios de técnicos dos projetos envolvendo os conceitos de propulsão controlada e sistema PCA. Os dados serão coletados por meio de relatórios, manuais e artigos técnicos.

A estrutura do estudo está dividida em cinco sessões. A primeira descreve o sistema de controle de voo das aeronaves, destacando sua função e servindo de base para os conteúdos seguintes. Na segunda seção, abordaremos a definição de perda de controle em voo (*Loss of Control in Flight - LOC-1*), assim como as estatísticas dos acidentes relacionados a tal evento. Em seguida, serão vistos estudos de casos com correspondência direta aos eventos LOC-1. A quarta seção analisaremos a perda dos controles de voo nas aeronaves, demonstrando os conceitos de controle por propulsão. Por fim, será apresentado as características do sistema da tecnologia PCA, discutindo os principais benefícios de sua implementação.

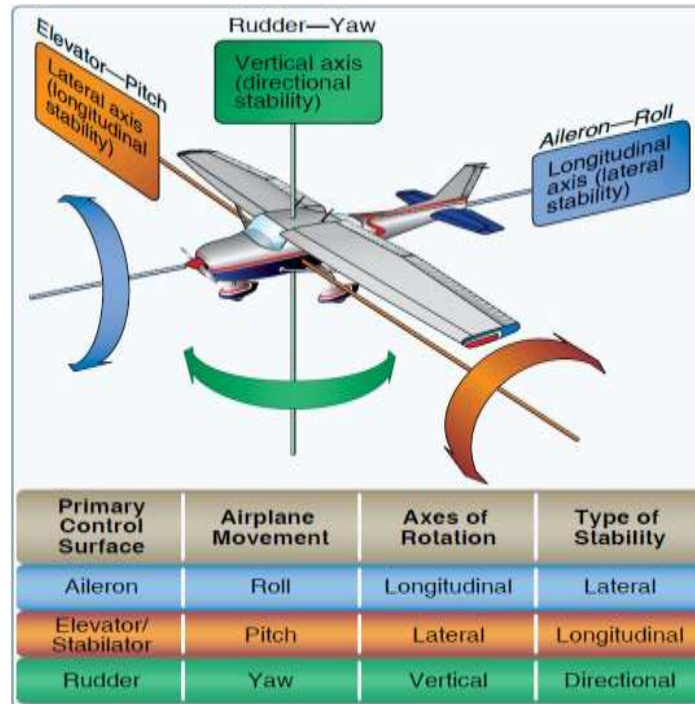
A partir dessa construção, é provável que o estudo aponte os benefícios reais do sistema PCA na prevenção de acidentes aéreos. Os dados apresentados neste estudo serão analisados do ponto de vista técnico, buscando sempre sua relevância em relação ao tema proposto.

1 SISTEMA DE CONTROLE DE VOO E SEUS COMPONENTES

De acordo com a FAA, a condução manual da aeronave é definida como “o gerenciamento da trajetória de voo utilizando-se *pitch* (arfagem), *yaw* (guinada) e *roll* (rolamento), adicionalmente, mas não necessariamente com o uso de diretor de voo (*Flight directors*) e *autothrotles*” (MARK, 2017).

Dessa forma, uma aeronave manobra ao redor de três eixos imaginários basicamente falando. Primeiramente o eixo longitudinal, que se estende ao longo do nariz até a cauda do avião. O movimento em torno desse eixo é denominado rolamento (*roll*) e é realizado pela atuação dos ailerons. O eixo lateral ou transversal, é um eixo imaginário que atravessa a aeronave de uma asa a outra. O movimento que se dá ao torno desse eixo denomina-se arfagem (*pitch*), e é desempenhado pelo profundor. E por último, o eixo vertical atravessa a aeronave de cima para baixo, o movimento ao redor do mesmo é conhecido por guinada (*yaw*), esse movimento é realizado através do leme de direção (FAA, 2018).

Figura 1 - Controles da aeronave, movimentos, eixos de rotação e tipo de estabilidade.



Fonte: faa.gov, chapter 6 flight controls (2016)

As superfícies que fornecem movimento em torno dos três eixos citados, são classificadas “superfícies primárias de controle permite que a aeronave evolua através do espaço aéreo” (FAA, 2018).

O Sistema de Controle de Voo, é o mecanismo que movimenta as superfícies de controle do avião. Estas superfícies são encontradas nas aeronaves de controles de voo convencionais e são acionadas pelos pilotos, através dos manche e dos pedais conectados à mesma por meio de cabos, polias e barras de torção. Através desses comandos que é realizado a pilotagem manual. Existe também as superfícies de controle secundárias (*flaps, slats, spoilers e trims*) que não colaboram para o controle da aeronave conforme retratado, mas sim, para aumentar a sustentação ou aliviar cargas dinâmicas (FAA, 2018).

Para auxiliarem os pilotos e fornecer energia mecânica para os sistemas de controle de voo, o sistema hidráulico é utilizado na maioria das aeronaves. O sistema utiliza a pressão transmitida por um fluido, para acionar componentes vitais da aeronave. Nos aviões de grande porte é utilizado para mover o profundor (*elevator*), leme (*rudders*), *flaps*, recolher o trem de pouso etc. Em aviões pequenos usa-se apenas para acionar os freios, pois a própria força do piloto é suficiente para acionar o resto. O sistema hidráulico é o mais utilizado nas aeronaves pois é de baixo custo, de fácil manutenção, simples e confiável (HOMA, 2009).

Atualmente, as aeronaves comerciais como o A320, A330 ou A350, contam com equipamentos sofisticados com a tecnologia (*Fly-By-Wire* - FBW). Essa interface eletrônica, é usada para a proteção do envelope de voo da aeronave, não permitindo que os limites de voo sejam ultrapassados. Dessa forma, os computadores interpretam os comandos enviados pelos pilotos através de *inputs* eletrônicos e os enviam para as superfícies de controle. O sistema é vantajoso pois não há necessidade de cabos e polias como citado acima, reduzindo o peso e consequentemente o custo operacional de voo. Devido ao avanço tecnológico, há um grande nível de automatismo nas aeronaves comerciais atuais. Durante a maioria das fases de voo, a atuação manual dos pilotos é restrita somente para pouso e decolagens (AIRBUS, 2019).

Além da tecnologia FBW, as aeronaves atuais contam também o *Flight Management Guidance Computer*. O FMGC, é um computador que contém todos os dados de navegação (procedimentos, rotas, aerovias), dados de desempenho (autonomia, altitude, velocidade), além de fornecer também, o perfil ideal de voo para determinadas condições.

Para o controle automático dos motores, as aeronaves dispõem dos *Full Authority Digital Engine Computer* (FADECs). Este sistema complexo é capaz de monitorar todos os parâmetros de desempenho dos motores, o objetivo é controlar os motores e permitir que eles sejam mais eficientes. O sistema também permite o controle automático da aceleração para a velocidade e o regime de voo. Pode-se constatar que, uma aeronave sempre estará sob o comando manual dos pilotos ou sob o comando automático, de qualquer forma, a tarefa de gerenciamento para que a aeronave se mantenha controlável é sempre dos pilotos (AIRBUS, 2019).

2 PERDA DE CONTROLE EM VOO (LOC-1): CARACTERÍSTICAS E ESTATÍSTICAS

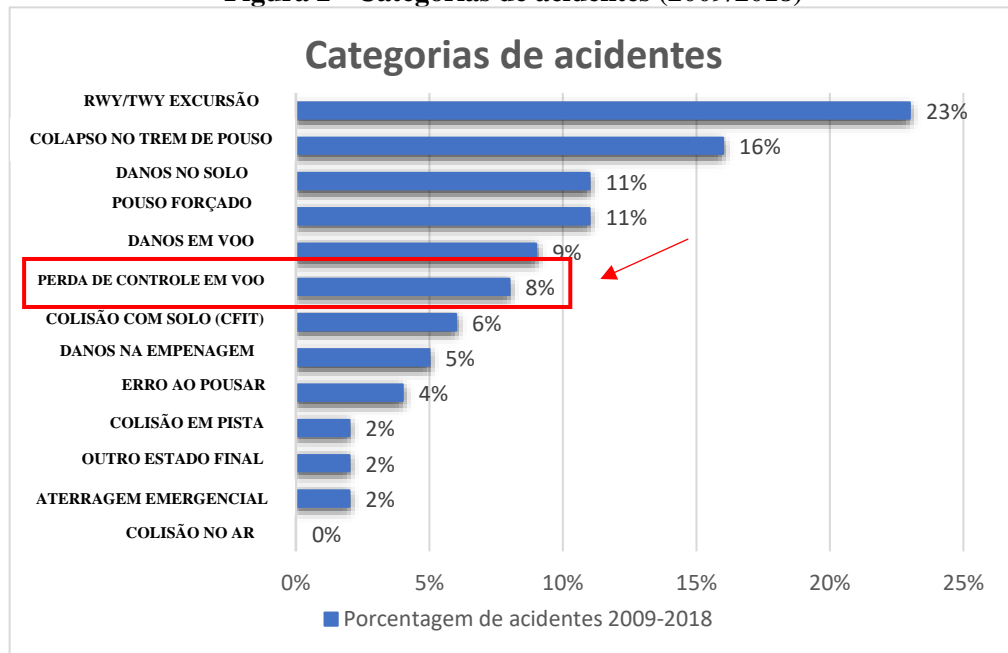
De acordo com a IATA (2019, p.1) “LOC-1 refere-se a acidentes em que a tripulação de voo foi incapaz de manter o controle da aeronave em voo, resultando em um desvio irreversível da trajetória de voo”. A Perda de Controle em Voo (LOC-1) pode ser resultado de vários fatores que interferem na capacidade de manter a aeronave na trajetória desejada. Geralmente esses acidentes estão associados a incapacidade da tripulação em prevenir ou recuperar-se de estóis aerodinâmicos (IATA, 2019).

Jacobson (2010) ressalta que a LOC-1 nas últimas décadas, vem se tornando a principal causa de acidentes envolvendo aeronaves a jato. Dentre as principais categorias de acidentes

fatais, eventos relacionados a LOC-1 requer atenção pelo número de fatalidades que costumam ocorrer. Eventos dessa categoria são bastante complexos e ocorre em situações imprevistas (JACOBSON, 2010).

Conforme o relatório de Segurança (*Safety Report*) publicado em 2019 pela IATA (*International Airlines Transport Association*), entre o período de 2009/2018, os acidentes relacionados a LOC-1 representaram apenas 8% dentre os acidentes totais analisados conforme o gráfico na Figura 2.

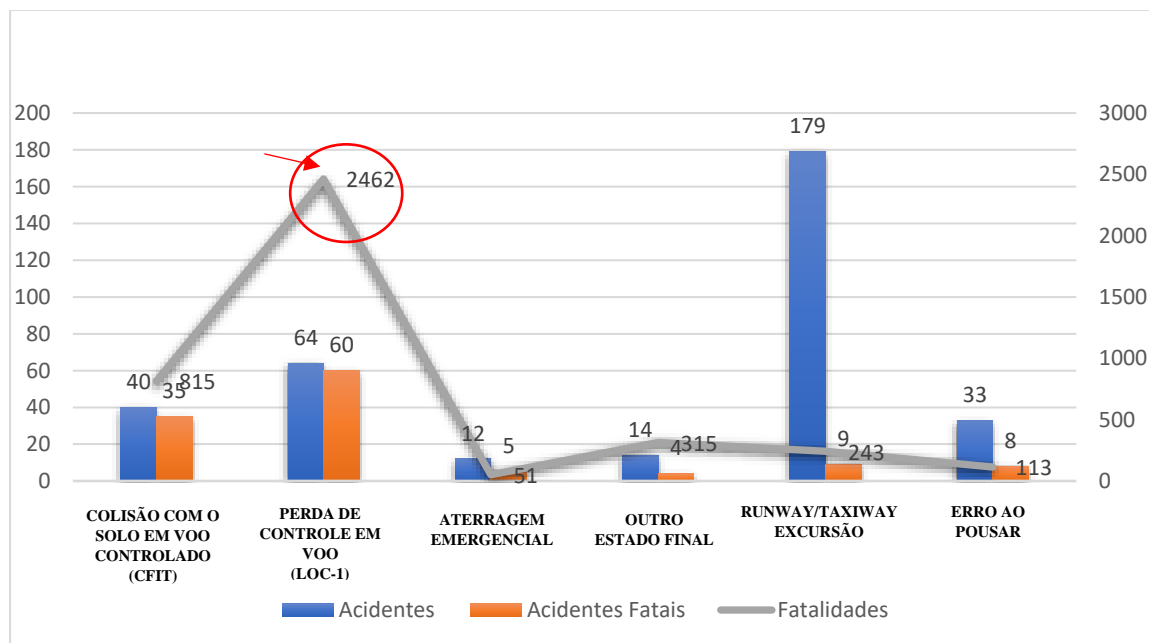
Figura 2 - Categorias de acidentes (2009/2018)



Fonte: IATA GADM 2019 (com adaptações)

Observa-se que, embora não sejam tão frequentes em relação as outras categorias, os acidentes relacionados a LOC-1 resultam em mais mortes que todas as outras categorias juntas, como mostra a Figura 3. “Os acidentes LOC-1 são quase sempre catastróficos; 94% dos acidentes analisados envolveram a morte de passageiros e da tripulação” (IATA, 2019).

Figura 3 - Principais categorias de acidentes fatais (2009/2018)



Fonte: IATA GADM 2019 (com adaptações)

De acordo com a publicação *Safety Risk Portfolio and Key Risk Areas*, as ocorrências de LOC-1 são caracterizadas em Operacionais (*Operational*), Técnicas (*Technical*) e Fator Humano (*Human*). É possível apontar os fatores contribuintes como meteorologia, manutenção e fatores gerenciais (treinamento) na maior parte dos eventos estudados (EASA, s.d.).

As falhas nos sistemas da aeronave, as quais interferem no controle e na direção, também são citadas como potenciais ameaças aos eventos LOC-1. A falha total do sistema hidráulico (TLOH), representa uma das condições mais críticas que pode ocorrer a bordo. Embora falhas como essa não sejam frequentes, os sistemas hidráulicos são vitais para a aeronave, não há alternativas quando o sistema é totalmente danificado (FRANK, STEVENS, BRODERICK, & WILSON, 2009). O relatório concluiu também que, os acidentes estudados não seguem um padrão específico, havendo múltiplas razões para a perda de controle em voo LOC-1 (IATA, 2019).

A seguir serão demonstrados alguns casos de acidentes e incidentes aéreos, ressaltando a falha nos sistemas hidráulicos como um dos fatores cruciais para a perda de controle em voo LOC-1. Os acidentes relatados, geralmente são causados por eventos imprevisíveis que danificaram as linhas hidráulicas provedora dos movimentos para as superfícies de controle. Em cada um dos casos, as tripulações sofreram bastante dificuldades para controlar a aeronave, usando os motores de forma alternativa (BURCHAM, BURKEN, MAINE, & FULLERTON, 1997).

3 CASOS RELACIONADOS A PERDA DE CONTROLE EM VOO

Em 1973, a aeronave militar americana C-5A transportava 300 órfãos durante as evacuações nas operações guerra no Vietnam. Durante a subida para o nível de cruzeiro, uma falha de antepara de pressão traseira, destruiu parcialmente a fuselagem e o sistema hidráulico da aeronave. Após a falha, os pilotos tentavam manter desesperadamente o controle da aeronave. Depois de analisarem a situação, a tripulação decidiu realizar um pouso forçado. Apesar das tentativas dos pilotos, no momento da aproximação do pouso, a aeronave sofreu uma grande variação de altitude, colidindo ao solo. Não houve sobreviventes. Simulações e estudos extensos foram feitos após o acidente, a fim de preparar as tripulações do C-5A para futuros eventos de perda dos controles de voo (BURCHAM, BURKEN, MAINE, & FULLERTON, 1997).

Em 1985, o voo 123 da *Japan Airlines* enfrentou problemas hidráulicos resultantes de uma descompressão na vedação da cabine. Após a falha os pilotos perderam os controles de voo e tentaram de qualquer maneira manter a aeronave no ar. A tripulação do Boeing 747 continuou voando por 30 minutos mesmo sem os controles convencionais de voo, eventualmente a aeronave acabou se chocando contra uma montanha. Mais de 520 pessoas perderam a vida no acidente. O acidente é o mais mortal da história envolvendo somente uma aeronave. (BURCHAM, BURKEN, MAINE, & FULLERTON, 1997).

O Acidente do voo 232 da *United Airlines* ocorreu no dia 19 de julho de 1989. Durante o nível de cruzeiro, a tripulação do DC10 se deparou com a falha total dos sistemas hidráulicos devido a desfragmentação em voo do disco de turbina do motor 2. Assim como no voo 123 da *Japan Airlines*, após a falha os pilotos tiveram dificuldade para manter a aeronave em voo (NTSB, 1990).

Apesar de todos os fatores que limitavam a capacidade dos pilotos em controlar o avião, eles conseguiram prosseguir até o aeroporto de *Sioux City*. No momento da aproximação e do pouso forçado, os pilotos não conseguiram controlar com precisão a aeronave para efetuar um pouso seguro e colidiram com o solo. Apesar da fatalidade, 181 das 296 pessoas a bordo sobreviveram devido aos esforços da tripulação. As causas do acidente, motivou os pesquisadores e a indústria aeronáutica a investir em métodos alternativos para solucionar os problemas de perda dos controles de voo (NTSB, 1990).

Em 23 de setembro de 2003, logo após decolar do aeroporto internacional de Bagdá, a tripulação do Airbus A-300, foi atingida por um míssil disparado por um grupo terrorista que estavam próximos ao aeroporto. O projétil atingiu a borda traseira da ponta da asa esquerda, causando um incêndio na asa e perda total dos sistemas hidráulicos. Assim como no voo 232 *United Airlines*, a tripulação do A300 se deparou com a mesma situação de perda dos controles de voo, e para piorar a asa esquerda desintegrava-se devido ao fogo e ao vazamento de combustível. Apesar de todas as adversidades, a tripulação conseguiu limitadamente controlar a aeronave, retornar ao aeroporto e fazer um pouso seguro (EVANS, 2004).

Os registros indicaram que no momento da aterrissagem, a aeronave estava com uma razão de descida de aproximadamente 10m/s, bem similar a um pouso convencional. A tripulação teve um ótimo desempenho utilizando com extrema eficácia todas as informações disponíveis e reagindo extremamente rápido após serem atingidos. A tripulação foi homenageada por diversos prêmios, contribuindo significativamente para novos estudos para a redução de futuros casos similares. (EVANS, 2004).

4 CONCEITO DE CONTROLE POR PROPULSÃO

Quando uma aeronave enfrenta condições adversas (como perda dos sistemas hidráulicos e perda iminente de controle de voo), os motores são uma alternativa de fornecer o controle da aeronave para a tripulação. Essa técnica é conhecida por *Throttles Only Control* (TOC). Segundo Fuller (2012), os motores a jato podem produzir momentos substanciais nas aeronaves que podem ser usados para o controle de voo. O empuxo diferencial das aeronaves bimotoras, pode produzir os movimentos de rolamento (*roll*) e guinada (*yaw*), e o uso conjunto da potência pode fornecer o movimento de arfagem (*pitch*) (FULLER, 2012).

De acordo com o *Manual Manipulation Of Engine Throttles For Emergency Flight Control*, quando as superfícies de controle de voo estão inoperantes, duas dinâmicas de voo começam atuar na aeronave. Essas dinâmicas de voo são conhecidas por *Phugoid Mode* (oscilações longitudinais) e *Dutch Roll Mode* (oscilações laterais). Esses modos de voo são tendências negativas geradas pela ausência do controle direcional de voo. Dessa forma, para a tripulação recuperar o controle da aeronave, é necessário compreender como a aeronave se comporta durante essas tendências (BURCHAM, FULLERTON, & MAINE, *Manual Manipulation of Engine Throttles for Emergency Flight Control*, 2004)

Burcham, Fullerton e Maine (2004) explicam que, no caso das oscilações longitudinais (*Phugoid mode*), devido à ausência da atuação do profundor, o avião se comportará como uma montanha-russa subindo e descendo em ciclos. Conforme o nariz da aeronave sobe, a velocidade do ar diminui, e vice versa. Essas oscilações geralmente são amortecidas com o tempo, e o grau de amortecimento é definido pelas características de design de cada modelo de aeronave. Já no caso das oscilações verticais, a ausência dos ailerons e do leme de direção, faz com que a aeronave se torne instável nos respectivos eixos. Essas oscilações laterais assim como nas oscilações longitudinais, tendem a serem amortecidas com o tempo, e o que vai determinar essa variação são as características de cada aeronave (disposição e tipo de asas).

Segundo as recomendações do manual de emergência (*Manual Manipulation Of Engine Throttles For Emergency Flight Control*). O primeiro passo a ser seguido pela tripulação em uma emergência dessa natureza, é imediatamente tentar nivelar as asas e estabelecer um nível constante de voo. Para conquistar a condição de TOC, os pilotos devem dividir as tarefas para melhorar o desempenho e reduzir a carga de trabalho.

Os procedimentos recomendados para os pilotos manterem o controle de *pitch* e corrigir as oscilações longitudinais, incluem a utilização da potência em momentos bem calculados e cronometrados. Essa potência deve ser aplicada de forma suave, quando o nariz da aeronave estiver acima da linha do horizonte e com a tendência iminente de cair. Se o nariz estiver abaixo do horizonte e subindo, deve-se diminuir a potência brevemente. Esses pulsos devem ser aplicados até as oscilações cessarem. Para tentar manter as asas niveladas e corrigir as oscilações laterais, os pilotos devem usar os motores de forma manual e assimétrica para gerar os movimentos de guinada (*yaw*) e rolagem (*roll*). Os fatores como tempo de resposta dos motores, estado de compensação do leme, a distância dos motores da linha central da aeronave e as características das asas, vão influenciar diretamente no desempenho (FRANK, STEVENS, BRODERICK, & WILSON, 2009).

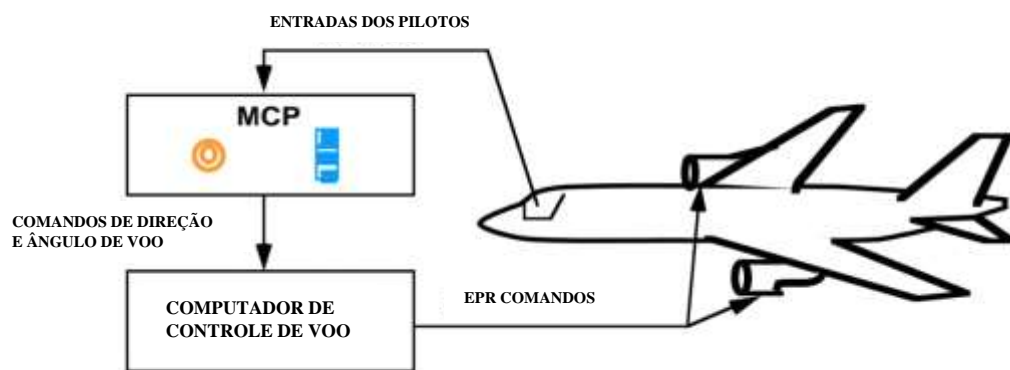
Apesar de ser possível controlar a direção e o nível de voo através somente do uso manual da potência dos motores, o nível de controle da aeronave nessas circunstâncias é extremamente limitado. Um pouso seguro em uma pista ideal seria improvável de realizar, entretanto, um pouso forçado pode ser possível em um terreno e condições climáticas adequadas (FRANK, STEVENS, BRODERICK, & WILSON, 2009).

5 SISTEMA PCA (*PROPULSION-CONTROLLED AIRCRAFT SYSTEM*)

Os sistemas de controles de voo das aeronaves, tiveram um desenvolvimento significativo ao longo da história da aeronáutica. É inegável que as operações se tornaram muito seguras com o avanço da engenharia eletrônica e as tecnologias envolvidas nos sistemas de navegação e orientação das aeronaves modernas. No entanto, alguns incidentes e acidentes aéreos envolvendo muitas fatalidades, ainda ocorrem em algumas ocasiões. Após uma série de acidentes fatais relacionados a perda dos sistemas primários de controle de voo, em 1989, o centro de pesquisa de voo NASA's *Dryden Flight Research Center* iniciou projetos para desenvolver sistemas de alternativa para pouso em situações adversas como perda dos controle de voo (KANESHIGE & GUNDY-BURLET, 2009).

Um método muito eficaz de garantir e dar assistência aos pilotos durante uma emergência dessa natureza, foi desenvolvido como alternativa em casos onde as superfícies de controles como ailerons, profundor e leme estão inoperantes. A pesquisa baseia-se na tecnologia do sistema PCA (*Propulsion Controlled-Aircraft System*). O dispositivo é um *software* eletrônico de voo que trabalha em conjunto aos computadores da aeronave. Esse sistema converte os comandos normais de controle de voo, por comandos de controle por propulsão, aproveitando os controles do piloto automático já existentes nas aeronaves como mostra a Figura 4 (BURCHAM, BURKEN, MAINE, & FULLERTON, 1997).

Figura 4 - Sistema PCA



Fonte: (BULL, et al., 1995)

O conceito do sistema PCA é relativamente simples, para controlar a altitude do avião, o sistema aplica potência para subir o nariz da aeronave e reduz para descer. Para controlar o ângulo de curva e a direção da aeronave, o sistema utiliza a potência dos motores de forma assimétrica. Devido a limitação do controle e do tempo de resposta lento dos motores a jato,

realizar essa tarefa manualmente não é uma tarefa fácil e requer muito treinamento e concentração por parte dos pilotos. O uso da tecnologia PCA nas aeronaves, elevaria o nível de precisão do voo e reduziria significativamente a carga de trabalho da tripulação, no caso de uma eventual emergência (GIBBS, 2017).

Posteriormente, por volta de 1995, foi testado e validado em simuladores, através do piloto de testes da NASA Gordon Fullerton, ocorreu o primeiro pouso real usando somente os aceleradores como opção de controle. No teste real de voo envolvendo a aeronave MD-11, uma versão do sistema PCA adaptada com os instrumentos de pouso, foi capaz de promover um pouso seguro, sem a necessidade de interferência dos pilotos nos controles de voo após a ativação do piloto automático (BURCHAM, MAINE, BURKEM, & BULL, 1998).

Após o sucesso do sistema na aeronave MD-11, duas novas versões do sistema (*PCA Lite-PCA Ultra-lite*), foram desenvolvidas e testadas na aeronave B747. Essas novas versões tinham o custo menor do que a anterior e não necessitavam de mudanças nos equipamentos originais. Utilizando a versão *PCA-Lite* nas simulações, os pilotos efetuaram diversos pousos, mesmo com a ausência dos controles normais de voo. Os resultados iniciais demonstraram que, embora o sistema *PCA-Lite* necessite de controles digitais dos motores, ele é tão eficaz quanto a versão completa. O sistema demonstrou também compatibilidade nos modelos de aeronave B757, B767 e B777 (BULL, et al., 1997)

Ao contrário das outras, na versão *PCA-Ultralite* não é necessário o controle digital dos motores FADECS, tornando uma versão bem mais simples. Porém, devido à ausência desse controle digital, a tarefa de controlar o ângulo de curva e a direção da aeronave é feita manualmente pelo piloto. Apesar de ser uma tarefa difícil e necessitar de muita prática, o sistema *PCA-Ultralite* auxilia os pilotos durante as manobras, exibindo informações e dicas cruciais nas telas de informações disponíveis no *cockpit*. A versão *Ultralite* foi testada nas aeronaves B747, B757, MD-11 e C-17. Durante os testes, todos os pousos realizados de forma segura (BURCHAM, MAINE, BURKEM, & BULL, 1998)

O resultado dos testes envolvendo o sistema PCA e suas versões posteriores, excederam as expectativas dos pesquisadores. Alguns profissionais da área desacreditavam do sucesso da tecnologia, porém, ao final das demonstrações o sistema cumpriu os objetivos e demonstrou seu potencial para a segurança preventiva (BURCHAM, BURKEN, MAINE, & FULLERTON, 1997).

Um estudo conduzido pela agência espacial NASA, relacionado aos benefícios possíveis da implementação do sistema PCA nas aeronaves comerciais de grande porte, demonstrou que a tecnologia PCA poderá reduzir significativamente os acidentes aéreos, além de reduzir

também os custos operacionais. O custo da integração do sistema é relativamente baixo, e o sistema eliminaria a necessidade de equipamentos extras, reduzindo o peso das aeronaves em futuros projetos. O estudo demonstrou também que, a tecnologia salvaria uma aeronave de grande porte a cada 30 anos (BULL, et al., 1995).

O sucesso da tecnologia PCA foi possível graças os esforços envolvidos pelos profissionais da NASA em parceria com outras empresas da indústria aeronáutica. Embora a tecnologia representar um grande salto tecnológico, o Conselho Nacional de Segurança nos Transportes (NTSB) não identificou a real necessidade da integração do sistema PCA nas aeronaves atuais. O sistema pode ser muito bem, um exemplo do trabalho da indústria aeronáutica no progresso na redução dos acidentes que não foi devidamente considerado (BULL, et al., 1995).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa abordou a perda de controle em voo LOC-1 como um dos principais causadores de fatalidades dentre as categorias de acidentes em aeronaves comerciais no período 2009/2018. Foram apresentados os conceitos técnicos básicos, aos controles de voos e seus componentes básicos.

Dentre os fatores contribuintes da perda de controle em voo LOC-1 abordados, a falha dos sistemas hidráulicos e a perda dos controles convencionais foi o foco principal da pesquisa. Os casos apresentados, demonstraram as consequências que envolvem tais falhas. Dessa forma, ressalta-se a necessidade da atenção dos órgãos reguladores e autoridades aeronáuticas, dentro da perspectiva de segurança para a prevenção de futuros acidentes aéreos.

O conceito de controle por propulsão (TOC) foi apresentado como uma forma alternativa para os pilotos de obter-se o controle da aeronave em emergências. Apesar do nível de dificuldade em realizar a técnica manualmente, o caso com a tripulação do A300 em Bagdá e os estudos baseados nos conceitos de controle por propulsão conduzidos pela NASA, demonstraram que na maioria das vezes, a tripulação pode controlar limitadamente a aeronave através somente dos motores da aeronave.

Desse modo, para garantir que a perda dos controles convencionais de voo não represente mais um risco real nos voos, o sistema PCA foi apresentado no intuito de trazer mais segurança e redução dos custos operacionais em futuras aeronaves. Os dados dos relatórios finais da pesquisa envolvendo o projeto PCA demonstrados, mostraram que, a integração do

sistema em conjunto com os equipamentos dos aviões forneceu o controle necessário para a realização de um pouso seguro na grande maioria das vezes.

Destacou-se que os conceitos de controle por propulsão, assim como a tecnologia PCA, tem muito a oferecer para a aviação, desse modo, é necessário a divulgação e o incentivo por parte dos órgãos regulamentadores e as autoridades aeronáuticas, para o reconhecimento da sua aplicabilidade no mercado da aviação moderna.

REFERÊNCIAS

AIRBUS. (2019). **A350 Flight Crew Operating Manual**. Toulouse, França.

BULL, J.; MAH, R.; DAVIS, G.; CONLEY, J.; HARDY, G.; GIBSON, J.; . . . WILLIAMS, D. (1995). **Piloted Simulation Tests of Propulsion Control as Backup to Loss of Primary Flight Controls for a Mid-Size Jet Transport**. Moffett Field: NASA Technical Memorandum. Disponível em: https://openlibrary.org/works/OL18454952W/Piloted_simulation_tests_of_propulsion_control_as_backup_to_loss_of_primary_flight_controls_for_a_mi. Acesso em: 15 mai. 2020.

BULL, J.; MAH, R.; HARDY, G.; SULLIVAN, B.; JONES, J.; WILLIAMS, D.; . . . WINTERS, J. (1997). **Piloted Simulation Tests of Propulsion Control as Backup to Loss of Primary Flight Controls for a B747-400 Jet Transport**. Moffett Field: NASA Technical Memorandum. Disponível em: <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/12794>. Acesso em: 10 mar. 2020.

BURCHAM, F. W.; BURKEN, J. J.; MAINE, T. A.; & FULLERTON, G. (1997). **Development and Flight Test of an Emergency Flight Control System Using Only Engine Thrust on an MD-11 Transport Airplane**. Edwards: NASA Technical Memorandum. Disponível em: https://www.nasa.gov/centers/dryden/pdf/88500main_H-2170.pdf. Acesso em: 20 mai. 2020

BURCHAM, F. W.; FULLERTON, G.; & MAINE, T. A. (2004). **Manual Manipulation of Engine Throttles for Emergency Flight Control**. Edwards: NASA Dryden Flight Research Center. Disponível em: https://www.nasa.gov/centers/dryden/pdf/88776main_H-2547.pdf. Acesso em: 24 mai. 2020.

BURCHAM, F. W.; MAINE, T. A.; BURKEM, J. J.; & BULL, J. (1998). **Using Engine Thrust for Emergency Flight Control: MD-11 and B-747 Results**. Edwards: NASA Technical Memorandum. Disponível em: https://www.nasa.gov/centers/dryden/pdf/88576main_H-2232.pdf. Acesso em: 21 mai. 2020

BURKEN, J. J.; & BURCHAM Jr, F. W. (1997). **Flight-Test Results of Propulsion-Only Emergency Control System on MD-11 Airplane**. JOURNAL OF GUIDANCE,

CONTROL, AND DYNAMIC, 980-987. DOI: <https://doi.org/10.2514/2.4143>. Disponível em: <https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/2.4143>. Acesso em: 3 mar. 2020.

EASA. (s.d.). **Loss of Control in General Aviation**. Fonte: easa.

EVANS, D. (1 de novembro de 2004). **Safety: Throttles-Only Aircraft Control**. Disponível em: <https://www.aviationtoday.com/2004/11/01/safety-throttles-only-aircraft-control/>. Acesso em: 4 jun. 2020.

FAA. (2018). **Flight Controls: chapter 6**. Fonte: FAA: https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/phak/media/08_phak_ch6.pdf

FRANK, B. W.; STEVENS, R.; BRODERICK, R.; & WILSON, K. (2009). **Manual Throttles-Only Control Effectiveness for Emergency**. 9th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference (p. 24). Hilton Head: American Institute of Aeronautics & Astronautics. . DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2009-7088>. Disponível em: <https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2009-7088>. Acesso em: 25 mai. 2020

FULLER, J. W. (2012). **Integrated Flight and Propulsion Control for Loss-ofControl Prevention**. AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference (p. 8). Minneapolis: American Institute of Aeronautics & Astronautics. DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2012-4896>. Disponível em: <https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2012-4896>. Acesso em: 30 mar. 2020.

GIBBS, Y. (7 de Agosto de 2017). **NASA Armstrong Fact Sheet: Propulsion Controlled Aircraft**. Disponível em: NASA: <https://www.nasa.gov/centers/armstrong/news/FactSheets/FS-041-DFRC.html>. Acesso em: 23 mar. 2020

HOMA, J. M. (2009). **Aeronaves e motores: conhecimentos técnicos**. São Paulo: ASA.

IATA, I. A. (2019). **Loss of Control In-Flight Accident Analysis Report**. Montreal: 2019 edition. Disponível em: <https://www.iata.org/en/programs/safety/loss-of-control-inflight/>. Acesso em: 12 abr. 2020.

JACOBSON, S. R. (2010). **Aircraft Loss of Control Causal Factors and Mitigation Challenges**. AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference (p. 18). Ontario: American Institute of Aeronautics & Astronautics. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/citations/20100039467>. Acesso em: 23 mai. 2020.

KANESHIGE, J.; & GUNDY-BURLET, K. (2009). **Integrated Neural Flight and Propulsion Control System**. AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference Exhibit (p. 11). Montreal: American Institute of Aeronautics & Astronautics. Disponível em: https://moam.info/integrated-neural-flight-and-propulsion-control-_5a1e5bd81723dd543c7b56f2.html. Acesso em: 3 jun. 2020.

MARK, R. (16 de Maio de 2017). **FAA: Manual Flying Skills Still Lacking**. Fonte: flyingmag: <https://www.flyingmag.com/faa-manual-flying-skills-still-lacking/>

NTSB, N. T. (1990). **AIRCRAFT ACCIDENT REPORT - UNITED AIRLINES FLIGHT 232, McDONNELL DOUGLAS DC-10-10, SIOUX GATEWAY AIRPORT, SIOUX CITY, IOWA, JULY 19, 1989**. Washington. Disponível em: <https://www.nts.gov/Investigations/AccidentReports/Pages/AAR9006.aspx>. Acesso em: 16 abr. 2020.

Contatos:

e-mail: macanuto11@hotmail.com

fone: +55 62 99219-9799