

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

GUSTAVO PILATI

A INFLUÊNCIA DA AUTOMAÇÃO NA CONSCIÊNCIA SITUACIONAL DOS PILOTOS

Porto Alegre

2012

GUSTAVO PILATI

A INFLUÊNCIA DA AUTOMAÇÃO NA CONSCIÊNCIA SITUACIONAL DOS PILOTOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito para colação de grau de obtenção de diploma pelo Programa de Graduação da Faculdade de Ciências Aeronáuticas da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Orientador: André Luís Boff

Porto Alegre

2012

GUSTAVO PILATI

A INFLUÊNCIA DA AUTOMAÇÃO NA CONSCIÊNCIA SITUACIONAL DOS PILOTOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito para colação de grau de obtenção de diploma pelo Programa de Graduação da Faculdade de Ciências Aeronáuticas da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Aprovado em: 20 de Novembro de 2012

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Me. André Luís Boff

Prof. Hildebrando Hoffman

Prof. Eloir Dario de Bittencourt

Porto Alegre

2012

Dedico este trabalho a todos que, de alguma
forma, me ajudaram a chegar até este
momento único. Mas agradeço,
principalmente, aos meus pais por todo
apoio recebido. Amo vocês.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Mestre André Luís Boff pelo empenho e dedicação durante a orientação deste trabalho.

Aos colegas e professores da faculdade de Ciências Aeronáuticas pelo conhecimento transmitido, pelo companheirismo e apoio ao longo destes três anos.

A todos os instrutores que participaram da minha formação, com os quais tive a oportunidade de não só aprender, mas também dividir conhecimento e experiências que serão levados para o resto da vida.

A todos, meu muito obrigado!

“Quando você tiver provado a sensação de voar,
andar  na terra com os olhos voltados para o céu,
onde esteve e para onde desejar  voltar.”

Leonardo da Vinci

RESUMO

Este trabalho está direcionado diretamente ao tema do automatismo relacionado à segurança de voo. O foco principal é na análise de sistemas de automação e o impacto que este tem sobre a segurança da aviação civil a nível mundial.

O primeiro tópico abordado diz respeito à Consciência Situacional quanto ao automatismo atual, sendo que atualmente passou a ser exigido dos pilotos muito mais que habilidades básicas de voo manual, mas também um gerenciamento atento e eficaz dos sistemas embarcados nas aeronaves. Destaca-se que enquanto algumas formas de automatismo são extremamente vantajosas, outras podem induzir a perda de Consciência Situacional, ocasionando erros de performance, ações erradas e tirando os pilotos do *loop* da operação.

O segundo tópico abordado é a evolução presente nas cabines de comando desde o início da aviação. Não foi só o tamanho das aeronaves que aumentou, mas a tecnologia embarcada e a complexidade da automação também. O que antes era realizado por até sete pessoas dentro de uma cabine, hoje em dia pode ser realizado com somente duas pessoas, sendo grande parte das funções atribuídas aos computadores.

O terceiro e último tópico consiste no estudo de caso de dois acidentes em que houve participação direta da interação homem-máquina para o resultado final do acidente.

Palavras – Chave: Automatismo. Segurança de Voo. Boeing. Airbus. Fly-By-Wire. Consciência Situacional.

ABSTRACT

The focus of this research is on automation systems related to the flight safety. The main goal is the analysis of automation systems and the impact this has on the main goal of civil aviation, the worldwide security.

The first topic deals with Situational Awareness related to the actual level of automation inside cockpit. Currently, the pilots are required to handle lots of information and be the managers of the automation instead of flying the airplane as in the old days. While some systems modes are extremely useful, others can lead to the loss of Situational Awareness, and bad decisions can take the pilots out-of-the-loop.

The second topic is about the evolution of the cockpit since the beginning of aviation. Not only aircrafts became bigger in size, but also the cockpit itself has changed to a place where now pilots control computers instead of the aircraft. Only two persons and a computer can now handle all the tasks that were executed by seven persons inside the cockpit.

The third and last topic consists of two case studies where the interaction between human-machine has played a direct role in the accident.

Key Words: Automation. Flight Safety. Boeing. Airbus. Fly-By-Wire. Situational Awareness.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - A diferença do conhecimento no espaço temporal	19
Figura 2 - Níveis de Consciência Situacional.....	21
Figura 3 - Consciência situacional	22
Figura 4 - Cockpit do Super Constellation	29
Figura 5 - Painel do Engenheiro de Voo Super Constellation.....	30
Figura 6 – Cockpit de um Boeing 767-300	31
Figura 7 – Cockpit de um Cessna 172 Skyhawk.....	31
Figura 8 – PFD de um B737NG	33
Figura 9 – ND com Wx Radar e TCAS de um B737NG	34
Figura 10 – EICAS de um B747.....	34
Figura 11 - Manetes de Potência B737.....	35
Figura 12 - PFD e ND do Airbus.....	37
Figura 13 - Sidestick do Copiloto.....	38
Figura 14 - Ajustes do ATHR	43
Figura 15 - ECAM Actions A320	49
Figura 16 - Gráfico do Cl x Ângulo de Ataque em diferentes velocidades.....	58

LISTA DE SIGLAS

ADR – Air Data Reference

AT – Autothrottle

ATHR – Autothrust

CENIPA – Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos

CFIT – Controlled Flight Into Terrain

CG – Centro de Gravidade

CL – Climb

CRM – Crew Resource Management

ECAM – Electronic Centralized Aircraft Monitor

EFIS – Electronic Flight Instrument System

EICAS – Engine Indicating and Crew Alerting System

ELT – Emergency Locator Transmitter

FAA – Federal Aviation Administration

FADEC – Full Authority Digital Engine Control

FBW – Fly by Wire

FCOM – Flight Crew Operating Manual

FD – Flight Director

FDR – Flight Data Recorder

FMA – Flight Mode Annunciator

FMC – Flight Management Computer

FMGS – Flight Management and Guidance System

FMS – Flight Management System

FPV – Flight Path Vector

GPWS – Ground Proximity Warning System

HRO – High Reliability Organizing

IAS – Indicated Airspeed

ILS – Instrument Landing System

ISIS – Integrated Standby Instrument Systems

MCP – Mode Control Panel

MCT – Maximum Continuous Thrust

NASA – National Aeronautics and Space Administration

ND – Navigation Display

PF – Pilot Flying

PFD – Primary Flight Display

PM – Pilot Monitoring

PSO-BR – Programa Brasileiro de Segurança Operacional na Aviação Civil

SA – Situational Awareness

SIPAER – Serviço de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos

SOP – Standard Operating Procedures

TAS – True Airspeed

TCAS – Traffic Collision and Avoidance System

TLA – Thrust Lever Angle

TOGA – Takeoff Go-Around

VMO/MMO – Velocidade Máxima Estrutural

VOR - VHF Omnidirectional Radio Beacon

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Contextualização	14
1.2	Objetivo	15
1.3	Justificativa	15
1.3	Metodologia	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	SEGURANÇA DE VOO	16
2.1.1	Importância e Definições	16
2.2	<i>SITUATIONAL AWARENESS</i> (CONSCIÊNCIA SITUACIONAL).....	20
2.2.1	Níveis de Consciência Situacional	21
2.3	MONITORAMENTO DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS	22
2.3.1	Complacência e confiança no Automatismo	23
2.3.2	Ergonomia de cabine e o impacto na Consciência Situacional	24
2.4	AUTOMAÇÃO.....	27
2.4.1	Evolução na Cabine de Comando	29
2.5	BOEING	31
2.5.1	Filosofia Operacional	31
2.5.2	Electronic Flight Instrument Systems (EFIS)	32
2.5.3	Engine indicating and crew alerting system (EICAS).....	34
2.5.4	Autothrottle e Manches de comando.....	34
2.6	AIRBUS	36
2.6.1	Filosofia Operacional	36
2.6.2	Uso da Automação	36
2.6.3	Electronic Flight Instrument Systems (EFIS)	37
2.6.4	Autothrust e <i>sidesticks</i>	38
2.7	DIFERENÇAS ENTRE BOEING E AIRBUS	39
2.8	ESTUDO DE CASO	44
2.8.1	British Airways	44
3	ANÁLISE.....	46
3.1	Fly-by-Wire.....	46
3.2	British Airways	48
3.3	Quantas Flight 32	48
3.3.1	Histórico	48

3.3.2	Análise.....	51
3.4	American Airlines 952.....	51
3.4.1	Histórico.....	51
3.4.2	Análise.....	52
3.5	Air France AF 447	55
3.5.1	Histórico.....	55
3.5.2	Análise.....	57
4	CONCLUSÃO	62
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

É consenso entre profissionais do segmento aeronáutico que o automatismo é de suma importância para a aviação. A diminuição da carga de trabalho é somente um dos pontos importantes para a aviação moderna. Consequentemente, ele torna a operação mais segura e contribui, assim, para a diminuição dos acidentes e incidentes.

Em função disso, desde a criação destes sistemas, as funções do piloto têm mudado bastante. Se antes pilotar era realmente uma tarefa árdua e era o “pé e mão” que diferenciava um dos outros, hoje esse panorama mudou. Pode-se até mudar o nome da profissão para “Gerenciador de Sistemas Complexos” visto que, com o nível de automatismo atual, o piloto nada mais é do que um operador deste sistema, alimentando-o antes do voo com informações referentes à rota e performance da aeronave. Porém, quem realmente comanda a aeronave durante o voo é o sistema de voo automático, restando ao piloto o gerenciamento destas ações e, caso seja necessário, fazer uma intervenção.

Essa mudança na função do piloto é irreversível, já que o automatismo na aviação tornou-se fundamental, pois viabiliza o trabalho dos tripulantes mantendo o voo conforme planejado, enquanto os mesmos podem realizar tarefas de gerenciamento, tais como monitoramento do consumo de combustível, cenário de voo e de aproximação, por exemplo.

O automatismo pode, por vezes, ser um problema para as tripulações. Isso pode ocorrer devido a diversos motivos, como por exemplo, não estarem totalmente adaptados àquele sistema ou, às vezes, por não tomarem a decisão correta em momentos de falhas sistêmicas.

Precisa-se de uma interação *piloto-máquina* e *piloto-piloto* extremamente eficiente para que não sejamos reféns do sistema, mas sim supervisores de toda a operação.

As evidentes vantagens dos sistemas automatizados não os livram de eventuais falhas e problemas. A má utilização, seja por falta de conhecimento técnico ou por complacência com os procedimentos, podem induzir à perda da consciência situacional, erros e, dessa forma, tirar os pilotos do controle da operação, ou seja, tirá-los do *loop* da operação.

Esta interação, que tem um limiar muito tênue entre o trabalho bem feito e o trabalho considerado perigoso, será parte constituinte deste trabalho juntamente com o aspecto de Segurança de Voo.

1.2 Objetivo

Esse trabalho tem como objetivo geral analisar a influência da automação na interação homem-máquina e na consciência situacional dos pilotos. Também, pretende-se analisar as diferentes concepções de automatismo entre as duas principais fabricantes de aeronaves atualmente: AIRBUS e BOEING.

Para tanto, o trabalho baseou-se nos diferentes conceitos de engenharia empregados na construção dos sistemas embarcados e que visam a facilitar a sua utilização bem como a aumentar a segurança de voo, através da padronização destes sistemas.

Como objetivos específicos:

1. Caracterizar a evolução da automação nas aeronaves e a consciência situacional na aviação;
2. Comparação entre os sistemas automatizados utilizados pelos fabricantes citados acima apontando suas principais características, semelhanças e diferenças conceituais;
3. Analisar dois acidentes que, apesar de terem ocorrido num intervalo de tempo muito grande, têm muitas semelhanças no que diz respeito à interação do ser humano com a máquina.

1.3 Justificativa

Torna-se evidente a necessidade de se avaliar a interação entre piloto e máquina, estando a aviação em constante movimentação e mudanças. Um Boeing 737 decola a cada 5 segundos em algum lugar do mundo e há, em média, 1000 deles voando ao mesmo tempo ao redor do planeta¹.

Airbus e Boeing são as maiores fabricantes de aeronaves comerciais do mundo e responsáveis por grande parte da frota aérea mundial. Ao analisar a tecnologia empregada por cada um dos fabricantes, ter-se-á uma noção melhor das semelhanças e diferenças entre eles, com seus pontos positivos e também negativos.

A automação veio para facilitar o trabalho do piloto, porém nem sempre isso acontece. Para isto, neste trabalho pretende-se analisar a ergonomia dos sistemas complexos, como eles interagem com o ser humano e como isto pode influenciar nas suas ações dentro da cabine de comando.

¹ The Boeing Company, *BWIA West Indies Airways' First Boeing 737-800 Carries Relief Supplies*, 2000. http://www.boeing.com/news/releases/2000/news_release_000107d.html.

1.3 Metodologia

Com o intuito de obterem-se dados verdadeiros e coerentes com a proposta deste trabalho, será empregada uma metodologia de pesquisa com base: i) Nas buscas e análises bibliográficas bem como revisões de literatura em trabalhos acadêmicos, livros e artigos relacionados à Automação de Cabine e Fatores Humanos na Aviação; ii) No estudo de caso de dois acidentes em que houve participação direta ou indireta da automação e/ou da relação com a automação por parte dos pilotos;

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SEGURANÇA DE VOO

2.1.1 Importância e Definições

É conhecida por todos a importância da segurança de voo na aviação, pois, sem ela, os índices de acidentes fatais seriam muito maiores e as perdas também. Todo relatório final de um acidente aeronáutico não tem a pretensão de apontar culpados ou responsáveis pelo acidente, mas sim apontar fatores contribuintes, sejam eles desvios operacionais ou falhas no sistema. Deste modo, procura-se, através desta análise, a prevenção da ocorrência de acidentes.

De acordo com o CENIPA²:

O trinômio “o Homem, o Meio e a Máquina”, é o pilar da moderna filosofia SIPAER. Assim, as investigações de acidente aeronáutico são concentradas nos aspectos básicos, identificados e relacionados com a atividade aeronáutica, agrupados nos fatores Humano, Material e Operacional.

O Fator Humano compreende o homem sob o ponto de vista biológico em seus aspectos fisiológicos e psicológicos. O Fator Material engloba a aeronave e o complexo de engenharia aeronáutica. O Fator Operacional compreende os aspectos que envolvem o homem no exercício da atividade, incluindo os fenômenos naturais e a infraestrutura.

² Disponível em: <http://www.cenipa.aer.mil.br/cenipa/index.php/o-cenipa/historico>

A segurança de voo, hoje, deve ser mantida em níveis aceitáveis de acidentes, o que, segundo o PSO-BR³ é definido como:

Art. 7º - O indicador adotado para avaliação do PSO-BR, é a taxa anual de acidentes aeronáuticos que envolvem mortes de passageiros em operações regulares, por 100.000 (cem mil) decolagens, envolvendo aeronaves de asa fixa com massa máxima de decolagem certificada igual ou superior a 2.250 (dois mil duzentos e cinquenta) quilogramas, excluindo atos de interferência ilícita.

Em 1988, foi citada por Walter Heller a visão de *HRO*, que se fundamenta na afirmação de que na interação homem-máquina, o elo frágil é o ser humano. Desta forma, a segurança só será atingida se for evitado o erro humano por meio da estipulação de regras operacionais condizentes com cada tarefa. Comumente é chamada de “Old View”.

Para a HRO, há uma ênfase necessária na gestão e no controle dos processos. São inseridas redundâncias e barreiras nos sistemas tecnológicos, objetivando a segurança e, desta forma, evitando o erro humano, erro este que é tido como causador de acidentes.

De acordo com Dekker (2002), existem duas maneiras de ver o erro humano. Uma delas é acreditar que o erro humano é a causa de todos os problemas, parando neste ponto a análise. A solução é falar com a pessoa e dizer: **Seja mais atenciosa; tente mais um pouco; siga o procedimento!** A pergunta que se faz nesta visão é “**Quem** é o responsável pelo acidente?”. A outra visão é acreditar que o erro humano é uma consequência, sendo ele o efeito de problemas mais profundos dentro de uma organização. Nesta visão, um contexto totalmente novo surge, um contexto em que se devem procurar erros nas metas, na racionalidade local do humano na hora do acidente, perguntando “**O que** é responsável pelo acidente”.

Existe ainda a teoria da maçã podre⁴ que define:

- Os sistemas complexos são perfeitos e teriam funcionado corretamente se não fosse o comportamento errado de algumas pessoas (a maçã podre)
- Erros humanos causam acidentes; os humanos são os principais contribuintes para mais de dois terços deles.

³ Programa Brasileiro Para a Segurança Operacional da Aviação Civil. Disponível em: <http://www2.anac.gov.br/arquivos/pdf/PSO-BR.pdf>

⁴ DEKKER, Sidney **The Field Guide to Human Error Investigation**, p. 3, 2002

- As falhas acontecem e são surpresas desagradáveis. São inesperadas e não pertencem ao sistema, ou seja, são introduzidas por pessoas não confiáveis.

Ao assumir que o sistema complexo é naturalmente seguro e que se sabe exatamente como ele funciona, tudo o que precisa ser feito é protegê-lo de pessoas não confiáveis. Porém, essa afirmação não funciona na maioria dos sistemas complexo porque não sabemos realmente como eles funcionam e não podemos especificá-los totalmente.

Nesta teoria, o real progresso na segurança de voo é praticamente nulo, já que, como citado, o problema é o ser humano que errou, ele que fez a ação errada e a qual culminou num acidente. Ao focar em falhas individuais o problema por de trás do humano dentro do cockpit não deixa de existir, portanto, esta visão falha em remover o elemento potencial a novos erros.

Normalmente, as recomendações de segurança para proteger o sistema do comportamento humano são:

- Crie novos regulamentos que deixem menos espaço para dúvidas. Isto reduz a margem na qual as pessoas operam, deixando menos espaços para erros.
- Introduzir mais tecnologia para monitorar ou substituir o trabalho humano. Se as máquinas fazem o trabalho, então humanos não podem mais cometer erros nesta função. E com as máquinas monitorando as ações do humano, elas podem evitar um comportamento inadequado ou uma manobra errática.

Uma das soluções apresentadas é a adição de novas tecnologias, como por exemplo, adicionar uma luz para advertir o piloto de que há uma condição não prevista, porém ela não remove a probabilidade do erro humano, mas sim cria outro problema. “Para que serve esta luz? Como que iremos agir caso ela acione? O que fazemos para desligá-la? Ela acendeu ontem e não significou nada, por que precisamos nos preocupar hoje?”

Porque usar esta teoria então? Ela é relativamente simples de entender e de implementar, mas o mais importante é que é a solução mais econômica, a que vai necessitar de menos investimentos para corrigir o problema. O sistema está funcionando, ele é seguro, foram só ações erradas de alguns seres humanos que desencadearam um acidente.

Também não se pode assumir que o simples fato de não ter ocorrido nenhum acidente ou incidente no passado significa que o nível de segurança é bom. Dekker cita o exemplo da Transocean e da British Petroleum, empresas responsáveis pela plataforma de petróleo

Deepwater Horizon⁵. Estas empresas visitaram a plataforma poucos dias antes do acidente para comemorar que estavam há sete anos sem nenhuma interrupção no trabalho devido a algum acidente.

Ainda pensando que sistemas complexos são perfeitos, existe o *Hindsight Bias*, que nada mais é do que olhar para uma sequência de eventos já ocorridos sabendo o resultado final, normalmente culminando em um acidente. Deste modo, é fácil perceber onde o ser humano errou, pois se sabe que esta ação/inação foi parte contribuinte de um acidente maior. Acontece que, na visão do operador no dia do acidente, isto não era claro, ele não tinha como saber qual seria a consequência de seus atos e nem o que iria acontecer com o voo. É preciso ter atenção para não misturar a realidade do investigador (que tem um conhecimento muito maior do que ocasionou o problema em um voo, por exemplo) e a realidade do piloto na hora do acidente.

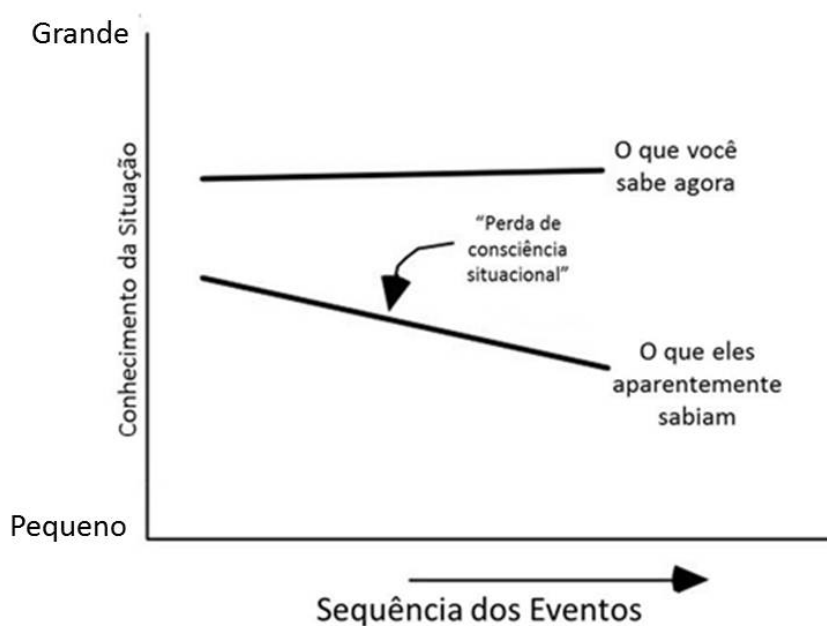


Figura 1: A diferença do conhecimento no espaço temporal

Fonte: DEKKER, Sidney. *The Field Guide to Human Error Investigations*, p. 19, 2002.

Porém, a outra forma de analisarmos o erro humano é considerá-lo como uma consequência de problemas mais profundos numa organização e tratá-lo como o início de uma investigação, e não o fim dela. Esta é a chamada “New View”.

A segurança nunca é o único objetivo num sistema complexo, sempre há pressão econômica em todas as operações, pressão esta que está ligada diretamente ao mercado

⁵ Deepwater Horizon foi uma plataforma de petróleo que explodiu no Golfo do México dia 20 de Abril de 2010, ocasionando o maior desastre ambiental deste tipo no mundo.
<http://www.bp.com/sectiongenericarticle800.do?categoryId=9036575&contentId=7067541>

competitivo, imagem pública e serviço ao cliente. Nesta nova visão do erro humano as pessoas são vitais para criar segurança. Eles são os únicos que podem “negociar” entre segurança e outras pressões impostas durante a operação.

Apesar do nome “New View”, ela não é tão nova assim. O início da análise dos “fatores humanos na aviação” começou com Paul Fitts em 1947, que, ao observar 460 casos de acidentes onde a causa principal foi classificada como “Erro Humano” ele percebeu que na grande maioria dos casos, o acidente se resumia ao piloto acidentalmente operar a alavanca do trem de pouso após o pouso ao invés da alavanca do flap. Isso ocasionava o recolhimento indevido do conjunto de rodas, danificando seriamente o avião.

Fitts observou que em todos os aviões acidentados as duas alavancas estavam próximas uma da outra além de serem muito parecidas. A ordem delas variava de avião pra avião, o que consistia, segundo ele, numa armadilha armada, pronta para ser disparada a menor desatenção da tripulação. (Dekker, p. 61, 2002)

2.2 SITUATIONAL AWARENESS (CONSCIÊNCIA SITUACIONAL)

Consciência Situacional é um termo utilizado mundialmente, sendo que o seu significado pode variar conforme o contexto que é empregado. Normalmente usado no meio aeronáutico, desenvolveu-se também em sistemas dinâmicos e complexos, como hospitais e indústrias de energia nuclear, petróleo, etc.

Endsley (1996) define Consciência Situacional como “A percepção de elementos no ambiente dentro de um volume de tempo e espaço, a compreensão de seus significados e a projeção de seu estado num futuro próximo”. Aplicando ao meio aeronáutico, refere-se ao piloto estar ciente e entender o atual estado da aeronave e do meio em que se encontra. A avaliação, compreensão ou monitoramento inadequados de algum parâmetro de voo contribui para uma deficiente “Consciência Situacional”, podendo conduzir a ações impróprias pelo piloto.

2.2.1 Níveis de Consciência Situacional

Os chamados níveis de consciência situacional (SA) são definidos da seguinte forma: O primeiro nível envolve a percepção do meio; O entendimento e a compreensão dos fatores definem o segundo nível; A projeção futura do quê e como irá acontecer constitui o terceiro e mais alto nível.

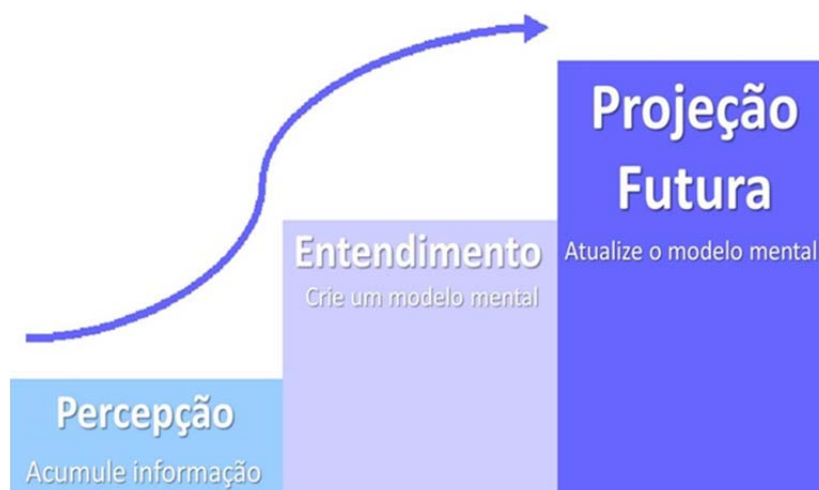


Figura 2: Níveis de Consciência Situacional
Fonte: Baseado em ENDSLEY, Mica R, 1996

- Nível 1 – Percepção.

O piloto deve estar ciente de parâmetros críticos de voo, o estado de seus sistemas, sua própria localização e a de pontos de referência importantes, como também a localização de outras aeronaves. Estas informações formam os “elementos” necessários do 1º nível de Consciência Situacional.

- Nível 2 – Entendimento

Um ponto importante é como os operadores interpretam as informações que têm. Eles precisam compreender que certo padrão de parâmetros indica que eles estão próximos da velocidade de estol, ou que a altitude mostrada no indicador está abaixo da qual foi autorizada. Este entendimento forma o 2º nível.

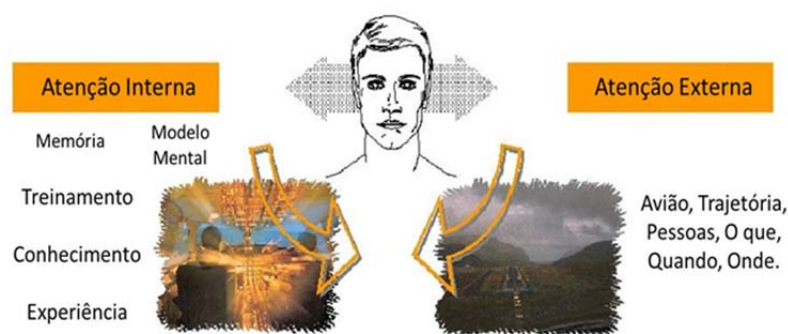


Figura 3: Consciência situacional
 Fonte: Airbus Safety Library (2007 p. 4).

- Nível 3 – Projeção Futura

No 3º e mais alto nível, o entendimento do estado do sistema e o seu dinamismo permite aos operadores prever o seu comportamento num futuro próximo. Com uma completa consciência situacional, operadores podem atuar nos sistemas em conformidade com suas metas.

2.3 MONITORAMENTO DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS

Segundo Endsley (1996, p.1), o papel do operador humano mudou drasticamente no último século. Ao invés de executar tarefas, o trabalho agora é ser monitor de um sistema automatizado, um papel que pessoas normalmente não estão aptas a realizar.

Já que os sistemas a serem monitorados continuam a aumentar em complexidade com a adição da automação, um aumento na tendência de uma falha catastrófica normalmente acompanha a incorporação da automação (Wickens, 1992⁶; Wiener, 1985⁷; *apud* Endsley, 1996 p. 1).

Com essa complexidade cada vez maior, o tempo disponível na maioria dos programas de treinamento e formação não contempla inteiramente o sistema automatizado. Com isso, os operadores somente aprendem um subconjunto de técnicas para poder fazer com que o sistema trabalhe bem sob circunstâncias rotineiras. Como consequência, a aprendizagem mais

⁶ Wickens, C. D. (1992). *Engineering Psychology and Human Performance* (2nd ed.)

⁷ Wiener, E. L. (1985). *Cockpit automation: In need of a philosophy*. In *Proceedings of the 1985 Behavioral Engineering Conference* (pp. 369-375).

profunda de operação é feita sob operações reais, tendo de ser de forma efetiva para ajudar os operadores a descobrir e corrigir erros em seu modelo de automação (SARTER, WOODS, BILLINGS, 1997)

Os humanos continuam como a parte crítica da maioria dos sistemas automatizados. Eles devem monitorar por falhas nos sistemas e também pela presença de condições que o sistema não foi projetado para lidar. Além disso, como a maioria dos sistemas automatizados foi desenvolvido ao poucos, cobrindo certas funções e outras não, os operadores destes sistemas têm permanecido como parte integrante – monitorando o automatismo em algumas funções e desempenhando outras ele mesmo. (Endsley, 1996)

Id. (1996, p. 1) destaca:

Ao atuar como monitor de um sistema automatizado, as pessoas geralmente são lentas a detectar a ocorrência de algum problema que necessite sua intervenção. Uma vez detectado o problema, um tempo adicional é necessário para determinar o estado do sistema e suficientemente entender o que está acontecendo de forma a atuar de maneira apropriada. Este tempo extra associado a realização destes passos pode ser crítico. O resultado vai de um pequeno atraso no desempenho humano à uma falha catastrófica de grandes consequências.

Segundo Sarter e Woods⁸ (1992, *apud* ENDSLEY, 1996), em muitos sistemas automatizados, provavelmente devido a sua complexidade, compreender o significado da informação apresentada pode representar uma dificuldade significativa. Por exemplo, pilotos já reportaram dificuldades em entender o que o sistema de gerenciamento de voo automático estava fazendo e por quê.

2.3.1 Complacência e confiança no Automatismo

A confiança nos sistemas automatizados é um fator crítico, porém necessário a ser empregado pelos operadores. Associado a esta confiança, o monitoramento de sistemas pode acabar sendo negligenciado, uma vez que estes são vigiados pelo automatismo, em favor de outras tarefas, resultando assim num baixo nível de Consciência Situacional. (Parasuraman & Mouloua, 1994).

⁸ SARTER, N. B., & WOODS, D. D. Pilot interaction with cockpit automation: Operational experiences with the flight management system. (1992). The International Journal of Aviation Psychology, 303-321.

Endsley (1996, p.3) aponta que reduções na consciência situacional podem ser encontrada dentro dos sistemas automatizados, já que: 1) As pessoas tendem a negligenciar a automação e seus parâmetros; 2) Tentam monitorar, mas falham por causa de problemas de vigilância; ou 3) estão atentos aos problemas por causa dos alertas do sistema, mas não compreendem o seu significado.

De acordo com Parasuraman, Molloy, & Singh⁹ (1993, *apud* ENDSLEY, 1996), complacência têm sido atribuída à tendência de alocação de muita confiança em sistemas automatizados por parte dos operadores, sendo que esta complacência é função da confiança da pessoa no automatismo.

2.3.2 Ergonomia de cabine e o impacto na Consciência Situacional

De acordo com CÎMPIAN (2011), ergonomia é a disciplina científica relacionada com a compreensão da interação entre os seres humanos e outros elementos de um sistema. Ela é direcionada ao “ajuste” entre as pessoas e as ferramentas tecnológicas, levando em conta a capacidade e limitação do usuário, garantindo que as tarefas, equipamentos, informação e o ambiente adaptem-se a cada usuário.

De acordo com a Associação Internacional de Ergonomia (IEA, S.d):

- **Ergonomia Física:** Diz respeito à anatomia humana e algumas características antropométricas, físicas e biológicas e como eles se relacionam com a atividade física.
- **Ergonomia Cognitiva** se relaciona com os processos mentais, como percepção, memória, raciocínio e resposta motora e como isto afeta a interação entre homem-máquina.
- **Ergonomia Organizacional:** Refere-se a otimização dos sistemas sócio técnicos, incluindo sua estrutura organizacional, políticas e processos.

Os sistemas automatizados não sabem quando iniciar a comunicação com seu operador humano a respeito de suas intenções e tarefas ou quando necessitam de informação adicional. Também, nem sempre fornecem um *feedback* adequado ao operador que, por sua vez, tem

⁹ Parasuraman, R., Molloy, R., & Singh, I. L., Performance consequences of automation-induced complacency. (1993). International Journal of Aviation Psychology, 3, 1-23.

dificuldades em acompanhar o estado da automação e perceber se há alguma necessidade de intervenção. Quando esta falta de *feedback* acontece, as pessoas estão “fora do loop”, ou seja, não sabem se suas solicitações foram recebidas, se as ações estão sendo realizadas de uma maneira apropriada ou se problemas estão ocorrendo. (Norman, 1989¹⁰ p. 6 *apud* Endsley, 1996 p. 3). O autor atribui este problema primeiramente a uma crença errônea dos designers do sistema que a informação de certos parâmetros não é mais necessária pelos operadores uma vez que as funções relevantes a este parâmetro são assumidas pela automação.

Em alguns casos, sinais críticos podem ser eliminados com a automação e reposicionados por outros que não fornecem o mesmo nível de performance. Em muitos sistemas, sinais importantes eram recebidos através dos sentidos auditivos ou táteis. Quando os processos são automatizados, novas formas de *feedback* são criadas, frequentemente incorporando displays cada vez mais visuais. Ainda que a mesma informação esteja presente de uma maneira diferente, isto pode ocasionar uma maior dificuldade na assimilação daquela informação num ambiente complexo como o cockpit. (Endsley, 1996 p. 4).

Outro problema em relação aos muitos sistemas é a falta de acesso rápido e fácil à informação, uma característica que envolve sistemas complexos e telas com muitas informações embutidas e que podem ser associadas a vários modos de sistemas. Foram notados problemas em achar o menu correto para a situação atual, perder-se entre vários menus e interpretar informações abreviadas pelo sistema. (Endsley, 1996 p. 4).

Simon Hradecky, editor chefe do site “*The Aviation Herald*” concedeu uma entrevista ao portal “*Austrian Aviation Net*”, onde, dentre outras questões, falou sobre a ergonomia no cockpit e a influência dela na atividade aérea:

O ser humano é dotado de uma enorme inteligência, normalmente achando soluções em situações inesperadas, onde uma máquina, apesar de trabalhar excepcionalmente bem numa situação normal, não seria útil justamente por não ter sido programada para isso. Para que esta engrenagem “Homem-Máquina” funcione, a máquina tem que se ajustar aos humanos e suas possibilidades e limitações, e não o contrário. Isto significa que mensagens de status devem ser precisas e completas, sendo esta informação trazida ao operador de uma forma que, mesmo sob stress e pressão de tempo, o humano consiga reconhecer, entender, identificar, aceitar e agir baseado nesta

¹⁰ Norman, D. A. (1989). The problem of automation: Inappropriate feedback and interaction not overautomation (ICS Report 8904)

informação. Questões como “O que isto está fazendo agora?”, frequentemente ouvidas no cockpit, são sinais claros de que a interação homem-máquina não está funcionando como deveria. Se estas questões surgem no cockpit durante situações normais de operação e a máquina não deixa suficientemente claro para o humano o que ela está fazendo, como isto pode funcionar num cenário de stress com uma falha técnica?

Ergonomia, a ciência da interação entre homem e máquina, é uma grande parte da indústria de software. Neste contexto, foi comprovado que a má apresentação de informação ao ser humano pode aumentar substancialmente a carga de trabalho e, portanto, a fadiga do ser humano. Por outro lado, uma boa apresentação pode reduzir esta carga. Igualmente importante é que a maneira como esta informação é transmitida pode aumentar ou diminuir a taxa de erros.

O relatório final do acidente com o Air France 447 me surpreendeu, já que não esperava uma análise tão detalhada dos eventos dentro do cockpit com o foco na interação entre homem e máquina. Portanto, na minha visão, este reporte é pioneiro no que hoje considero como uma esperança na melhora da ergonomia na aviação.

Deste ponto de vista, estou horrorizado com cada reporte que cita erro do piloto como a causa do acidente. Esse não é a finalidade do relatório, já que com esta conclusão ele não elimina as causas e não pode prever a repetição de acidentes. A questão decisiva é: “Por que o ser humano agiu da forma que agiu?”. Ao responder a esta pergunta iremos achar a verdadeira causa do acidente.

Somente quando pararmos de idealizar seres humanos e solicitar ações que um ele não consegue cumprir, especialmente sob pressão, somente quando pararmos de fazer do ser humano no cockpit um bode expiatório, que quase sempre não pode se defender e então é o alvo mais fácil, somente quando procurarmos, analisarmos e corrigirmos as causas de seus erros é que será possível reduzir o número de acidentes causados por “erros humanos”.

Além de citar vários aspectos de ergonomia de cabine, Simon faz uma crítica ao projeto atual da automação dos aviões modernos, onde é considerado que o ser humano na cabine é o único que comete erros e, portanto, precisa ser monitorado por dezenas de computadores onde, em situações mais graves, este **deve** tomar o controle sobre o avião, limitando as ações

para prever “erros humanos”. Estes sistemas que limitam a autoridade foram projetados por seres humanos, os quais também cometem falhas. Ou seja, na tentativa de retirar o “erro humano” de dentro da cabine, fazendo com que sistemas monitorem as ações da tripulação, foi introduzido outro tipo de erro, porém desta vez mais grave ainda, sendo que na maioria das vezes isto só é percebido quando algum acidente mais grave acontece.

A introdução deste monitoramento e intrusão na autoridade dos pilotos os leva a acreditar na tecnologia como infalível, porém não servem para a possibilidade de que exatamente esta tecnologia funcione incorretamente, levando o ser humano a um cenário onde este não tem experiência e possivelmente não há tempo para ajustar-se a ele.

Entretanto, tais intrusões nos comandos realizados pelos pilotos podem prevenir ou pelo menos reduzir as consequências de um acidente, desde que a tecnologia funcione e a aeronave continue voando da forma que foi projetada.

2.4 AUTOMAÇÃO

Desde os primórdios da aviação, o ato de pilotar uma aeronave sempre requereu um nível elevado de atenção por parte do piloto com a finalidade de voá-la com segurança. Entretanto, as evoluções da aerodinâmica, motores e demais componentes levaram as aeronaves a cobrirem distâncias cada vez maiores, sendo que em 1927, pouco mais de 20 anos após o primeiro voo de um aparelho mais pesado que o ar, Charles Augustus Lindbergh fez o primeiro voo transatlântico solitário da história, um feito que levou 33 horas e 31 minutos. (RANFRANZ, 2008)

Por volta de 1930 criou-se então o chamado “piloto-automático”. Era um sistema conectado aos indicadores de altitude e direção magnética e que, por conta própria, mantinha o avião nivelado e em linha reta, sem intervenção por parte do piloto, reduzindo assim drasticamente a carga de trabalho. (COOK, 1995)

Com o passar dos anos a tecnologia foi crescendo rapidamente, a ponto do sistema de piloto automático ser instalado em grande escala. No final da década de 40 já era possível voar em aviões com motores a reação graças ao lançamento do *DeHavilland DH 106 Comet*. Com o advento dessa nova geração de avião as rotas ficaram cada vez mais longas, voos

intercontinentais eram comuns e era necessário um sistema automático de controle do avião mais eficiente.

Entre as décadas de 60 e 70 a maioria das aeronaves comerciais de grande porte contava com sete tripulantes técnicos: Comandante, Primeiro Oficial, Segundo Oficial, Engenheiro de Voo, Navegador, Observador e Operador de Rádio.

A evolução começou com a implantação de computadores dentro dos aviões. Assim, vários dos sistemas passaram a ser controlados de forma automatizada, sem a necessidade de uma pessoa para controlá-los.

Finalmente, em 1982 foi lançado o Boeing 767, primeira aeronave comercial homologada pelo *FAA (Federal Aviation Administration)* com uma tripulação de somente duas pessoas, reduzindo assim o custo para a empresa de manter até sete pessoas dentro de uma cabine para comandar um avião. (Boeing, [1995-2012]).

Desde as primeiras tentativas de automatizar o voo na década de 30, os níveis de automação passaram simplesmente de um equipamento para manter o avião estabilizado em uma rota até chegar ao que vemos hoje em dia, onde praticamente todo o voo é realizado de forma automática com dados inseridos pelos pilotos ainda antes da decolagem, fornecendo aos sistemas do avião informações como altitude, velocidade e rota a ser seguida. A tecnologia é tão grande que até é possível realizar um pouso automático, ou seja, sem o comando direto do piloto nos controles do avião.

Muitos sistemas dos aviões modernos são completamente gerenciados por computadores, não tendo nenhuma atuação por parte do piloto. Um exemplo destes sistemas é o *Yaw Damper*¹¹. Ele corrige a tendência de derrapagem sem a intervenção humana já que esta tarefa pode ser tediosa e muito desgastante. Como resultado, este sistema, em situações normais, se mantém ligado durante todo o voo e torna-se imperceptível aos pilotos. (Davies, 1979).

Apesar de todas as vantagens citadas, existe outro porém na automação. Ela exige um nível de concentração muito maior por parte da tripulação, visto que é um sistema altamente complexo, onde qualquer falha pode levar a uma consequência grave em questão de segundos. Sendo assim, o ser humano tem sido, cada vez mais, o fator limitante no progresso dos

¹¹ Durante uma curva nas aeronaves onde o enfilechamento das asas é acentuado, existe a tendência de uma derrapagem do avião, ou seja, uma guinada para o lado de fora da curva.

sistemas. (Taylor, 1989). Os sistemas automáticos de avisos são evidências claras que os humanos precisam de ajuda para operar os cockpit dos aviões modernos (Satchell, 1993).

Satchell (1993) avalia também a inversão de tarefas primárias e secundárias dentro do cockpit. Este conceito primeiramente elaborado por Palmer e Degani (1991) é um fenômeno comportamental onde a presença de um sistema de backup, como o sistema de alerta de altitude, passa a ser a fonte primária de informação a respeito da condição do sistema sobre altitude.

A própria comunicação entre os tripulantes é afetada pela automação. De acordo com Costley, Johnson e Lawson (1989), entre três diferentes aviões fabricados pela Boeing e com diferentes concepções de automação, a intercomunicação na cabine diminuiu conforme o nível de automação aumentou.

2.4.1 Evolução na Cabine de Comando

Nas cabines dos aviões mais antigos toda a instrumentação era analógica, exigindo um monitoramento constante de todos os sistemas do avião, começando desde o acionamento dos motores no aeroporto de origem até o desembarque no destino final, voo após voo. Constatase que em um voo longo (como por exemplo, Porto Alegre – Nova York, que a Varig realizava a bordo de um Super Constellation, onde o tempo total de viagem era de 24 horas) o cansaço e a fadiga da tripulação era extremamente alto.



Figura 4: Cockpit do Super Constellation

Fonte: <http://www.conniesurvivors.com/pictures/N6937C-Jun00-cockpit.jpg>



Figura 5: Painel do Engenheiro de Voo Super Constellation

Fonte: <http://www.superconstellation.org/TechnicalInformation/cockpit/DSCN4176.jpg>

A quantidade de informações disponibilizadas à tripulação técnica aumentava ainda mais a carga de trabalho, requerendo uma força física considerável em certas condições (Davies, 1979). A carga de trabalho era maior nas fases de decolagem e pouso, porém mesmo em cruzeiro a tripulação precisava ficar alerta, pois os sistemas de navegação não eram tão precisos, ocasionando a necessidade de muitos ajustes. Também não havia tantas indicações a respeito da situação dos vários sistemas do avião, como temperatura dos fluídos hidráulicos, informação de vento, motores, etc.

Em meados da década de 70, as aeronaves contavam com aproximadamente cem instrumentos e controles espalhados pelo cockpit, disputando a atenção dos pilotos durante o voo. Por isso a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) iniciou um projeto de pesquisa junto ao *Langley Research Center* para desenvolver um novo conceito de cockpit, uma nova ferramenta que diminuísse a quantidade de instrumentos na cabine, facilitando assim o trabalho da tripulação. (Langley Research Center, 2000)

Foi criado então o conceito de *Glass Cockpit*, ou seja, substituir todos os instrumentos analógicos por telas digitais que fornecem não só informações básicas dos sistemas da aeronave, mas também sua posição em um mapa e que seja de fácil compreensão.

Como resultado desta pesquisa, o Boeing 767 foi o primeiro avião equipado com telas digitais, conforme Figura 6:



Figura 6: Cockpit de um Boeing 767-300

Fonte: <http://www.airliners.net/photo/Qantas/Boeing-767-338-ER/1906129/L/>

Esta pesquisa revolucionou o mercado mundial, sendo que agora o conceito de *Glass Cockpit* é adotado inclusive em aeronaves de pequeno porte pelas suas vantagens em relação aos instrumentos analógicos.



Figura 7: Cockpit de um Cessna 172 Skyhawk

Fonte: http://www.cessna.com/MungoBlobs/583/595/sin_haw_int02_2010_1280x1024.jpg

2.5 BOEING

2.5.1 Filosofia Operacional

Atualmente há um consenso entre os grandes fabricantes e operadores de aeronaves em definir dentro da cabine um conceito de *PF (Pilot Flying)*, ou seja, quem realmente voa a aeronave, realizando modificações em *pitch* e *roll*, e o *PM (Pilot Monitoring)*. Esse segundo

fica responsável pelo monitoramento dos sistemas da aeronave e também supervisiona o trabalho do *PF* e, se necessário, assumirá os comandos da aeronave.

De acordo com a Boeing:

As cabines de voo da Boeing são projetadas onde o objetivo do automatismo é ajudar, e não substituir o tripulante, que é responsável pela operação segura do avião. Erros da tripulação de voo ocorrem normalmente quando a tripulação não percebe um problema e não consegue corrigir o erro a tempo de evitar que a situação se deteriore. Por conseguinte, as cabines de voo da Boeing incorporam intuitivamente, sistemas de fácil uso. Estes sistemas de apoio exibem instrumentos com sugestões de movimento visual e tátil para minimizar a potencial confusão sobre quais funções são automatizadas. No fly-by-wire dos B777, sugestões de movimento visual e tátil são fornecidas pelos controles “backdriven”. Esses controles reforçam a consciência situacional e ajudam a manter a tripulação com plena consciência das mudanças que ocorrem ao status do avião e a trajetória de voo durante todas as fases do voo automático e manual.

Fonte:

http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_08/human_story.html

2.5.2 Electronic Flight Instrument Systems (EFIS)

No painel de instrumentos eletrônico das aeronaves da Boeing existem duas telas principais para cada piloto, chamadas de *PFD* (*Primary Flight Display*) e *ND* (*Navigation Display*).

O *PFD* disponibiliza aos tripulantes informações básicas ao voo. Na parte superior está localizado o *FMA* (*Flight Mode Annunciator*), que apresenta informações sobre os modos de automação ativos no momento de acordo com o selecionado no *MCP* (*Mode Control Panel*). No lado esquerdo temos a *Speed Tape*, que mostra a velocidade em nós (*IAS*) e em Número *Mach*. No centro temos o Horizonte Artificial, sendo ainda possível adicionar outras informações secundárias sobre ele, como por exemplo, o *FD* (*Flight Director*) e o *FPV* (*Flight Path Vector*). No lado direito temos o Altímetro, podendo ser informada a altitude tanto em pés como em metros. Na parte inferior do *PFD* temos uma bússola que informa a proa magnética que a aeronave está mantendo no momento.



Figura 8: PFD de um B737NG
<http://www.b737.org.uk/images/pfd.jpg>

Além destes instrumentos primários, existem outros que podem ser inseridos ou aparecem por conta própria em determinada fase do voo. Por exemplo, podemos adicionar os marcadores de *Glideslope* e *Localizer* ao selecionarmos uma frequência de *ILS*. Durante a aproximação, ao passar o marcador externo, uma luz azul surge no *PFD* para alertar aos pilotos desta situação.

Ao lado do *PFD* temos o *ND*. Esta tela apresenta informações referentes à navegação do avião, como rota a ser seguida, *TAS*, vento atual em rota, tempo estimado para uma posição definida, etc. Além desta função principal, podemos, a exemplo do *PFD*, selecionar alguns sistemas secundários em que seus dados serão disponibilizados através da *ND*. O sistema de Radar Meteorológico é um deles, assim como o *GPWS* que alerta os pilotos quando estes estão muito próximos do terreno em condição não normal de voo e o *TCAS* que fornece indicações de outras aeronaves ao redor do avião e que possam estar em rota de colisão.



Figura 9: ND com Wx Radar e TCAS de um B737NG
http://www.airteamimages.com/pics/109/109311_800.jpg

2.5.3 Engine indicating and crew alerting system (EICAS)

Em algumas aeronaves Boeing (B767 em diante), entre os dois conjuntos EFIS (PFD e ND), existe outra unidade chamada de EICAS. Além de mostrar as informações referentes aos parâmetros de motor ainda pode exibir mensagens de aviso sobre sistemas do avião e mensagens de alerta, como na foto abaixo onde temos indicações das portas de carga.



Figura 10: EICAS de um B747.
 Fonte: <http://www.airliners.net/photo/KLM-Asia/Boeing-747-406M/0333331/L>

2.5.4 Autothrottle e Manches de comando

Na cabine do Boeing 737, entre os dois pilotos, temos o quadro de manetes, sendo este responsável pela potência dos motores e ainda outros sistemas como *spoilers* e *flaps*. No centro dele temos os manetes de potência em si. Eles controlam diretamente a potência dos motores e podem ser comandados através do sistema de controle automático de potência,

chamado pela Boeing de “Autothrotlle” (A/T). Ele nada mais é do que um mecanismo composto por dois servo-motores que, ao receber informações, preferencialmente do FMC, avança ou reduz os manetes automaticamente, alterando, assim, a potência dos motores. (FCOM, Boeing 737 pg. 729)

Em qualquer momento do funcionamento do A/T o piloto pode realizar uma mudança de potência manualmente, sem que haja o desligamento do sistema. Para que este seja desligado é necessário apertar um botão localizado na parte lateral do manete de potência ou diretamente pelo MCP. (FCOM, Boeing 737 pg. 729).



Figura 11: Manetes de Potência B737

Fonte: <http://www.airliners.net/photo/Gol-Transportes-Aereos/Boeing-737-76N/1316729/L/>

Um fator importante que este sistema oferece é que toda alteração de potência nos motores será reproduzida pelos manetes, fornecendo assim um importante *feedback* para os pilotos, principalmente em situações de alta carga de trabalho.

Comum a todas as aeronaves Boeing é a existência de dois manches na cabine, um para cada piloto. Eles são mecanicamente interligados, ou seja, qualquer movimento que um dos pilotos realize no seu manche, será reproduzido igualmente no manche oposto. Da mesma forma ocorre com os comandos executados pelo Piloto Automático. Este sistema fornece aos pilotos uma referência visual e tátil do que o automatismo está executando nos controles do avião, tornando mais fácil o entendimento por parte da tripulação¹².

¹² The Boeing Company, **The Value of Techonology on the 737**, S.d

2.6 AIRBUS

2.6.1 Filosofia Operacional

Assim como utilizado pela Boeing, a Airbus define como padrão nas suas aeronaves o conceito de *PF* e *PM*. O primeiro, sendo responsável pelo deslocamento vertical e horizontal da aeronave, seja usando a automação ou voando o avião através do *sidestick*. Já o *PM* fica responsável por monitorar os sistemas da aeronave e supervisionar o trabalho do *PF*, assumindo os comandos caso necessário.

De acordo com o *SOP* da Airbus (*SOP*, 2006) o cumprimento de todos os procedimentos operacionais é uma maneira efetiva de:

- Prevenir ou mitigar erros da tripulação
- Antecipar ou gerenciar ameaças operacionais, e ainda,
- Aumentar a segurança nas operações de solo ou de voo

Ainda, segundo o mesmo texto, sem um adequado uso do *SOP*, a implementação de um adequado *CRM* é impossível. Este documento pode ser modificado de acordo com o operador da aeronave, porém sempre deverá ser simples, claro, conciso e direto. O *SOP* constitui-se de uma referência para a padronização da tripulação, provendo assim um ambiente de trabalho ideal para uma atividade eficiente por parte dos pilotos

2.6.2 Uso da Automação

Quanto maior for o automatismo dentro da cabine, maior vai ser a quantidade de opções e estratégias disponibilizadas para a tripulação para realizar uma mesma tarefa. O objetivo do sistema de voo automático é fornecer uma assistência aos pilotos durante todo o voo, sendo isto feito através do piloto automático, onde o *PF* pode concentrar-se em outras tarefas pertinentes ao deslocamento da aeronave, aumentando sua consciência situacional sem preocupar-se em controlar a aeronave diretamente; ou ainda fornecer ao *PF* uma orientação da atitude e trajetória do voo através do *FD* para ser usada quando em voo manual. (*Optimum Use of Automation*, 2004, pg. 4)

De acordo com a Airbus (*Operations Golden Rules*, 2004 p. 2), mais de 20% dos fatores contribuintes para acidentes durante aproximação e pouso vêm de uma interação inadequada com a automação presente na cabine.

Para isso a Airbus criou as chamadas “*Golden Rules*”, que nada mais são do que oito regras básicas para podermos voar a aeronave com segurança. Duas destas estão listadas abaixo: (Operations Golden Rules, 2004, pg 2 e 5)

Aviões com automação podem ser voados como qualquer outra aeronave

Ou seja, apesar de toda a tecnologia embarcada, ainda pode-se voar uma aeronave de grande porte com “pé e mão”.

Quando o voo não vai como esperado, tome o controle.

Ao primeiro sinal de desvio do que foi inicialmente proposto, assuma o controle e mantenha um voo seguro.

Percebe-se que a ênfase destas duas regras é de que o piloto tem que sempre saber o que o avião está fazendo, não deixando-se levar pela automação, ou seja, sempre “voando na frente do avião”.

2.6.3 Electronic Flight Instrument Systems (EFIS)

Nas aeronaves Airbus, temos a mesma configuração do sistema *EFIS* das aeronaves Boeing, com o *PFD* sendo a fonte primária de informações ao voo, como a velocidade, atitude e altitude atual do avião além de possíveis sistemas secundários. Já no *ND*, também existem informações referente à navegação, sendo possível adicionar elementos secundários à tela.



Figura 12: PFD e ND do Airbus

http://farm6.staticflickr.com/5242/5277139719_74e54f7dbc_z.jpg

2.6.4 Autothrust e sidesticks

A Airbus, a partir do A320, decidiu inovar o mercado e lançou uma aeronave totalmente equipada com comandos “*fly-by-wire*”, ou seja, sem uma ligação mecânica direta entre as superfícies de controle e os comandos dentro do cockpit. Com este novo conceito, muitas linhas hidráulicas e cabos de aço são eliminados, sendo substituídas por fios que transmitem sinais elétricos. Isso diminui o peso do avião tornando o voo mais econômico, tem um custo menor de manutenção e uma maior precisão nos comandos durante o voo. (Airbus FAST, p. 6, 1996).

Para que isso fosse possível, o manche dentro da cabine foi substituído por *sidesticks* localizados ao lado de cada um dos pilotos. Como resultado, a cabine torna-se mais espaçosa, permitindo um maior conforto da tripulação durante os voos. (Airbus FAST p. 6, 1996).



Figura 13: Sidestick do Copiloto

Fonte: http://farm3.static.flickr.com/2200/2149356637_73909e89b0.jpg

Uma das características principais deste sistema é que não há uma conexão mecânica entre os dois *sidesticks*, portanto, qualquer movimentação feita por um dos pilotos não é reproduzida no *sidestick* oposto. Essa afirmativa também é verdadeira quando o piloto automático está ligado, ou seja, mesmo durante manobras realizadas automaticamente, ambos *sidesticks* permanecem centralizados.

Outra questão inerente ao Airbus é o fato de que os manetes de potência são estáticos, portanto não se movimentam conforme o nível de potência dos motores.

2.7 DIFERENÇAS ENTRE BOEING E AIRBUS

Comparando as duas aeronaves, percebe-se que há uma diferença enorme na concepção de seus sistemas embarcados. Enquanto uma impede que a tripulação coloque a aeronave em alguma situação considerada de risco pelos projetistas, na outra não há qualquer restrição com relação às manobras que os pilotos podem executar, inclusive aquelas que não foram previstas durante o processo de fabricação/certificação.

Como citado anteriormente, as *Control Laws* regem todo o sistema *Fly-By-Wire* das aeronaves Airbus, tendo algumas limitações para garantir a segurança do voo. São elas:

a) Normal Law – Modo normal do avião, onde todas as proteções citadas estão presentes, protegendo a aeronave e os tripulantes. Nesta configuração torna-se impossível estolar o avião, conforme já mencionado no texto.

b) Alternate 2 Law – Após perda de alguns sistemas, a aeronave reverteu o modo para alternado, onde nem todas as proteções estão presentes. Para efeitos de comparação, neste modo de controle, é possível que algumas ações dos tripulantes levem o avião a uma situação de estol, onde o avião perde a sustentação. Porém, apesar de não haver proteção para evitar esta situação, existem avisos sonoros que indicam aos pilotos o que está ocorrendo.

Existe ainda a Alternate 2B Law, que consiste na perda da proteção de baixa velocidade. Neste caso, caso a velocidade baixe a um nível crítico, somente haverá um aviso sonoro indicando esta situação, sem nenhuma atuação por parte do sistema.

c) Direct Law – Modo em que todas as proteções foram perdidas. Somente acontece quando há uma pane generalizada no sistema, revertendo então para este modo onde todas as ações dos pilotos resultam num movimento direto da superfície de comando, sem processamento nenhum. Novamente, alguns avisos sonoros indicando situações de perigo ainda estão presentes.

d) Mechanical Backup – Este não é uma lei do sistema *Fly-By-Wire*, mas é um modo de controle ativado pela perda total dos computadores a bordo da aeronave. Como praticamente todos os comandos do avião são operados eletricamente o controle primário do avião é perdido. Para controlá-lo, devem então ser utilizados os pedais de direção (para realizar

curvas com o leme de direção ao invés do Aileron) e o compensador manual para qualquer alteração do ângulo de subida ou descida.

Importante ressaltar que todos estes modos constituem-se em degradações automáticas em função das condições dos sistemas da aeronave. Não há como os tripulantes selecionarem a troca de modos.

De acordo com o FAA (*The interfaces between flight crew and modern flight deck systems*, 1996, pg. 57) o tipo de feedback apresentado à tripulação está mudando conforme a tecnologia avança. Em muitas áreas, essa realimentação de posição está sendo substituída por um simples anúncio visual e/ou sonoro. Apesar de a mesma informação estar apresentada, a sua maneira mudou, o que pode atrapalhar a performance dos pilotos em situações críticas.

Conforme explicado, os *sidesticks* não tem nenhuma ligação mecânica entre si e entre as superfícies de comando. Se por um lado, devido à arquitetura do sistema *Fly-By-Wire*, isso diminui a complexidade do sistema por outro ele retira um feedback tátil para a tripulação, já que devido ao seu tamanho reduzido é difícil para um piloto perceber o que o outro está fazendo. Ainda neste sentido, fica claro que é necessária uma boa coordenação de cabine durante a operação, principalmente em situações de emergência, onde o instinto de qualquer piloto é assumir o controle do avião.

Caso isso aconteça, podemos ter um *Dual Input*, ou seja, ambos os pilotos comandando a aeronave ao mesmo tempo. O comando resultante da aplicação desta sobreposição de comandos é uma soma algébrica da deflexão dos *sidesticks* (Airbus FAST p. 6, 1996).

Caso um piloto mova o seu *sidestick* totalmente para a esquerda e o outro totalmente para a direita, o efeito resultante no avião será nulo, já que a soma algébrica das posições resulta em zero. Este é um cenário previsto pela Airbus, onde da ocorrência deste acontecimento um alerta sonoro (DUAL INPUT) soa na cabine e duas luzes cor verde piscam à frente dos pilotos para alertá-los da situação.¹³

Para evitar que isto ocorra, junto ao *sidestick* existe um botão de prioridade (Take-over Pushbutton). No modo normal de voo qualquer um dos *sidesticks* pode controlar o avião. Caso algum piloto queira tomar o controle por achar que os comandos feitos pelo outro não estão corretos, ele deve pressionar este botão e realizar a alteração que ache necessária. Enquanto ele estiver pressionando o botão, o outro *sidestick* fica inabilitado. Ao soltar o

¹³ Airbus Industrie, Flight Crew Operations Manual, S.d

botão, a configuração reverte para a situação anterior. Caso o botão fique pressionado por mais de 30 segundos, o *sidestick* oposto é desativado completamente, bastando um toque neste mesmo botão do *sidestick* desligado para religá-lo. Caso os dois pilotos pressionem o botão, a prioridade será dada ao último que o apertou. (Airbus FAST p. 6, 1996).

A partir da leitura do relatório final de um acidente ocorrido com um Airbus em Melbourne, Austrália, em 2005, podemos citar alguns pontos chave a respeito desta condição inerente à tecnologia embarcada nas aeronaves da Airbus (ATSB, 2007).

A Airbus examinou várias razões para tentar explicar a ocorrência de *Dual Inputs* durante a operação normal de linha aérea. Segundo ela, em condições normais de voo, esta prática não deve ocorrer se houver um bom *CRM* dentro da cabine.

Esta análise feita pela empresa nas ocorrências de *Dual Inputs* revelou que estas podem ser classificadas como intervenções espúrias, de conforto ou instintivas por parte do *PM*:

- **Dual Input Espúrios:** São involuntários, de pequena duração e magnitude, resultando em pequenas ou nenhuma alteração na atitude da aeronave durante o voo.
- **Dual Input de Conforto:** São intencionais, intervenções pequenas por parte do *PM*. A intenção do piloto é corrigir ou aprimorar a trajetória da aeronave durante uma manobra de precisão, como na fase de aproximação ou de arredondamento no pouso. Estes inputs são normalmente pequenas deflexões e podem ser no mesmo sentido ou em sentido contrario aos inputs do *PF*. Normalmente resultam em pequenos efeitos na atitude e/ou trajetória da aeronave, sendo, na maioria dos casos, desnecessários. Quase sempre, o *PF* não fica sabendo destes inputs pelo *PM*.
- **Dual Input Instintivos:** São intervenções de reflexo do *PM*, resultantes de uma ação de surpresa sobre algum evento inesperado que pode ocorrer durante uma manobra de voo, como por exemplo, o arredondamento durante o pouso. Estas intervenções são significantes em termos de deflexão do *sidestick*, e normalmente são na mesma direção dos inputs feitos pelo *PF*, além de ter um potencial de afetar o comportamento da aeronave, o que pode ocasionar deflexões excessivas de

comandos. Assim como os Inputs de Conforto, normalmente o *PF* não fica sabendo destas intervenções do *PM*.

Em situações estressantes, como numa emergência, o aviso sonoro de DUAL INPUT pode passar despercebido. Abaixo, um trecho do mesmo relatório final citado acima, onde durante o pouso o *PM* fez um comando para tentar corrigir a trajetória do avião, resultando num DUAL INPUT, já que quem estava pilotando o avião no momento era o *PF*.

A investigação não conseguiu determinar se o copiloto (*PF*) estava ciente dos inputs realizados pelo comandante (*PM*), mesmo que estes tenham resultado num aviso sonoro de DUAL INPUT. O foco do copiloto em corrigir a trajetória da aeronave, junto com vários avisos sonoros podem ter resultado numa incompreensão do significado do aviso de DUAL INPUT. (ATSB, Crosswind Landing Event Melbourne Airport, Vic, 2007)

Houve pelo menos outros dois acidentes envolvendo a ocorrência de Dual Inputs durante a fase final da aproximação, todos sem danos graves, sendo que em todas elas o *PF* era o copiloto. Na tentativa de melhorar a trajetória da aeronave, o comandante (*PM*) reagiu simplesmente movimentando seu *sidestick*, sem apertar um botão de prioridade, o qual inibiria as ações do copiloto, sendo assim, houve a soma algébrica dos comandos, resultando num comportamento inadequado da aeronave.

Os manetes de potência do Airbus também se diferem dos aviões convencionais, pois o único meio de movimentação delas é através dos pilotos, ou seja, elas não se movem conforme a potência dos motores se altera. Da mesma maneira que o *sidestick* define uma alteração na razão de giro e no fator de carga, os manetes de potência do Airbus simplesmente limitam qual a potência máxima que os computadores podem utilizar. No caso de operação manual, o piloto escolhe a potência desejada através dos manetes. Já com o *ATHR* ligado, o *FMGS* define a potência a ser utilizada. Em ambos os casos, a informação do *TLA* é fornecida ao *FADEC*, que por sua vez limita a potência dos motores para não ultrapassar o limite selecionado pelo piloto. Existem dois manetes de potência, uma para cada motor e cada uma conta com um respectivo *FADEC*. O sistema conta com quatro posições pré-definidas de potência:

- IDLE: Potência mínima; nesta posição o *ATHR* é desligado.
- CL: Posição em que a manete fica durante grande parte do voo, com a potência sendo regulada pelo *FMGS*.

- FLEX/MCT: Usada para decolagens com temperatura assumida (FLEX) ou para selecionar a potência máxima contínua dos motores. Nesta posição com ambos os motores operando, o ATHR é desligado.
- TOGA: Nesta posição não há nenhuma limitação do motor, é selecionada a potência máxima disponível independentemente da fase do voo.

Durante a decolagem pode-se utilizar os manetes na posição TOGA ou MCT/FLX, dependendo da quantidade de potência requerida para decolar. Após uma determinada altitude, o piloto reduz os manetes e os coloca na posição CL. Quando a aeronave atinge a altitude de cruzeiro, a potência do motor diminui, porém a manete continua na posição CL. A mesma coisa acontece no início da descida, onde a potência é reduzida ainda mais, mas mais uma vez a manete não se move. Ela só vai ser movimentada pouco antes do pouso, quando então devem ser trazidas para IDLE, desligando o ATHR e forçando os motores a diminuírem a potência.

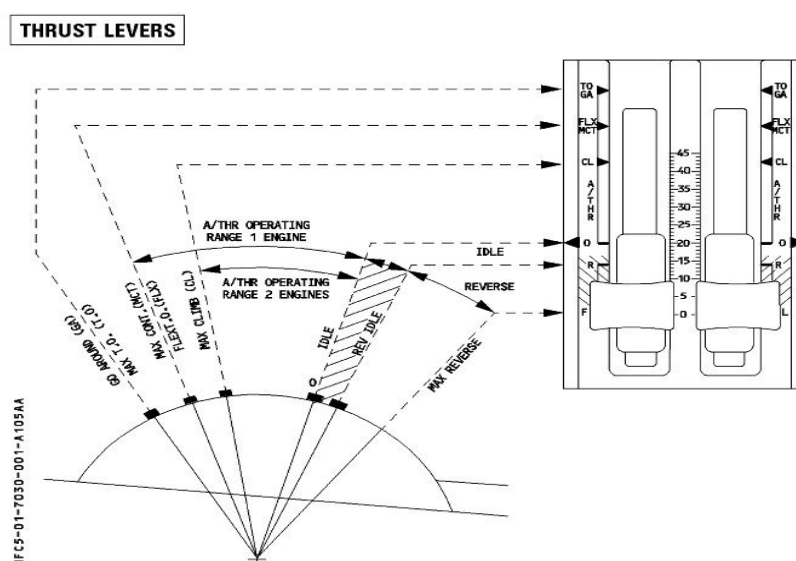


Figura 14: Ajustes do ATHR

Fonte: Airbus A320 Flight Crew Operating Manual, p. 677.

Segue o depoimento de um comandante de um Airbus A380 de uma empresa aérea internacional, onde ele dá a sua opinião sobre os sistemas *FBW* da Airbus:

Na minha visão, o maior problema com o *sidestick*, como utilizado pela Airbus, é que ele é basicamente um stick “morto”. Não há nenhum feedback, não só para os seus próprios inputs, mas também sobre os inputs do outro piloto. Como eles não são interconectados fisicamente, você pode, por exemplo, ter dois pilotos comandando o avião em direções diferentes.

Apesar de a aeronave emitir um aviso desta condição, normalmente quando esta condição ocorre, é pouco provável que haja tempo suficiente para raciocinar o que o aviso significa (Por exemplo, estando perto do solo).

O AF447¹⁴ teria sido extremamente improvável que tivesse acontecido se o outro piloto tivesse percebido que o PF estava mantendo o *sidestick* totalmente para trás. Como o braço do PF fica escondido num canto escuro da cabine, aliado ao fato de que o *sidestick* do outro piloto não se move, não há como perceber isto facilmente.

Basicamente, penso que a interface dos controles de voo da Airbus é muito pobre... Obviamente desenhado por engenheiros com muito pouco feedback dos pilotos.

A mesma coisa aplica-se aos manetes de potência. A única razão para que elas não se movam como numa aeronave normal é para diminuir o peso dos componentes. A falta de movimentação retira uma “dica”, assim como também remove uma “memória muscular” que resulta da movimentação dos manetes conforme a potência muda. Elas são qualquer coisa, menos intuitivas. Como exemplo, depois da decolagem, movendo os manetes de potência para TRÁS, normalmente resulta num aumento de potência. (Mover os manetes da posição FLX/MCT, normalmente usada para decolagem, para a posição CLB ao passar a altitude de aceleração. A ação esperada seria que os motores também diminuíssem a potência).

2.8 ESTUDO DE CASO

2.8.1 British Airways

Ainda a respeito do sistema de Autothrust empregado pela Airbus, foi realizada uma pesquisa¹⁵ em 1991 com pilotos da British Airways, já que esta foi uma das primeiras companhias a operar o A320. O objetivo da pesquisa era esclarecer a controvérsia que há a respeito deste sistema e conhecer as vantagens e desvantagens dele na visão dos próprios operadores, ou seja, dos pilotos.

¹⁴Acidente com o avião da Air France, voo AF447, saindo do Rio de Janeiro – Aeroporto do Galeão com destino à França que caiu no Oceano Atlântico, vitimando todas as 228 pessoas a bordo.

¹⁵Last, S. and Alder, M., "British Airways Airbus A320 Pilots' Autothrust Survey," SAE Technical Paper 912225, 1991, doi:10.4271/912225.

A principal razão desta controvérsia é que muitos pilotos sentem que o movimento dos manetes de potência fornece um importante feedback a respeito do comportamento do sistema de potência automática, ajudando a determinar o que o sistema está fazendo no momento e qual efeito isso vai gerar na trajetória da aeronave. Porém, não foi possível estabelecer qual o nível real de ajuda que esta afirmação traz.

Desde a introdução deste modelo de aeronave, houve muitos reportes de incidentes onde o controle da potência estava envolvido, porém, em nenhum dos casos, a falta de movimentação dos manetes foi especificada como a causa do incidente. Entretanto, em alguns casos, isto pode ter dificultado o reconhecimento do problema pela tripulação.

A pesquisa foi feita com 66 pilotos da British Airways, com idade variando de 20 até mais de 40 anos, com mais da metade deles tendo mais de 6 mil horas de voo em aeronaves a jato, sendo que especificamente na aeronave A320, a experiência variava de 250 a 1.000 horas de voo, sendo isso um reflexo da operação inicial da aeronave na empresa (A pesquisa foi feita em 1991, somente 3 anos após a entrada da aeronave em operação).

A principal área de preocupação era a transição do voo manual para o automatizado e vice-versa. Segundo a operação do Airbus, ao posicionar os manetes na posição CLB, o sistema automaticamente é ligado enquanto em outras aeronaves convencionais é preciso algumas ações adicionais.

Quanto à dificuldade em selecionar algum nível de potência desejado sem olhar para os manetes, os pilotos consideraram o A320 mais fácil do que as aeronaves convencionais. Isso se deve ao fato de que este avião possui posições pré-definidas de potência, o que facilita a ação da tripulação.

Porém, quando foi analisada a situação da desconexão do Autothrust e passar ao voo manual, as aeronaves convencionais tiveram uma leve vantagem quando se requer que não haja uma mudança de potência durante a transição. Como os manetes não se movem com o sistema ligado, é preciso que o piloto verifique no painel qual a potência atual do motor e, manualmente, ajustá-los no ângulo correspondente para, então, desligar o sistema. Alguns pilotos responderam que, em situações de alta carga de trabalho, “quase nunca” é fácil de realizar esta operação.

A falta de movimento dos manetes parece reduzir a consciência situacional da demanda de potência quando comparado aos aviões convencionais. Neste caso, os pilotos responderam

que “quase sempre” o movimento dos manetes os ajudou a identificar algum problema com o sistema de potência automática.

Quando questionados se uma mudança inapropriada de potência do sistema seria facilmente reconhecida no A320, pouco mais da metade dos participantes (55%) responderam que sim. Entretanto, quase 80% dos pilotos afirmaram que haveria uma melhora significativa no reconhecimento desta situação caso os manetes se movimentassem.

Ao final da pesquisa os pilotos foram orientados a fornecerem sugestões para melhorar o sistema, onde houve um fato interessante. Parte dos pilotos mais jovens, os quais a única experiência de voo era no A320, reportaram não sentirem falta do movimento dos manetes, enquanto os outros pilotos com experiência em aeronaves com comandos convencionais, responderam que o movimento dos manetes era de alta prioridade para um próximo sistema.

3 ANÁLISE

3.1 Fly-by-Wire

Como citado anteriormente, as aeronaves Airbus tem um sistema de controle de voo que se difere do comum, sendo seus controles de voo totalmente digitais. Todo e qualquer movimento feito na cabine de comando, ao invés de movimentar diretamente as superfícies de comando como é o sistema convencional, passa a enviar um sinal elétrico para uma central de processamento. Neste momento, um computador recebe a solicitação do piloto, verifica algumas informações a respeito do voo através de vários sensores na aeronave e após analisar se este comando não irá ultrapassar nenhum parâmetro pré-determinado, é enviado o sinal para a superfície de controle para, efetivamente, comandar o avião.

No sistema implantado pela Airbus, o piloto precisa de muito pouco esforço para comandar o avião numa curva por exemplo. Num avião convencional, ao inclinarmos a asa, para compensar os efeitos de arrasto que modificam a sustentação durante a curva, o piloto precisa manter a pressão sobre a coluna de comando de modo a manter corretamente o giro. Já no Airbus, o piloto, usando o *sidestick*, define uma razão de giro e, ao soltar os comandos, o próprio sistema automático de voo mantém o avião na trajetória selecionada.

O *sidestick*, diferentemente dos controles tradicionais, não altera as superfícies aerodinâmicas de forma direta, qualquer movimentação feita nele pelo piloto simplesmente

representa uma alteração na trajetória do avião no eixo lateral ou longitudinal, ou seja, em qualquer alteração de *PITCH* o *sidestick* nada mais é do que uma informação de qual o fator de carga que o piloto quer manter durante a subida/descida; já na alteração de *ROLL* o piloto decide qual a razão de giro que ele quer que o avião mantenha durante a manobra:

Fator de Carga: Toda alteração no ângulo da aeronave em relação ao eixo lateral, representa uma alteração no fator de carga (conhecida normalmente como “Força G”). Ao puxar o *sidestick* para trás o piloto quer que o avião suba, logo isso aumenta o fator de carga. Ao empurrá-lo para frente, o fator de carga diminui. Mantendo-o na posição neutra, o computador entende que o fator de carga solicitado no momento é de 1.0G (a força da gravidade normal), portanto, qualquer que seja a atitude do avião (durante uma curva, subida ou descida), caso o piloto solte o *sidestick*, o computador mantém a atitude selecionada. Qualquer que seja a velocidade e/ou configuração do avião, a solicitação feita através do *sidestick* vai ter sempre a mesma resposta do avião, o que muda é a deflexão das superfícies de comando, porém quem modula isso são os próprios computadores do avião. Quanto maior for a deflexão, maior vai ser a variação no fator de carga, sendo esse o parâmetro usado pelo computador para manter a trajetória do avião.

Razão de Giro: No caso da movimentação em torno do eixo longitudinal, o piloto define qual vai ser a razão de giro que o avião vai manter durante a curva. Ao soltar o *sidestick*, do mesmo modo que na variação de *pitch*, o computador mantém a razão de giro solicitada. Novamente, independentemente da velocidade/configuração do avião, uma mesma deflexão do *sidestick* resulta numa mesma razão de giro.

Dentro do sistema *Fly-By-Wire*, criou-se então o que hoje em dia é conhecido por “Envelope de Proteção de Voo”. Como todas as ações realizadas pelos pilotos na cabine passam primeiro por uma análise, foi preciso definir alguns limites de manobra. No caso do Airbus foram criadas as chamadas “*Control Laws*”, que nada mais são do que leis que regem estas proteções.

Com exceção dos modelos A300 e A310, todas as aeronaves da Airbus possuem as mesmas proteções que impedem os tripulantes de colocarem o avião em situações, consideradas pelo fabricante, de risco. Por exemplo, não é possível ultrapassar 67° de inclinação das asas durante a curva ou aplicar um ângulo de subida maior que 30°. Caso o avião atingir a sua (VMO/MMO) o próprio sistema se encarrega de diminuir a velocidade para

um mínimo aceitável. Em outro extremo, ele não permite que o avião estole, ou seja, perca a sustentação em virtude da baixa velocidade.

E esta última afirmação tornou-se clássica no meio aéreo, sendo a aeronave Airbus conhecida como o “avião que não estola”, o que não deixa de ser verdade, afinal, enquanto seus sistemas estão 100% operacionais, isso realmente não acontece. Caso a aeronave aproxime-se da velocidade mínima calculada, automaticamente a potência máxima é ajustada e o computador inibe qualquer comando pelo piloto para reduzir ainda mais a velocidade. Porém, assim como o Titanic era considerado “inafundável” e sendo seu trágico destino conhecido por todos, algumas vezes a automação causa problemas sérios dentro de uma cabine de comando.

3.2 British Airways

Com relação à pesquisa feita com os pilotos da British Airways, conclui-se que tanto um design como outro tem suas vantagens e desvantagens. O sistema com manetes móveis fornece uma boa consciência situacional da demanda de potência do sistema e também oferece uma facilidade no momento da troca do modo automático para o manual, porém ele tem algumas deficiências quanto à seleção de uma potência pré-determinada. Já o modelo proposto pela Airbus foi considerado como oposto ao modo convencional, sendo melhor na seleção de potência e pior na consciência situacional.

Alguns pilotos entrevistados fizeram comentários sobre o sistema, sendo que alguns disseram que uma forma híbrida dos dois sistemas seria o ideal, com as posições pré-definidas encontradas hoje no A320 e a movimentação entre as posições IDLE e CLB, fornecendo assim um feedback importante, principalmente durante as fases de aproximação e pouso.

3.3 Quantas Flight 32

3.3.1 Histórico

Outra diferença entre as aeronaves Boeing e Airbus é o fato desta última possuir o chamado *ECAM*. Apesar de apresentar praticamente as mesmas funções do *EICAS*, ela adiciona um elemento diferente, onde os procedimentos que os pilotos devem fazer em alguma situação de emergência são mostrados diretamente na tela, facilitando a solução de panes:



Figura 15: ECAM Actions A319

Fonte: http://avherald.com/img/easyjet_a319_g-ezac_nantes_060915_1.jpg

Porém, do mesmo modo que pode facilitar a execução de *checklist* de emergência, o excesso de informação pode dificultar o trabalho da tripulação no cumprimento das ações a serem tomadas. Além da grande quantidade de informações, pode-se ainda obter mensagens contraditórias referentes aos vários sistemas da aeronave. Um exemplo desta situação foi o caso de um Airbus A380 da empresa aérea australiana Qantas, onde logo após a decolagem de Cingapura houve uma falha incontinida do motor nº 2, ocasionando danos graves à aeronave, inclusive a ruptura de tanques de combustível, perda de fluído hidráulico e sistemas elétricos essenciais.

A tripulação teve que lidar com mais de 50 mensagens de advertência, cada uma com várias ações a serem tomadas por parte da tripulação, numa sequência que durou cerca de 2 horas para resolver todas as mensagens exibidas no *ECAM*. Nas palavras de um dos pilotos¹⁶ que estavam a bordo da aeronave, David Evans:

Nós tínhamos muitos checklist para fazer, apareceram 43 mensagens no *ECAM* nos primeiros 60 segundos depois da explosão e provavelmente mais 10 logo após. Então foi um processo de quase duas horas passar por todos aqueles itens e realizar, ou não, as ações propostas dependendo de quais eram as circunstancias. Nosso papel de era lidar com alguns problemas mais

¹⁶ Neste voo em específico, a tripulação era composta de 5 pessoas já que havia dois tripulantes que estavam fazendo voos de proficiência nesta aeronave.

sérios e além de tudo éramos parte de um processo de CRM, para sugerir continuar ou não com algum procedimento. Certamente, em algumas mensagens a respeito do sistema de combustível, decidimos não abrir as válvulas cross-feed e transferir o combustível para a asa que obviamente estava danificada.

Quando questionado sobre o que se passou na cabeça dele no momento em que descobriram que somente um dos quatro motores estava funcionando normalmente e era o único a fornecer pressão para o sistema hidráulico, ele responde:

Estava ficando muito confuso com a avalanche de mensagens que nós estávamos recebendo. Então o único curso de ação era ter a disciplina de seguir as ações do ECAM e lidar uma por uma enquanto passávamos através delas. O desligamento do motor dois foi completado, os sistemas hidráulicos estavam corrigidos e a próxima situação que estávamos observando era a perda de vários sistemas de controles de voo. Isto se deu pela degradação e perda de alguns barramentos elétricos. Basicamente, era seguir pelas ações propostas no ECAM, compreendendo elas e trabalhando através dos sistemas para descobrir o que estava funcionando e o que não estava.

A tentativa de reproduzir este evento no simulador não funcionou, já que esta situação em específico, com tantas falhas, nunca tinha sido prevista pelos projetistas da Airbus. Quanto as modificações no sistema ECAM, ele comenta:

Eu tenho certeza que a Airbus irá olhar para os sistemas e provavelmente haverá algumas mudanças porque no nosso caso, nós recebemos mensagens que diziam “Centro de Gravidade (CG) da aeronave fora dos limites” e pedia para mover o combustível do estabilizador horizontal para a frente para deixar o CG dentro dos limites novamente, porém a próxima mensagem dizia “Transferência de combustível do estabilizador horizontal inoperante”. Então uma mensagem contradizia a outra. Mas no fim do dia o bom senso falou mais alto, nós não seguimos as ações do ECAM cegamente, mas observamos cada uma delas individualmente, analisamos e, ou rejeitávamos, ou executávamos a ação correspondente¹⁷.

¹⁷ EXCLUSIVE – Qantas QF32 flight from the cockpit. Disponível em: <http://media.aerosociety.com/aerospace-insight/2010/12/08/exclusive-qantas-qf32-flight-from-the-cockpit/3410/>.

3.3.2 Análise

Através da entrevista com um dos pilotos do voo Qantas 32, percebe-se que a introdução do ECAM como idealizado pela Airbus pode ser de grande ajuda em situações de emergência ao fornecer aos pilotos na própria tela as ações e tarefas a serem feitas. Porém é necessário um bom discernimento das ações a serem tomadas sempre tentando compreender o real objetivo da ação ali apresentada, já que, como apresentado, podem ocorrer algumas mensagens contraditórias.

Apesar de aparentemente não comprometer a segurança do voo, isto pode ocasionar uma carga de trabalho muito alta para uma tripulação já saturada com muitas informações durante uma situação de emergência, o que, na pior das hipóteses, pode ocasionar uma perda de controle da aeronave.

3.4 American Airlines 952

3.4.1 Histórico

O voo AA 956, da American Airlines decolou de Miami, Estados Unidos, para Cali, na Colômbia, no dia 20 de dezembro de 1995, transportando 156 passageiros e 8 tripulantes. O voo era realizado por uma aeronave do tipo Boeing 757 e transcorreu normalmente desde a decolagem até a entrada em espaço aéreo colombiano.

O Primeiro Oficial era o *PF*. O Comandante cuidava das comunicações com o órgão de controle de tráfego aéreo e programava-o. Ao ingressar no espaço aéreo da cidade de Cali, o qual não possuía equipamento de vigilância radar, se deu a seguinte sequência de eventos:

- Os pilotos interpretaram uma autorização de prosseguir para o VOR Cali como sendo para prosseguir direto para ele, sem ter de passar primeiro pelo VOR Tulua, como estava programado. O FMS foi então reprogramado para voar direto para o VOR Cali;

- O controlador de Cali questionou se os pilotos poderiam realizar a aproximação para outra pista, diferente da que esperavam que fosse e que já tinham se preparado. Ao aceitar esta mudança, foram então autorizados a realizar um novo procedimento e que, devido à elevada altitude e pouca distância que se encontravam do início deste, teriam pouco tempo para se preparar e executá-lo corretamente. Logo em seguida, o comandante solicitou voar

direto para um auxílio que se localizava a poucas milhas do aeroporto de Cali, sendo prontamente autorizado pelo controlador.

Este auxílio possuía um designativo idêntico a outro auxílio, também na Colômbia, mas afastado cerca de 130 milhas de Cali, próximo da cidade de Bogotá. Ao programar o FMS, a primeira opção de escolha de auxílios referia-se a este mais longe e que foi equivocadamente selecionado pelo comandante e que também não foi conferido pelo primeiro oficial.

A aeronave, então, curvou automaticamente à esquerda voando em direção a este novo auxílio selecionado. Somente depois de um minuto que a tripulação percebeu que a aeronave estava realizando uma curva e se afastando da rota originalmente traçada para o aeroporto.

Demonstrando uma considerável perda de Consciência Situacional, eles estavam com certas dificuldades de afirmar com precisão a localização da aeronave. Mais alguns minutos se passaram enquanto ambos os pilotos tentavam determinar a sua posição e também descobrir como voltar à Cali.

Ao finalmente conseguir comandar o avião para uma proa direto de Cali, não perceberam que estavam em regiões muito montanhosas e numa altitude extremamente baixa. O sinal auditivo do GPWS disparou, indicando uma colisão iminente com o solo.

Os pilotos, então, iniciaram uma tentativa de arremetida, porém não obtiveram sucesso, pois se esqueceram de que os *speedbrakes*¹⁸ continuavam aplicados, levando a aeronave a se chocar contra uma montanha a 38 milhas ao norte de Cali matando todos os 158 ocupantes da aeronave.

3.4.2 Análise

Pode-se analisar o acidente do voo AA952 nas duas formas citadas neste trabalho (Old View e New View). No caso da Old View, somente pelo texto anterior fica claro que os pilotos inseriram as informações erradas no sistema, este por sua vez simplesmente seguiu o que foi instruído, funcionando de acordo com a sua especificação. Como medidas preventivas, pode-se sugerir melhorar o treinamento dos pilotos para que estes verifiquem se o fixoque eles acabaram de inserir no sistema é realmente aquele que eles desejam ir.

¹⁸ Superfícies que se localizam no extradorso da asa para auxiliar a aeronave a perder altura e velocidade na aproximação ou para quebrar a sustentação da asa durante o pouso.

O ponto fraco, como já vimos, é a real utilidade desta visão para a prevenção de novos acidentes. Resumidamente, o sistema funcionou perfeitamente, quem fez as ações erradas foram os pilotos, estes devem ser retirados da operação e algum sistema de monitoramento deve ser criado para impedir que isso possa acontecer novamente. Porém, isto não esclarece porque eles selecionaram o ponto errado da rota e porque não conseguiram perceber que estavam ficando muito baixo na rampa. Isso só pode ser completamente entendido pela ótica da New View.

A pergunta inicial é como estes pilotos conseguiram se perder num avião totalmente equipado com dispositivos de navegação ultra precisos e ainda assim, tendo a consciência de que eles estavam fora da rota, continuaram a descida? Segundo ENDSLEY e STRAUCH¹⁹, isso foi consequência de uma combinação de fatores, as quais grande parte deve-se ao uso do FMS em sistemas automatizados.

Apesar do uso deste sistema trazer enormes benefícios ao voo, ele peca em fornecer aos pilotos uma Consciência Situacional Global, já que aquela rota traçada pelos pilotos não leva em consideração a topografia do terreno, sendo possível criar uma rota que leve a aeronave diretamente a uma cadeia de montanhas. Sem verificar a precisão desta rota criada comparando-a com cartas de navegação, por exemplo, os pilotos não detectarão estes erros caso simplesmente analisem o display à sua frente.

Porém nem sempre os mapas são a melhor opção já que as informações alteram constantemente e as nomenclaturas de alguns pontos mudam conforme a fonte de dados utilizada. Neste caso, dois pontos no FMS do avião eram designados como CF19 e FF19 enquanto que os mesmos dois pontos no mapa eram chamados de D21 e D16, respectivamente. É necessário algum tempo para que os pilotos consigam chegar à conclusão de que pontos com nomes diferentes na verdade são os mesmos. Porém, ao adicionar outra fonte de informação para a realização de uma única tarefa (neste caso, adicionar um mapa ao FMS para comparar os fixos durante a descida) existe uma maior chance de erros e a eficiência do trabalho diminui consideravelmente.

Outra questão é o fato de que a navegação vertical normalmente não é mostrada nos displays, levando aos pilotos a não perceberem quando estão fora do perfil vertical. Em muitos casos de *CFIT*, o perfil lateral da aeronave estava dentro do esperado, enquanto o

¹⁹ ENDSLEY, Mica; STRAUCH, Barry. *Automation And Situation Awareness: The Accident At Cali, Columbia*, 1997.

vertical estava muito abaixo da altitude planejada sem que a tripulação tenha percebido este fato.

Novamente, no acidente em Cali, apesar das várias curvas realizadas pelo avião, nenhum dos pilotos atentou ao fato de que a razão de descida foi a mesma durante todo o trajeto mesmo quando eles estavam fora da rota. Porém, eles sabiam qual era a altitude deles no momento, visto que na gravação das conversas da cabine ficou registrado o *callout* de 10.000pés e 9.000pés. Portanto, isso pode ser considerado uma perda de consciência situacional no nível 2, já que eles tinham a informação (altitude), porém não compreenderam qual o real significado dela para a operação.

Trocas de pista de última hora, como a que ocorreu no voo AA956, podem criar um problema significativo para a tripulação quando eles necessitam reprogramar o FMS para executar e/ou mostrar a nova trajetória de aproximação. Há mais de uma década já foi discutido que isto ocasiona um aumento na carga de trabalho quando esta já está elevada, normalmente ultrapassando o limite da tripulação. (Wiener, 1985 *apud* Endsley; Strauch, 1997).

Neste acidente identificam-se vários problemas que continuarão acontecendo enquanto aeronaves glass-cockpit estiverem voando:

(1) Os displays do FMS precisam fornecer toda a informação solicitada num único formato. Não se pode delegar aos pilotos a tarefa de integrar vários displays e fontes de informação num ambiente crítico como numa aproximação em área montanhosa.

(2) A reprogramação do sistema durante trocas de pista durante esta fase do voo continua uma tarefa com uma alta carga de trabalho e que tem um grande potencial para erro.

(3) Mais foco é necessário no treinamento dos pilotos durante a transição entre situações com baixa carga de trabalho (voo de cruzeiro) para momentos com alta carga de trabalho (aproximação e pouso).

3.5 Air France AF 447

3.5.1 Histórico

No dia 31 de Maio de 2009, o Airbus A330, matrícula F-GZCP, operado pela Air France decolou às 22h20min do aeroporto Internacional Tom Jobim – Galeão no Rio de Janeiro com destino ao aeroporto Charles de Gaulle, em Paris – França.

Após cerca de 4 horas de um voo sem nenhum problema, o comandante sai da cabine para dar lugar a um terceiro copiloto, procedimento normal em voos longos. O copiloto da direita é o PF e o da esquerda é o PM. A altitude no momento é 35.000pés.

As 02h 10min e 5 segundos do dia 1º de Junho de 2009, começa a sequência de acontecimentos que culminaram com a morte de 228 pessoas. Neste momento, o piloto automático e o Autothrust desconectam, sendo prontamente percebido pela tripulação, onde o copiloto da direita (PF) diz: “Eu tenho os controles”.

Neste exato momento, a aeronave estava passando por uma área de muita atividade convectiva e com grandes formações a frente de sua trajetória. Ao se aproximar da *ITCZ* (*Zona de Convergência Intertropical*), cristais de gelo atingem a aeronave e bloqueiam os três tubos de pitot utilizados como referência principal para medir a velocidade do avião. Neste momento, dois indicadores²⁰ de velocidade disponíveis para a tripulação no cockpit indicam uma queda na velocidade de 215kts, passando de 275kts para apenas 60kts de IAS (velocidade mínima possível de ser informada no display).

Em resposta a isso, o copiloto faz um movimento de puxar o *sidestick*, levantando o nariz da aeronave e forçando-a a subir, ocasionando a ativação do aviso de *stall* por duas vezes.

10 segundos depois do início do problema, o PM informa ao copiloto que eles estão subindo. Ele então sugere ao copiloto que inicie a descida, embora os comandos deste último continuem a manter a aeronave numa trajetória ascendente.

Após 30 segundos, a velocidade indicada no lado esquerdo do cockpit torna-se válida novamente, marcando agora 223kts, uma queda de 50kts desde o começo do evento.

²⁰ Apesar de a aeronave conter três indicadores de velocidade, somente ficaram registrados no FDR os dados do *PFD* do lado esquerdo e do *ISIS*.

As 2h 10min e 51 segundos, o aviso de *stall* soa novamente, mas desta vez de uma maneira contínua. Os manetes de potência são posicionados na posição TO/GA e o PF continua a realizar comandos para subir o nariz do avião.

15 segundos depois, a fonte de informação de velocidade do lado direito é selecionada para o ADR3 (que estava fornecendo informações válidas de velocidade). Neste momento, o copiloto passa a ter em sua tela a informação da velocidade real da aeronave, indicando 185kts. Apesar disso, ele continua a manter o *sidestick* para trás, forçando a aeronave a subir cada vez mais. Com o ar cada vez mais rarefeito, os motores perdem tração e não conseguem mais manter a velocidade da aeronave com o ângulo solicitado pelo copiloto. A altitude no momento é de 38.000pés, três mil pés acima da prevista.

Logo em seguida, o PM diz “controles na esquerda” e toma a prioridade no comando do avião do copiloto. Quase que imediatamente, o PF pressiona o botão no seu *sidestick*, retomando o controle da aeronave.

As 2h 11min e 42 segundos, o comandante retorna a cabine depois de inúmeros chamados feitos pela tripulação. Durante os próximos segundos, todas as três indicações de velocidade tornam-se inválidas novamente e o alarme de *stall* para após soar continuamente por 54 segundos. Neste momento, a aeronave está fora do envelope de voo, com uma atitude de 15° em relação ao horizonte, o ângulo de ataque excedendo 40° e uma razão de descida de aproximadamente -10.000pés/minuto.

20 segundos depois, ambos os pilotos comentam que “não tenho mais indicações válidas”. Logo em seguida, o PF empurra o *sidestick* para frente, reduzindo a atitude da aeronave. Isso faz com que o ângulo de ataque diminua e então as velocidades tornam-se válidas. Com isso, o aviso de *stall* soa novamente.

A gravação termina às 2h 14min e 28 segundos. Em 4 minutos e 23 segundos, um voo aparentemente normal transformou-se em uma tragédia, ceifando a vida de 228 pessoas.

3.5.2 Análise

Antes da análise propriamente dita, vale ressaltar que a aeronave caiu sobre o Oceano Atlântico, seus destroços foram localizados a mais de 4.000 metros de profundidade, sendo encontrados somente após dois anos do acidente, juntamente com gravadores de dados de voo e de voz.

Durante esses dois anos de buscas, muitas perguntas ficaram sem respostas. Como um avião ultramoderno pode ter simplesmente caído em pleno Oceano Atlântico, sem mensagens de emergência, sem aviso nenhum. A descoberta dos gravadores de voo foi comemorada por todos da aviação, tornando-se possível descobrir o que realmente causou todo o acidente.

Baseado na leitura dos dados percebe-se que durante praticamente todo o evento, o copiloto manteve seu *sidesstick* totalmente para trás, situação esta pouco normal, ainda mais em voo de cruzeiro, onde as amplitudes de movimento são muito menores em virtude da alta velocidade.

Apesar da aeronave neste acidente ser um A330, as *Control Laws* e proteções de envelope de voo são as mesmas do A320.

Como citado neste trabalho, a Airbus adota um sistema de proteções de voo, o que confere à aeronave uma característica única de, em condições normais, proteger o voo de situações perigosas, como neste caso, o *stall*. Caso o piloto inadvertidamente entre nesta situação, a própria aeronave mantém o controle, impedindo que ela efetivamente perca a sustentação.

Porém, quando há alguma degradação do sistema (Normal Law para Alternate Law), uma das primeiras proteções que se perde é esta citada acima.

Analisando a situação, percebe-se que o ambiente da cabine estava com inúmeros avisos ao mesmo tempo (*stall*, alarmes do piloto automático desconectando, mensagens de aviso aparecendo, etc.). De acordo com o relatório final do acidente, inúmeros estudos foram conduzidos para avaliar a falta de sensibilidade em relação aos avisos sonoros. O ato de pilotar é essencialmente visual, o que pode levar a um tipo de falta de sensibilidade a esses avisos, que devido a sua natureza agressiva e rara, podem passar despercebidos pela tripulação.

Uma análise comparativa a 17 outros relatórios de avisos de *stall* em alta altitude revelou que a análise da situação por parte dos pilotos pareceu difícil. Apesar de ser percebido, ele

normalmente trouxe um grau de surpresa muito grande, o que levou muitas tripulações a considera-lo como inconsistente.

Observa-se na Figura 16 que o ângulo de ataque máximo num aerofólio diminui consideravelmente com o aumento do número Mach, por este motivo que o comando do copiloto de levantar o nariz ocasionou a perda de sustentação.

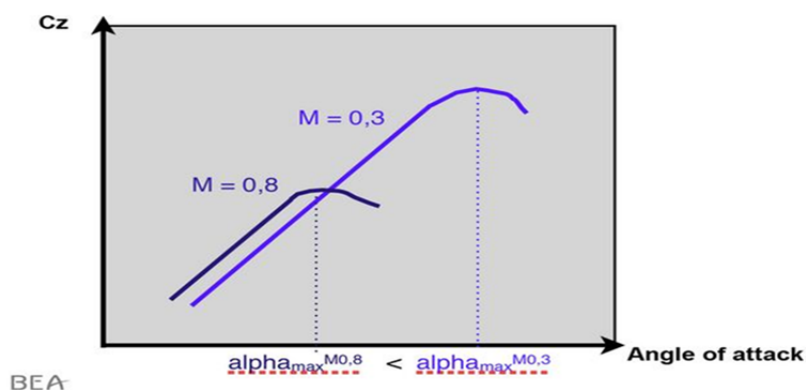


Figura 16: Gráfico do C_L x Ângulo de Ataque em diferentes velocidades
Fonte: BEA, Relatório Final AF447.

Quando da reversão do modo Normal para o modo Alternado, isto não fica bem claro para os operadores. Como já citado, existe a Alternate 2 Law e a Alternate 2B Law. No caso específico do AF447, como houve a incoerência dos 3 ADR's, o sistema reverteu para o modo 2B. Nesse caso, a única indicação caso a aeronave esteja numa velocidade muito baixa é o aviso sonoro e visual, sem nenhum artifício do computador. Porém, isto não fica bem claro para a tripulação na cabine, o que pode levar a um falso entendimento de quais são realmente as proteções ativas no momento. Sem entender quais são as proteções, fica difícil compreender quais vão ser as consequências das ações caso elas ultrapassem o envelope sem que se tenha percebido isso.

Ainda nesta configuração, a proteção de fator de carga continua ativa, portanto, durante voo em turbulência com o piloto automático desligado, a preocupação maior da tripulação deveria ser em manter as asas niveladas, já que deve ser necessária uma variação muito grande no sentido vertical da aeronave para que ela se desestabilize e necessite alguma correção manual. No caso do AF447, o piloto ao tentar corrigir o ângulo de inclinação da asa, acabava efetuando comandos no sentido longitudinal, afetando o voo nivelado.

Um fator crítico apresentado pelo relatório final é que na configuração ALTN 2B, o avião não mais possui a estabilidade longitudinal estática positiva (Ao aumentar o *pitch* do avião, a velocidade diminui. Como consequência, a sustentação diminui e o *pitch* também diminui

sem aplicação de nenhum comando pela tripulação). No caso do A330 em *Alternate Law*, quando este é colocado numa situação onde a potência não é suficiente para manter a velocidade, não existe nenhuma tendência de retorno do pitch à um ângulo menor, ou seja, a aeronave irá manter o pitch até entrar em *stall*, o que não é desejável. Isso pode ter contribuído para que o PF não tenha identificado a aproximação de um *stall*.

Outra peculiaridade do sistema é em relação ao modo de funcionamento do sistema de diretor de voo. Enquanto o piloto automático e Autothrust desconectam-se sozinhos durante algum problema e precisam que os pilotos pressionem um botão no painel para reativá-los, o *Flight Director* liga e desliga sozinho conforme a configuração do sistema. Toda vez que o Autothrust é desligado, o FD some (mesmo que seja por pouco tempo), ressurgindo logo em seguida. Isto pode criar a crença de que sempre que o FD estiver visível, ele está funcionando normalmente, quando nem sempre isto é verdade.

Porém neste caso em específico, o FD, quando visível, solicitava que a aeronave mantivesse um pitch de cerca de 15°, enquanto que o correto seria baixar o nariz para ganhar velocidade. Isso pode ter levado ao copiloto tentar seguir o FD, sem levar em consideração os modos ativos e a situação em que a aeronave se encontrava

O aviso de *stall* não é em função da velocidade, mas sim em função do ângulo de ataque. Pela configuração do sistema, quando a velocidade indicada é menor que 60kts, o ângulo de ataque não é computado já que o sistema considera que ele não é confiável. Acontece que no caso do 447, o *pitot* congelou e a velocidade indicada caiu para menos de 60kts, porém o avião estava voando com uma velocidade muito maior, somente a indicação de velocidade é que estava errada. Portanto, isso inibiu o aviso de *stall* em algumas situações e o fez funcionar de maneira estranha. Até o fim do voo o valor do ângulo de ataque mudou constantemente de válido para inválido. Cada vez que o valor era considerado válido pelo sistema, o aviso de *stall* tocava. Quando era inválido, o aviso parava. Vários comandos de baixar o nariz realizados pelo copiloto (sendo isso o procedimento correto) ocasionaram um aumento na velocidade indicada e posterior validade do sensor de ângulo de ataque, o que ocasionava o aviso de *stall*. Em duas ocasiões o copiloto, ao perceber o alarme de *stall*, puxava novamente o *sidestick*, diminuindo a velocidade e parando o aviso.

O outro copiloto, PM, não percebeu em nenhum momento que o PF estava mantendo o nariz do avião para cima, como fica claro na transcrição da seguinte frase: “Nós perdemos totalmente o controle da aeronave”. Somente nos momentos finais do voo é que o PF falou

que ele estava mantendo o nariz do avião para cima o tempo todo (“*But I’ve been at maxi nose-up for a while*”)²¹. Neste momento, o PM assume os comandos, mas é tarde demais. 30 segundos depois, o voo AF447 tem seu fim.

O comandante Chesley Sullenberger²² disse em uma entrevista achar muito improvável que este acidente teria acontecido caso a aeronave em questão fosse um Boeing simplesmente pelo fato de que o outro piloto iria ver claramente o que seu colega estaria fazendo com os controles, talvez assim evitando o *stall* em alta altitude, trazendo à tona a discussão sobre a importância do feedback tátil durante a operação.

A perda de indicação de velocidade durante o voo é prevista pelo fabricante da aeronave, não sendo um problema de extrema urgência se gerenciada com rapidez pela tripulação.

A ocorrência deste problema durante o AF447 pegou os dois tripulantes de surpresa. As aparentes dificuldades no controle do avião em alta altitude levaram a controles excessivos de *roll* e um comando agressivo de *pitch up*. Colaboraram pra isso as indicações errôneas de velocidade, mensagens confusas no ECAM que não ajudaram no diagnóstico da situação, e ainda, no momento do acidente, não havia treinamento disponível para recuperação de *stall* em altas altitudes, o que, provavelmente, levou o PF a realizar o procedimento que ele havia treinado no simulador: Aplicar potência máxima e aumentar o *pitch* para 15°.

Porém agora fica claro (através do Hindsight Bias) que esta não era a melhor alternativa já que o ângulo de ataque máximo do aerofólio a Mach 0.8 (alta altitude) é muito menor do que a Mach 0.3 (baixa altitude), resultando assim em um *stall*. Infelizmente os pilotos não tiveram esta visão que temos hoje, porém não por culpa deles, mas sim se todo um *background* que começa desde o treinamento deles.

O avião entrou em *stall*, o que foi avisado pelo aviso sonoro e uma vibração muito forte da estrutura (*Buffet*). Apesar destes sintomas clássicos, nenhum dos tripulantes percebeu o que estava acontecendo, não aplicando a manobra de recuperação. A combinação da ergonomia do design dos avisos de emergência, as condições nas quais pilotos de linha aérea são treinados e expostos à *stalls* durante o treinamento profissional e o processo de treinamento regular não gera nenhum comportamento aceitável nesta situação.

²¹ BEA, Appendix 1, CVR Transcript AF447

²² Comandante do voo US Airways 1549 que pousou na água no Rio Hudson em 2009 ao perder potência nos dois motores quando atingiu um bando de gansos canadenses logo após decolar do aeroporto de La Guardia em Nova Iorque.

Em resumo, os seguintes eventos contribuíram para o acidente:

- Obstrução temporária dos tubos de pitot, provavelmente por cristais de gelo, o que resultou na desconexão do piloto automático e perda das proteções de voo.
- Comandos inapropriados que desestabilizaram a aeronave
- A falta de alguma conexão entre a perda de velocidade indicada e o procedimento correto a ser executado
- A identificação tardia por parte do PM do desvio da trajetória de voo e a correção insuficiente por parte do PF.
- A tripulação não ter identificado a iminência do stall, a falta de uma resposta imediata e a saída do envelope de voo.
- A falha da tripulação não ter diagnosticado a situação de *stall* e consequentemente a falta de estímulos que teriam tornado possível a recuperação.

Esses eventos mencionados citados no relatório final podem ser explicados pela combinação de alguns fatores, incluindo:

- A tripulação não levar em conta o aviso de *stall*, o que pode ser devido:
 - o A falha de identificar o aviso sonoro em virtude da pouca exposição durante o treinamento ao fenômeno do *stall*, vibração da aeronave e aviso sonoro.
 - o Ao aparecimento de avisos transientes no começo do evento que podem ser considerados como espúrios.
 - o A falta de qualquer informação visual para confirmar a aproximação de um *stall* depois da perda de velocidade indicada.
 - o A possível confusão de uma situação de *overspeed* na qual a vibração também é considerada como um sintoma.
 - o As indicações do Flight Director que podem ter levado a tripulação a acreditar que suas ações eram apropriadas, quando na verdade não eram.
 - o A dificuldade no reconhecimento e entendimento das implicações da reconfiguração da aeronave para modo alternado sem proteção de ângulo de ataque.

Recomendações de segurança:

- Inserir a leitura do ângulo de ataque diretamente no painel, visando assim uma fácil identificação por parte da tripulação de qual o ângulo de ataque atual e o máximo permitido para a fase do voo.
- A gravação de parâmetros de voo (altitude, atitude, velocidade e posição das barras do Flight Director) do lado direito da aeronave. Além disso, foram sugeridas pesquisas para se tornar obrigatório o registro de todos os parâmetros recebidos pelos diversos sensores da aeronave, mesmo que estes não sejam mostrados aos pilotos
- A ativação dos *ELT's* assim que uma emergência for detectada a bordo a fim de enviar um sinal potente aos satélites, facilitando a localização dos destroços.
- Revisar as ordens das barras do Flight Director em situações anormais de voo, já que neste caso entravam em contradição com os comandos necessários para esta situação e podem ter atrapalhado a tripulação.
- Revisar as condições de funcionamento do aviso de stall em voo quando as velocidades medidas estão muito baixas.

4 CONCLUSÃO

O mundo está em constante evolução, tudo tende a ser aperfeiçoado e melhorado, e no segmento da aviação não é diferente. Em pouco mais de 70 anos, as cabines de comando passaram simplesmente de lugares onde o piloto entrava para pilotar a aeronave de forma manual a um ambiente completamente automatizado, reduzindo o número de pessoas na cabine, que já chegou a sete, para somente duas pessoas e inúmeros computadores. A tecnologia é tão avançada que praticamente o piloto não voa mais a aeronave, somente gerencia todos os sistemas nela embarcados.

O benefício trazido pela automação é imenso, aumentando a segurança de voo por diminuir a carga de trabalho dos tripulantes. Porém, mesmo que os pilotos não estejam realmente pilotando a aeronave, é preciso uma concentração muito grande para entender o que a máquina está fazendo, exigindo um processo mental talvez até maior que a própria pilotagem.

Muito tem se falado em formação e *CRM*, porém, mesmo assim, acidentes acontecem e quase sempre são todos catalogados como “Falha Humana”, que, conforme foi explicado ao longo deste trabalho, é um rótulo falho e muito simplista do ponto de vista da prevenção de acidentes. É necessário abrir a mente para novas possibilidades durante o processo de investigação de um acidente, procurar O QUÊ é o problema e não somente QUEM é o problema.

A finalidade dos sistemas embarcados é a mesma independente do fabricante. Ele foi projetado para auxiliar os pilotos nas tarefas diárias, com o objetivo de tornar o voo mais viável. Dependendo da empresa, esse objetivo, apesar de comum à todas, tem algumas diferenças básicas no processo que leva até ele: Enquanto uma oferece a liberdade total para a tripulação realizar qualquer manobra com a aeronave a outra empresa preferiu limitar um pouco as ações dos tripulantes, mas considerando uma margem muito grande entre a operação normal, a não-normal e o limite imposto por ela. Sendo assim, essas limitações não constituem-se de uma tentativa do fabricante de tirar o controle do avião dos pilotos, pelo contrário, ao prevenir que o avião entre em situações perigosas, diminui-se a probabilidade de acidentes em relação a erros de pilotagem.

Porém, todas essas tecnologias tem um ponto fraco. Por mais avançado que seja o sistema, ele pode apresentar falhas, por isso, cada vez mais, a relação-homem máquina é muito importante. Ao se deparar com uma falha, o sistema perde algumas de suas características, sendo papel da tripulação saber quais são e o que isso representa no voo, passando de uma situação de gerenciamento de sistemas com baixa carga de trabalho para, em pouco tempo, tornou-se um voo manual provavelmente com alguma pane nos computadores.

Um sistema complexo como a cabine de comando requer um conhecimento muito grande por parte dos pilotos, tanto para entender o funcionamento normal do avião, mas mais ainda, entender o que acontece quando os sistemas não vão bem, sendo este último a principal causa de acidentes hoje em dia: A falta de interação entre homem-máquina quando numa situação anormal.

Apesar da tristeza e dor que se segue a um acidente de grande porte, como foram os dois últimos casos citados neste trabalho, que juntos totalizam 388 mortos, cada relatório é um avanço no entendimento destas máquinas e o que pode ocorrer em situações não previstas pelos engenheiros na sua concepção. O progresso nos processos de fabricação de materiais

também é otimizado quando da divulgação dos relatórios, fornecendo às empresas pontos fundamentais que precisam ser melhorados, ao reforçar a estrutura da aeronave por exemplo.

As novas tecnologias que estão por vir devem efetivamente contribuir para o bom desempenho profissional dos pilotos, e não o contrário. Da combinação entre homem-máquina, é o que depende o futuro da aviação como o meio mais seguro de transporte, propiciando uma oportunidade única, um sonho de muitas pessoas, inclusive o meu:

O sonho de voar.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Airbus Industrie, **A320-200 Technical Definition**, 1998, France.

AIRBUS, **FAST #20**, 1996. Disponível em:

http://www.airbus.com/support/publications/?eID=dam_frontend_push&docID=18323

Acesso: 30 de Outubro de 2012

Airbus Industrie, **Fly-By-Wire**, S.d. Disponível em:

<http://www.airbus.com/innovation/proven-concepts/in-design/fly-by-wire/>. Acesso em 20 de Outubro de 2012.

AIRBUS. Flight Operations Briefing Notes: **Standard Operating Procedures - Operating Philosophy**, 2006. Disponível em:

http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/safety_library_items/AirbusSafetyLib_-FLT_OPS_SOP_SEQ01.pdf. Acesso: 15 de Outubro de 2012

AIRBUS. Flight Operations Briefing Notes: **Standard Operating Procedures - Optimum Use of Automation**, 2004. Disponível em:

http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/safety_library_items/AirbusSafetyLib_-FLT_OPS_SOP_SEQ02.pdf. Acesso: 15 de Outubro de 2012

AIRBUS. Flight Operations Briefing Notes: **Standard Operating Procedures – Operations Golden Rules**, 2004. Disponível em:

http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/safety_library_items/AirbusSafetyLib_-FLT_OPS_SOP_SEQ03.pdf. Acesso: 15 de Outubro de 2012

AIRBUS. Flight Operations Briefing Notes: **Standard Operating Procedures – Standard Calls**, 2004. Disponível em:

http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/safety_library_items/AirbusSafetyLib_-FLT_OPS_SOP_SEQ04.pdf. Acesso: 15 de Outubro de 2012

AIRBUS. Flight Operations Briefing Notes: **Human Performance - Human Factors Aspects in Incidents/Accidents**, 2004. Disponível em:

http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/safety_library_items/AirbusSafetyLib_-FLT_OPS-HUM_PER-SEQ01.pdf. Acesso: 18 de Outubro de 2012

AIRBUS. Flight Operations Briefing Notes: **Human Performance – CRM Aspects in Incidents/Accidents**, 2004. Disponível em:

http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/safety_library_items/AirbusSafetyLib_-FLT_OPS-HUM_PER-SEQ02.pdf. Acesso: 18 de Outubro de 2012

AIRBUS. Flight Operations Briefing Notes: **Human Performance – Managing Interruptions and Distractions**. Disponível em:

http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/safety_library_items/AirbusSafetyLib_-FLT_OPS-HUM_PER-SEQ03.pdf. Acesso: 20 de Outubro de 2012

AIRBUS. Flight Operations Briefing Notes: **Human Performance – Effective Pilot/Controller Communication**, 2004. Disponível em:

http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/safety_library_items/AirbusSafetyLib_-FLT_OPS-HUM_PER-SEQ04.pdf. Acesso: 20 de Outubro de 2012

AIRBUS. Flight Operations Briefing Notes: **Human Performance - Enhancing Situational Awareness**, 2007. Disponível em:

http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/safety_library_items/AirbusSafetyLib_-FLT_OPS-HUM_PER-SEQ06.pdf Acesso: 20 de Outubro de 2012

AIRBUS. Flight Operations Briefing Notes: **Human Performance - Error Management**, 2005. Disponível em:

http://www.airbus.com/fileadmin/media_gallery/files/safety_library_items/AirbusSafetyLib_-FLT_OPS-HUM_PER-SEQ07.pdf. Acesso: 21 de Outubro de 2012

AIRBUS TRAINING, **A320 Simulator Flight Crew Operating Manual**, S.d

ATSB, **Crosswind Landing Event Melbourne Airport, Vic**, 2007. Disponível em: http://www.atsb.gov.au/media/1361118/aair200505311_001.pdf. Acesso 02 de Novembro de 2012

BEA, **Final Report Air France AF447**, 2012. Disponível em: <http://www.bea.aero/docspa/2009/f-cp090601.en/pdf/f-cp090601.en.pdf>. Acesso dia 05 de Julho de 2012

BEA, **Appendix 1, CVR Transcript**, 2012. Disponível em: <http://www.bea.aero/docspa/2009/f-cp090601.en/pdf/annexe.01.en.pdf>. Acesso em 08 de Novembro de 2012.

Billings, C. E. (1991). **Human-centered aircraft automation: A concept and guidelines** (NASA Technical Memorandum 103885). Moffet Field, CA: NASA Ames Research Center.

CENIPA, **Relatório final TAM JJ3054**, 2010. Disponível em: <http://www.cenipa.aer.mil.br/cenipa/paginas/relatorios/pdf/RF3054.pdf>. Acesso 3 de novembro de 2012

CÎMPIAN, Ionut. **Ergonomic Design of Aircraft Cockpit**, 2011

COOK, E. Marc., **Meet Mechanical Mike**, AOPA Pilot, 1995. Disponível em: <http://www.aopa.org/special/microsoft/articles/bbb9510.html>

Costley, J., Johnson, D. and Lawson, D. (1989), ‘**A comparison of cockpit communication B737 – B757**’, in Jensen, R.S. (ed.) *Proceedings of the Fifth International Symposium on Aviation Psychology*, pag. 413-418

Davies, D.P., **Handling the Big Jets**, 1979, CAA, London

ENDSLEY, Mica R. **Automation and situation awareness**, 1996

FAA Human Factors Team, **The Interfaces Between Flightcrews and Modern Flight Deck Systems**, 1996. Disponível em:
[http://www.faa.gov/aircraft/air_cert/design_approvals/csta/publications/media/flightcrews_flightdec
 k.pdf](http://www.faa.gov/aircraft/air_cert/design_approvals/csta/publications/media/flightcrews_flightdeck.pdf). Acesso em: 25 de Outubro de 2012

ICAO, **Annex 8 Airworthiness of Aircraft**, 10th edition, 2005

International Ergonomics Association (IEA), **What is Ergonomics**, S.d. Disponível em:
http://www.iea.cc/01_what/What%20is%20Ergonomics.html. Acesso 28 de Outubro de 2012

Langley Research Center, **The Glass Cockpit**, 2000 Disponível em:
<http://www.nasa.gov/centers/langley/news/factsheets/Glasscockpit.html>. Acesso: 06 de
 Outubro de 2012

Last, S. and Alder, M., "**British Airways Airbus A320 Pilots' Autothrust Survey**," SAE
 Technical Paper 912225, 1991, doi:10.4271/912225.

National Aeronautics and Space Administration, **NASA's B-737 Flying Laboratory**.
 Disponível em: <http://www.nasa.gov/centers/langley/news/factsheets/B-737.html>.
 Acesso: 06 de Outubro de 2012

PALMER, E. A., & DEGANI, A. (1991). **Electronic checklist: Evaluation of two levels of automation**. Proceedings of the Sixth International Symposium on Aviation Psychology (pp. 178-183). Columbus, OH: The Ohio State University.

PARASURAMAN, Raja. (1987). **Human-computer monitoring**. *Human Factors*, 29(6),

PARASURAMAN, Raja & MOULOUA, Mustapha. **Automation and Human Performance: Theory and Applications**. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, 1996.
 518 p.

RANFRANZ, Patrick T., **Lindbergh Flies the Atlantic**, 1927. Disponível em:
<http://www.charleslindbergh.com/history/paris.asp>. Acesso 02 de Outubro de 2012

REUTERS, **Embraer sells 10 E-Jets to Brazilian airline Azul.**

Disponível em: <http://www.reuters.com/article/2012/02/14/embraer-idUSL2E8DE8CL20120214> Acesso: 22 maio 2012

ROBINSON, Tim. **EXCLUSIVE – Qantas QF32 flight from the cockpit**, 2010.

Disponível em: <http://media.aerosociety.com/aerospace-insight/2010/12/08/exclusive-qantas-qf32-flight-from-the-cockpit/3410/>. Acesso: 18 de Outubro de 2012

ROSS, Nick. TWEEDIE, Neil. **Air France Flight 447: ‘Damn it, we’re going to crash’**,

2012. Disponível em: <http://www.telegraph.co.uk/technology/9231855/Air-France-Flight-447-Damn-it-were-going-to-crash.html>. Acesso 28 de Outubro de 2012

SKM – Sinclair Knight Merz, **Balancing safety and accountability**, 2011. Disponível em:

<http://www.skmconsulting.com/Knowledge-and-Insights/Achieve-Magazine/>. aspx. Acesso em 17 de Outubro de 2012.

Taylot, R.M. (1989), **‘Crew Systems design: some defence, psychological futures’**, in

Jenses, RS (ed.) *Aviation Psychology*, Gower Technical, Aldershot, 38-65

The Boeing Company, **BWIA West Indies Airways' First Boeing 737-800 Carries**

Relief Supplies, 2000. Disponível em

http://www.boeing.com/news/releases/2000/news_release_000107d.html. Acesso 28 maio 2012

The Boeing Company, **Flight Crew Operating Manual**, v.2 2005

The Boeing Company, **History Of The 767 Two-Crew Flight Deck**. [S.d] Disponível

em: http://www.boeing.com/commercial/767family/pf/pf_fltdeck.html Acesso em: 22 maio 2010

The Boeing Company, **The Role of Human Factors in Improving Aviation Safety**,

Disponível em: http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_08/human.pdf.

Acesso: 08 de outubro de 2012

The Boeing Company, **The Value of Techonology on the 737**, S.d. Disponível em:
http://www.boeing.com/commercial/737family/pf/pf_technology.html. Acesso 20 de outubro
de 2012