UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
Ciências Aeronáuticas

OLIMPIO CABRAL VELASCO

ERGONOMIA COGNITIVA COMO FATOR DE RISCO EM INCIDENTES E ACIDENTES AERONÁUTICOS

Palhoça – SC
2018

OLIMPIO CABRAL VELASCO

ERGONOMIA COGNITIVA COMO FATOR DE RISCO EM INCIDENTES E ACIDENTES AERONÁUTICOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Ciências Aeronáuticas da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito à consecução do título de obtenção do grau de Graduação em Ciências Aeronáuticas.

Orientador: Prof. Angelo Damigo Tavares, MSc

Avaliador: Prof. Marcos Fernando Severo de Oliveira, Esp

Palhoça – SC
2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Professor Angelo Damigo Tavares, pela paciência, dedicação, e incentivo na realização deste trabalho. Suas colocações sempre pontuais motivaram-me a seguir em frente.

Agradeço à minha esposa Joana que, ao seu tempo, soube entender minha necessidade de enfrentar desafios, transformando-os em vitória, abdicando da minha presença.

Aos meus filhos, em especial ao Breno que, sem perceber, retribuiu-me o carinho e a orientação que sempre orientou minhas ações para com eles.

A todos os professores e coordenadores da UNISUL que contribuíram direta ou indiretamente para a realização de um sonho.

A todos os amigos que, mesmo sem saber, contribuíram de forma significativa na elaboração deste trabalho.

Em especial à vida, que com suas sábias lições, mostrou-me como transformar derrotas em sucesso.

“Talvez, dentre todas as maravilhas de evolução, a mais singular seja a de uma mente sábia o bastante para evitar o risco de conhecer a si mesma.”

Sigman

RESUMO

O presente trabalho se propõe a abordar com mais profundidade um tema pouco estudado, mas muito importante: o da ergonomia cognitiva como fator de acidentes e incidentes aeronáuticos. Contará com estudos, entrevistas a comandantes aeronáuticos, relatórios finais de acidentes e conceitos científicos acerca da cognição humana que corroborem com a ideia de que os padrões ergonômicos influenciam na tomada de decisão, principalmente em momentos de estresse intenso.

Palavras-Chave: ergonomia cognitiva, aviação, tomada de decisão, fator humano.

ABSTRACT

The present work intends to study in more depth a very important (though not much studied) subject: cognitive ergonomics as a factor of accidents and aeronautical incidents. It will include studies, interviews with aeronautical commanders, final crash reports, and scientific concepts about human cognition that corroborate the idea that ergonomic patterns influence decision making, especially in times of intense stress.

Keywords: cognitive ergonomics, aviation, decision-making, human factor.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - MOSTRADOR CONVENCIONAL 13
FIGURA 2 - MOSTRADOR SEM NÚMEROS 13
FIGURA 3 - MOSTRADOR REVERSO 13
FIGURA 4 - AERONAVE AIRCO DH.16 17
FIGURA 5 - BOEING 787-9 DA KLM 18
FIGURA 6 - MOTOR COM POTÊNCIA EM MARCHA LENTA NO E/WD DA AIRBUS 19
FIGURA 7 – MOTOR COM POTÊNCIA NORMAL NO E/I DA BOEING 19
FIGURA 8 - MOTOR COM POTÊNCIA NORMAL NO E/WD DA AIRBUS 19
FIGURA 9 - MOTOR ESQUERDO EM MARCHA LENTA E DIREITO COM FALHA NO E/I DA BOEING 19
FIGURA 10 - O AUMENTO DA AUTOMAÇÃO EVIDENCIANDO O AUMENTO DO FATOR HUMANO NOS ACIDENTES AERONÁUTICOS 32
FIGURA 11 - INTENCIONALIDADE DO ERRO 34

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - POSIÇÃO DOS MANETES DE CONTROLE EM ALGUMAS AERONAVES.....33

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 10

1.1. Problema da Pesquisa 14

1.2. Objetivos 14

1.2.1. Objetivo Geral 14

1.2.2. Objetivos Específicos 14

1.3. Justificativa 15

2. EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA 17

2.1. Tomada de Decisão 21

2.1.1. Ergonomia Cognitiva 24

2.1.2. Ergonomia Cognitiva 25

2.1.3. Sensação e Percepção 26

2.1.4. Neuroplasticidade 28

2.1.5. Neuroplasticidade e memória/aprendizagem 28

2.1.6. Influência do estresse e depressão na plasticidade neuronal 29

2.1.7. Interação homem X máquina/tecnologia 30

2.1.8. O piloto e a cognição, análise geral 35

3. METODOLOGIA 37

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS 39

4.1. Sobre o problema da pesquisa 39

4.2. Relatórios finais de acidentes 43

4.2.1. Relatório final NTSB/AAR-14/01 – Notation 8518 – 24 Junho 2014 43

4.2.2. Relatório final A-67/CENIPA/2009 – PR-MBK – 17 Julho 2007 50

4.2.3. Relatório final Aeroperú 603 – Accident Investigation Board of the Directorate General of Air Transport 57

5. CONCLUSÃO 61

5.1. Limitações 62

5.2. Recomendações 63

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 64

APÊNDICE A – ROTEIRO DAS ENTREVISTAS 66

A.1. Identificações pessoais 66

A.2. Método 66

1. INTRODUÇÃO

A análise de um incidente ou acidente aeronáutico evoluiu de maneira negativa nos últimos anos. Até meados da década de 90, o caráter da investigação era sigiloso e os dados apresentados para conhecimento geral visavam a disseminação do conhecimento, de modo a evitar novas ocorrências semelhantes, preservando, desta forma, patrimônios e vidas humanas.

Atualmente, após a conclusão da investigação de um acidente e a divulgação da causa ou fatores contribuintes pelos órgãos aeronáuticos, o ministério público assume a investigação na procura dos culpados para aplicação das penas previstas em lei. Todavia, a navegação aérea, dada suas particularidades e abrangência, não pode e não deve ser tratada como uma atividade corriqueira.

Para tanto faz-se necessário abordar a questão cognitiva com seriedade, como é a proposta deste trabalho de pesquisa, e tratar com maior propriedade o fator “fadiga”, tema este não abordado com profundidade nesta análise, mas que influencia diretamente o aspecto cognitivo.

Este trabalho fará uma releitura de incidentes e acidentes aeronáuticos com uma abordagem restrita aos fatores cognitivos que norteiam as decisões dos pilotos em momento de grande estresse e carga de trabalho elevada, quando no enfrentamento de situações adversas e que demandam decisão imediata. Não tem a pretensão de rever ou imputar culpabilidade, mas sim destacar um tema considerado, até pouco tempo, irrelevante.

A pesquisa dividirá a análise dos dados em dois períodos distintos de tempo. Considerar-se-á a década de 1980 como divisor da tecnologia embarcada, sendo as aeronaves anteriores a este período tratadas como "Clássicas" e após este período como "Glass Cockpit", adotando a aeronave Boeing 767 como referência nesta divisão.

Uma aeronave é composta por diversos sistemas automatizados que tornam o ambiente interno das mesmas autossustentável. Quando alguma falha ocorre, ações corretivas são necessárias para que o voo prossiga em segurança. Nas aeronaves clássicas, até o final da década de 80, estas ações estão contidas em manual de referência conhecido como QRH (*Quick Reference Handbook),* que orienta a tripulação na reconfiguração do sistema envolvido.

Nas aeronaves modernas classificadas como "*Glass Cockpit",* graças à inserção de telas de tubos de raios catódicos (conhecidos como CRT) nas cabines de comando, além de computadores dedicados, as ações corretivas são apresentadas digitalmente nestas telas em módulos conhecidos por EICAS (*Engine Indicating and Crew Alerting System)* na filosofia Boeing, ou ECAM (*Electronic Centralized Aircraft Monitor)* na filosofia Airbus. Estes sistemas orientam as ações imediatas a serem tomadas pela tripulação; contudo, não eximem a necessidade da consulta do QRH e outros documentos para as ações complementares finais.

Tanto nas aeronaves Clássicas quanto nas Glass Cockpit, todas as ações corretivas dependem exclusivamente dos pilotos.

As aeronaves de última geração conhecidas por "Fly by Wire", como o Airbus A-320, possuem a capacidade de, através de seus computadores, autoconfigurarem sistemas com mau funcionamento, sem a necessidade da intervenção dos pilotos. Estas aeronaves adotam também um modelo de indicação visual para o piloto conhecido por "Dark Cockpit", onde define-se que se os sistemas estiverem dentro dos parâmetros normais de operação, não haverá nenhuma chave ligada ou desligada dependendo do sistema abordado e sem luz relacionada acesa, ou combinação de ambos.

Neste contexto, em alguns casos, as ações contidas no ECAM ou QRH nas aeronaves da família Airbus orientando o posicionamento de controles e chaves para a nova realidade operacional têm a função de manter a conformidade com a nova configuração, fornecendo indicação visual para a tripulação, que rapidamente identificará uma reconfiguração de sistema.

Buscando maximizar a eficiência operacional, rentabilidade e segurança, os diversos fabricantes de aeronaves desenvolvem seus equipamentos sem dar o devido valor à padronização das informações que serão apresentadas aos pilotos.

Ao operar um equipamento de determinado fabricante por muitos anos, o piloto fica condicionado a ter reações intuitivas construídas ao longo dos anos de operação por meio dos treinamentos em simuladores de voo e pela experiência adquirida no dia a dia:

> O sistema de automação do A-320 é complexo e leva o piloto a, inconscientemente, criar um modelo mental na tentativa de compreender a maneira como se processa a operação da aeronave e, assim, facilitar a sua interação com ela. (BRASIL. RF A- 67/CENIPA/2009, p. 84).

> A dinâmica que está presente na relação do piloto com a automação o condiciona a esperar por orientações nas situações que fogem da normalidade. Num momento crítico, a orientação não foi apresentada e os pilotos não estavam preparados para compreender o que se passava. (BRASIL. RF A-67/CENIPA/2009, p. 87).

Este piloto, ao mudar para um equipamento de outro fabricante e, portanto, com outra filosofia de construção, precisa reajustar seu conhecimento, que agora está voltado para a nova realidade. Isto é um verdadeiro problema pois seu condicionamento para responder aos estímulos cognitivos deverá agora ser doutrinado para a nova filosofia e isso demanda muito treinamento e tempo.

Tripulações recém liberadas para voo estarão mais suscetíveis aos erros de interpretação dos dados apresentados e nas tomadas de decisões em função da pouca experiência nos novos equipamentos:

> Apesar de sua larga experiência em grandes jatos comerciais, o SIC possuía apenas cerca de 200 horas de voo em aeronaves A-320. Além disso, sua experiência na função de co-piloto desta aeronave se restringia ao treinamento para “Right Seat Certification”, o que se mostrou insuficiente para lidar com uma situação de emergência. (BRASIL. RF A- 67/CENIPA/2009, p. 99).

Como exemplo fora da área da aviação: na vida cotidiana, há um consenso geral onde o movimento de ponteiros em um mostrador ou relógio qualquer no sentido horário de rotação indicará um valor crescente e no sentido anti-horário indicará valores decrescentes.

Vamos então analisar as figuras:

Figura 1 - Mostrador convencional

Fonte: Google (2018)

Figura 2 - Mostrador sem números

Fonte: Google (2018)

Figura 3 - Mostrador reverso

Fonte: Google (2018)

As figuras 1, 2 e 3 apresentam relógios analógicos onde os ponteiros de horas e minutos estão numa mesma posição angular e em princípio deveriam indicar a mesma hora. Qualquer indivíduo que for fazer a leitura das horas indicadas pelos relógios das figuras 1 e 2 responderá sem dificuldades que ambos marcam 10:10 horas (dez horas e dez minutos). Mesmo não havendo números no mostrador do relógio da figura 2, a leitura é possível pois fomos condicionados pelos fabricantes de relógio a esperar um formato de leitura onde uma abertura angular dos ponteiros dará uma indicação clara da hora e dos minutos apresentados. E esta premissa é válida para qualquer fabricante de relógios.

O relógio da figura 3 usa mecanismo reverso, ou seja, os ponteiros movem-se no sentido anti-horário, contrariando o convencional. Uma leitura rápida neste relógio induzirá um indivíduo desavisado a reportar a hora indicada como sendo 13:50 horas (treze horas e cinquenta minutos). Contudo, observando atentamente é possível ver que apesar dos ponteiros do relógio reverso possuírem as mesmas características dos relógios convencionais, os números no mostrador estão fora da posição esperada, o que gera uma confusão na hora da interpretação dos dados apresentados, obrigando o cérebro a adaptar-se à nova realidade. Vale observar que os ponteiros de horas, minutos e segundos nos relógios das figuras 1 e 3 mostram exatamente a mesma hora, 10:10:35 horas (dez horas, dez minutos e trinta e cinco segundos), entretanto o desenho em nosso mapa mental não identifica este fato de imediato, gerando confusão e surpresa.

Este estudo demonstrará a importância da padronização das informações apresentadas nas cabines de comando das aeronaves aos pilotos pelos diversos

fabricantes. Abrirá a oportunidade de diálogo sobre as vantagens desta padronização para diminuir os custos com fabricação de equipamentos e acessórios e com treinamentos em simuladores de voo, aumentando a eficiência e segurança da aviação.

1.1. Problema da Pesquisa

Qual é a importância em estabelecer uma padronização nas informações apresentadas aos pilotos, considerando-se os aspectos cognitivos para o projeto de aeronaves?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Evidenciar o quão importante é o estudo da ergonomia cognitiva na área da aviação para evitar acidentes e incidentes aeronáuticos.

1.2.2. Objetivos Específicos

a) Descrever a importância da padronização das informações disponibilizadas aos pilotos no projeto das aeronaves, para construtores, órgãos fiscalizadores, operadores e a sociedade em geral;

b) Obter dados sobre o comportamento do cérebro humano exposto ao estresse e sua influência na tomada de decisão;

c) Analisar dados sob a ótica da ergonomia cognitiva na relação homem-máquina e sua relevância na análise de incidentes e acidentes aeronáuticos como fator contribuinte.

1.3. Justificativa

É inegável a evolução tecnológica dos meios de transporte em geral, principalmente na área da tecnologia embarcada, que vem para aumentar a segurança e eficiência operacional, enfatizando-se, neste processo, a busca constante por soluções para reduzir o impacto ao meio ambiente.

Entretanto, enquanto a aviação evolui em uma progressão exponencial e crescente, o ser humano evolui em progressão aritmética (basta ver o salto em que as aeronaves deram desde o 14-BIS, de 1906, em contraste com o nosso salto humano, nas diversas áreas intelectuais, cognitivas e afins).

A constante busca na tentativa de levar o erro humano a índices próximos de zero tornou as aeronaves cada vez mais sofisticadas e capazes de tomarem ações corretivas sem a interferência do piloto. A gigante Airbus adotou uma filosofia operacional orientada por “leis de proteção”, que em casos extremos impede o piloto de executar ações indevidas em nome da segurança e conforto. Contudo, a indústria aeronáutica na marcha evolutiva não levou em consideração que o fator humano não evoluiu nos mesmos moldes nesta interação.

Mais sofisticado e complexo do que qualquer outro sistema, o ser humano responde a estímulos conhecidos de modo diversificado em função do contexto no qual está inserido e que é influenciado por seu estado emocional e mental, além das experiências previamente adquiridas que podem afetar o poder de decisão.

A ideia original deste trabalho surgiu de experiência pessoal na carreira de piloto ao ser promovido para uma aeronave diferente da qual o autor estava habituado a operar e que se repetiu com outros colegas aviadores na mesma condição.

Operou por (14) anos as aeronaves da família Airbus como comandante de linha aérea e também como instrutor de voo, atuando principalmente na operação "Ponte Aérea” onde a aeronave Airbus 319 tem lugar de destaque.

Após este período de tempo, o autor foi promovido para a aviação internacional dentro da empresa, passando a operar agora as aeronaves Boeing 767-300ER.

Além do retrocesso tecnológico, a mudança de filosofia foi o fator de maior impacto durante as instruções em simulador de voo. Acostumado a identificar parâmetros de motor com determinada configuração na família Airbus, o simples reposicionamento destes parâmetros na linha Boeing foi motivo de estresse adicional.

Um piloto treinado reconhece uma falha de motor sem a necessidade de consultar os instrumentos do motor em um primeiro momento, pois a doutrina de voo preconiza manter a aeronave sob controle o tempo todo. Uma vez que a aeronave está controlada, é preciso consultar os diversos instrumentos para confirmar qual foi a falha e tomar as ações necessárias para reconfigurar os sistemas da aeronave.

É neste ponto que a falta de padrão na amostragem de parâmetros influencia a tomada de decisão por parte das tripulações. Quando o piloto está bem familiarizado com a aeronave não há maiores complicações. O problema é acentuado com a filosofia adotada pelo fabricante.

2. EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA

No dia 17 de maio de 1920, transportando dois repórteres e uma carga composta por jornais, uma aeronave AIRCO DH-16 com prefixo G-EALU batizada por "*Arras"* (Fig. 4) e comandada pelo piloto Henry “Jerry” Shaw decolou de Londres para Amsterdam. Nascia aí a KLM (*Koninklijke Luchtvaart Maatschappij, ou Companhia Aérea Real Holandesa),* a companhia aérea mais antiga da história da aviação e ainda em operação até os dias de hoje. Ao longo dos anos a KLM sempre esteve à frente de sua época, incorporando em sua frota aeronaves modernas para atender a demanda de cargas e passageiros.

Figura 4 - Aeronave Airco DH.16

Fonte: This Day in Aviation (2018)

Hoje, há quase um século deste voo histórico a empresa opera, dentre outras aeronaves, o moderno Boeing 787-9 (Fig. 5) e o Airbus A350 XWB, considerados o “*state of the art*” da aviação contemporânea.

No rastro da KLM, diversas outras empresas foram criadas em todos os continentes e a aeronave transformou-se em importante meio de transporte. Assim como ocorre na KLM, diversos tipos de aeronave são incorporados às frotas das empresas de transporte e este fato demanda complexa logística não só para a manutenção como também para treinamento e operação.

Figura 5 - Boeing 787-9 da KLM

Fonte: Pinterest (2018)

Antes de prosseguir, é necessário explicar de modo simplificado o comportamento de um piloto exposto a uma situação inesperada, para entender quais serão suas reações psicomotoras e sensoriais a determinados estímulos.

A falha analisada será a perda de potência em um motor. Quando ocorre uma falha em um sistema, um sinal sonoro contínuo é emitido, uma luz se acende e uma tela de computador é preenchida com procedimentos a serem executados. Este é o cenário na cabine de comando que deverá ser analisado e corrigido.

A reação psicomotora do piloto para manter a aeronave estabilizada não depende da regra de voo aplicada (VFR ou IFR) e sim da condição do voo no momento da falha. Se o piloto estiver em condições visuais, mesmo que voando por instrumentos, será mais fácil o reconhecimento do lado da guinada uma vez que a visão externa mostrará claramente para qual lado em relação ao horizonte natural a aeronave está tendendo. No caso de as condições reais favorecerem o voo sem visibilidade externa adequada, o horizonte artificial mostrará esta tendência.

Para manter o controle direcional o piloto fará uso do leme de direção pressionando com o pé o pedal que contraria o movimento de guinada. Desta forma, se o motor esquerdo falhar, o piloto pressionará o pedal direito com a força necessária para recuperar o controle direcional. Se a falha for no motor direito, o pedal a ser pressionado será o esquerdo.

Esta ação é imediata e não necessita das informações mostradas nos instrumentos do motor. Pode-se dizer que é uma ação intuitiva comandada pelos órgãos sensoriais.

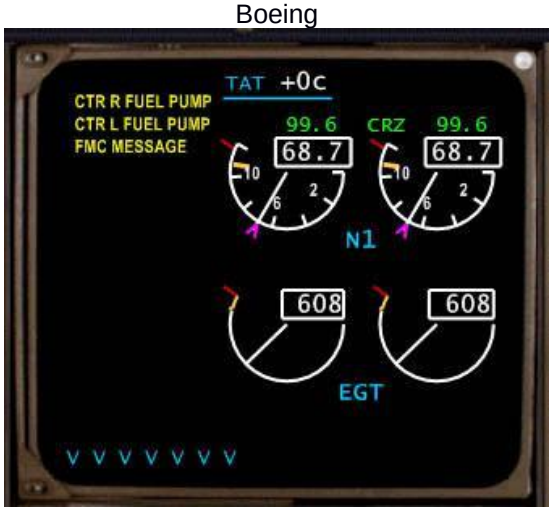
Na aviação temos um jargão para facilitar o reconhecimento do motor em falha antes mesmo de confirmar esta situação através dos instrumentos, que diz: *“pé duro, motor bom”* ou seja, se para corrigir a guinada foi preciso usar o pé direito, então este é o motor que está normal. A falha neste caso foi no motor esquerdo.

Tomando como base a explicação dada no capítulo “Justificativa" para as figuras 1, 2 e 3, vamos analisar a indicação dos instrumentos do motor em uma aeronave fabricada pela Airbus e outra fabricada pela Boeing como segue:

Figura 6 - Motor com potência em marcha lenta no E/WD da Airbus

Fonte: Manual FCOM Airbus (2018)

Figura 7 – Motor com potência normal no E/I da Boeing



Fonte: Manual FCOM Boeing (2018)

Figura 8 - Motor com potência normal no E/WD da Airbus

Fonte: Manual FCOM Airbus (2018)

Figura 9 - Motor esquerdo em marcha lenta e direito com falha no E/I da Boeing

Fonte: Manual FCOM Boeing (2018)

As figuras 6 e 8 apresentam telas customizadas onde estão apresentados os parâmetros primários dos motores esquerdo e direito na família Airbus. A figura 6 mostra as indicações dos motores em marcha lenta (Idle) e a figura 8 mostra os motores em potência de decolagem.

As figuras 7 e 9 apresentam telas customizadas onde estão apresentados os parâmetros primários dos motores esquerdo e direito na família Boeing. A figura 7 mostra as indicações dos motores em potência de decolagem e a figura 9 mostra o motor esquerdo em marcha lenta (Idle) e o motor direito desligado.

Ao analisar as figuras fica claro que as indicações em todos os instrumentos crescem no sentido horário dos ponteiros, portanto de modo convencional como no caso dos relógios. Um observador criterioso notará que na família Airbus os ponteiros estão posicionados na porção superior dos indicadores, enquanto que na família Boeing os ponteiros estão posicionados na porção inferior dos mostradores — um detalhe aparentemente irrelevante, mas de grande impacto em situações de estresse e grande carga de trabalho, em tripulações em fase de transição de equipamentos e/ou filosofia operacional e com pouca experiência na aeronave.

Nestas figuras em especial, observaremos apenas os parâmetros de N1 que indica a rotação de um eixo de comando em um dos componentes do motor em termos de percentagem. Quanto maiores os valores, maior será a potência fornecida pelo motor.

Comparando simultaneamente as figuras 6 e 7 e posteriormente as figuras 8 e 9, poderemos ter uma ideia dos erros de interpretação durante uma falha.

Em uma falha onde a perda de potência no motor é significativa, o piloto sente a guinada da aeronave e pela observação do desvio no horizonte artificial comanda o leme de direção com o pé e já sabe antecipadamente qual o motor que falhou, efetuando a compensação das superfícies de controle da aeronave para mantê-la estabilizada.

Apesar da performance degradada, a aeronave continua em voo. A perda do motor gera falhas adicionais que podem comprometer a eficácia dos comandos de voo. Agora o piloto começa a preocupar-se com o cenário externo e precisa tomar ações rápidas para reconfigurar a aeronave e planejar as próximas etapas para manter a segurança.

Vamos supor que a falha seja no motor direito. Pelas ações tomadas, o piloto já sabe qual o motor que falhou; tendo pouca experiência na aeronave e seu mapa

mental trabalhando sob estresse, pode acontecer que ele vá buscar informações em experiências anteriores treinadas em simuladores para resolver a questão. Ao consultar os instrumentos do motor, seu cérebro acostumado com a aeronave anteriormente voada espera identificar as indicações de N1 do motor em falha conforme a encontrada na figura 6, ou seja, o ponteiro do motor direito deslocado totalmente para a esquerda do mostrador. Entretanto, ele visualiza a imagem mostrada pela figura 9 com o ponteiro de N1 do motor direito totalmente deslocado para a direita, que se aproxima muito da indicação apresentada na figura 8 onde o motor está com potência aplicada.

Dependendo da severidade dos danos, como fogo no motor, a lista de verificações comandará na sequência das ações o desligamento do motor em falha. Esta é uma condição crítica pois as ações do piloto feitas com o corpo para estabilizar a aeronave contrapõem-se às informações visuais apresentadas pelos instrumentos do motor e, se forem mal interpretadas, poderão induzir o piloto a desligar o motor errado, transformando um simples incidente em um acidente de graves proporções.

2.1. Tomada de Decisão

Não há como falar em de tomada de decisão sem antes verificar como as informações que são recebidas agem dentro deste processo. Para assegurar como estas informações são processadas, temos que estudar o processo cognitivo.

Santos e Souza (2010, p. 260) destacam:

> A cognição humana decorre da capacidade desenvolvida por homens e mulheres para criação ou composição de representações mentais e processos imaginativos, partindo da memória de sensações, sentimentos e ideias. Essas criações ou composições são provocadas por perturbações internas que, em parte, decorrem diretamente dos estímulos recebidos do ambiente no qual os seres humanos são inseridos.

A evolução da espécie humana promoveu uma verdadeira alteração na atividade cerebral, que passa a desenvolver tarefas mentais mais complexas, como pensamentos mais elaborados e desenvolvidos. É no ato de pensar que o processo de tomada de decisão se configura, uma vez que o indivíduo busca por relações e combinações de ideias, conceitos e fatos. Neste aspecto, verifica-se que o processo de tomada de decisão não é simples, uma vez que a grande quantidade de

informações exige um tratamento individual, buscando transformá-las em conhecimento e, desta forma, utilizar este conhecimento no processo pretendido. Trata-se de um processo complexo, pois a grande quantidade de informações, quando não organizadas e tratadas, pode prejudicar o processo de tomada de decisão.

A percepção assume importante papel, pois além de ser um conjunto de sensações captadas pelos sentidos e organizadas na mente, ainda se relaciona com a forma pela qual o indivíduo compreende as informações disponíveis no meio. Desta forma, a tomada de decisão estará de acordo com as informações recebidas ao longo do processo de aprendizagem e com visão de mundo do indivíduo e do seu conhecimento prévio sobre a solução demandada.

Enfim, o processo de tomada de decisão pode ser definido como a forma que os indivíduos agem quando uma ação decisória é demandada, na qual se deve levar em consideração a análise e o julgamento das informações disponíveis, além de sua associação com o ambiente em que esta está inserida. A tomada de decisão implica no comprometimento em um processo onde a racionalidade, o tratamento da informação, a percepção e a sensação são exigidos ao máximo, buscando reduzir riscos existentes e êxito nas ações.

O processo de tomada de decisão pressupõe uma atividade essencialmente individual no tratamento das informações recebidas e na resolução do problema. Vários fatores determinam a escolha, dentre esses a sensação e a percepção, embora muitos dos processamentos individuais se tornem unanimidade com o passar do tempo.

Para Lévy (2004), as informações se encontram estruturadas em redes associativas e esquemas na memória de longo prazo. Assim, os modelos de realidade ou a visão de mundo, que são diferentes e facilmente identificados em cada ser humano, estão registrados nesta memória. O autor ainda destaca que, “dada à arquitetura do sistema cognitivo humano, é muito mais rápido e econômico recorrer aos esquemas já prontos de nossa memória de longo prazo” (LÉVY, 2004, p. 153).

A tomada de decisão é determinada em fração de segundos e, para tal, a faculdade de percepção, segundo Lévy (2004), ou reconhecimento de formas se dá com grande rapidez, no qual o sistema cognitivo se estabiliza e é possível o reconhecimento imediato de uma situação ou objeto e encontrar a solução.

Maturana (2002, p. 71), quando fala sobre percepção, diz que esta consiste em “uma regularidade de conduta exibida pelo organismo em seu operar em

correspondência estrutural com o meio, e que o observador aponta como se distinguisse um objeto, ao associá-lo à circunstância ambiental que a desencadeou".

Para Varela e Barbosa (2007, p. 118), o processo de tomada de decisão e busca de solução está relacionado com a ação de pensar, no qual dizem que "se está pensando quando se realizam múltiplos processos que tendem a relacionar ou combinar ideias, conceitos, sentimentos, situações, fatos etc. com vistas a uma tomada de decisão ou busca de uma solução".

Pode-se dizer que uma informação armazenada estará ligada a uma experiência consciente que representará um aspecto desta informação. Assim, uma informação absorvida e tratada representará um conhecimento que será utilizado como base para outra ação. A tomada de decisão implica no total comprometimento no processo de elaboração e execução de uma ação, exigindo a máxima racionalidade e visando reduzir os riscos inerentes a tomada de decisão.

De acordo com Choo (2003), existem duas opções em processos de tomada de decisão: a primeira, em que o decisório opta por uma solução satisfatória, e a segunda, onde ele opta pela melhor solução, sendo que a primeira alternativa pode ser caracterizada por atender apenas aos critérios mínimos e necessários à satisfação (SILVA, 2009). Já a segunda opção, em termos de nível de satisfação, se mostra muito superior à primeira.

Entretanto, elas acabam sendo caracterizadas por questões de simplificação cognitiva, que generalizam e tratam de forma sintética muitas crenças e expectativas, na intenção de reduzir os níveis de incerteza e elevar as probabilidades de êxito. Choo (2003) fala desse problema, pois a redução do esforço mental pode levar a problemas de análise e julgamento.

"O sistema de automação [...] complexo leva o piloto a, inconscientemente, criar um modelo mental na tentativa de compreender a maneira como se processa a operação da aeronave e, assim, facilitar sua interação com ela." (BRASIL. RF A-67/CENIPA/2009, p. 84).

2.1.1. Ergonomia Cognitiva

Decisões são ações baseadas em propósitos, que podem envolver ações orientadas a objetivos. Isto requer que o sistema nervoso trabalhe em harmonia na seleção e ponderação das informações e estímulos aos quais o organismo é exposto e aos quais deve reagir para avaliar o cenário e decidir.

Nas tomadas de decisões, sejam elas simples ou complexas, o sistema nervoso avalia as variáveis que se colocam dentre as alternativas, a fim de solucionar um problema. Entretanto, que processos o sistema nervoso realiza para chegar a uma decisão, principalmente quando exposto a fatores estressantes? Quais os mecanismos neurais necessários para a concretização desses processos mentais?

Campos, Santos e Xavier (1997) defendem que regularidades ambientais presentes ao longo da evolução das espécies possibilitaram a seleção de sistemas adaptados e otimizados para estes ambientes e que, portanto, exibiam respostas comportamentais antecipatórias a eventos regulares.

A Dra. Corrêa (2011), em sua dissertação para mestrado pela USP, afirma que informações do ambiente devem ser processadas de forma a serem traduzidas em códigos reconhecíveis pelo sistema nervoso, possibilitando usar a informação processada para a elaboração de planos de ação direcionados ao meio. Este processo é influenciado por fatores emocionais e de atenção, diferenciando as escolhas e imprimindo-lhes individualidade.

Percepção, emoção, atenção e memória, entre outras funções cognitivas, interferem neste processo, sendo dependentes da experiência prévia do indivíduo que decide, e da sua capacidade de identificar com precisão os principais fatores da situação apresentada.

Simon (1957), vencedor do prêmio Nobel de economia, sugeriu que a tomada de decisões em humanos não seria necessariamente irracional, mas a expressão de uma racionalidade limitada. Sujeitos consideram as alternativas uma a uma e selecionam aquela que pareça satisfatória ou boa o suficiente para resolver a questão.

Posteriormente, Tversky (1972a; 1972b apud Stemberg, 2000), baseando-se nesta noção de racionalidade limitada, observou que, na presença de muitas alternativas, o indivíduo focaliza num aspecto (atributo) das alternativas e cria um

critério mínimo. Ele ressaltou que, não raro, adotam-se “atalhos mentais” e hipóteses que limitam e às vezes distorcem a capacidade para tomar decisões racionais.

A psicologia cognitiva vem desenvolvendo modelos de processamento de informações sobre como os seres humanos decidem (STEMBERG, 2000). Segundo estes estudos, não há escolhas perfeitas e a decisão final é o resultado da computação de dados feita pelo sistema nervoso de cada indivíduo.

2.1.2. Ergonomia Cognitiva

A tomada de decisão compreende o aprendizado entre estímulos ambientais e as ações tomadas pelo sujeito que, sendo capaz de fazer interfaces entre eventos externos e internos, aprende a prever as consequências de seus comportamentos. Segundo Helene e Xavier (2007, p. 118):

> Estímulos ambientais e experiências geram atividades eletrofisiológicas em conjuntos de neurônios [...] essa atividade pode levar à formação de novas sinapses ou a alteração de sinapses já existentes, o que permite estabelecer circuitos neurais envolvendo populações de neurônios cujas atividades correspondem àquela gerada durante a experiência original [...] a recordação da informação representada nesses circuitos se dá pela ativação eletrofisiológica de sua população de neurônios; isso pode ocorrer tanto em decorrência de estímulos que de alguma forma estão relacionados à experiência original, como por um ato de vontade para recordar aquela experiência. Uma vez ativos, esses circuitos podem estabelecer novas conexões com outros circuitos ativos, ou contar com a adição de novos elementos, em decorrência de novas experiências. Quanto mais frequentes as exposições a estímulos relevantes, mais fortes tornam-se as conexões. Como consequência, a informação tende a ser arquivada de maneira relacional.

Afirmam ainda estes autores que, a memória pode ser vista como base fundadora dos processos de formação, não somente de comportamentos estereotipados, mas também de um vasto conjunto de comportamentos adaptativos, dentre eles, podemos citar a decisão.

Cohen (1984), Squire (1992) e Squire e Zola-Morgan (1991) (apud Campos, Santos e Xavier, 1997) propuseram uma distinção entre memória declarativa (consciente ou explícita) e memória não-declarativa (implícita), ambas consideradas memórias de longa duração. A declarativa refere-se à retenção de experiências sobre fatos e eventos do passado, com acesso consciente ao conteúdo da informação; essa memória é flexível e prontamente aplicável a novos contextos. A não-declarativa é

adquirida gradualmente ao longo de várias experiências, fortemente ligada à situação de aquisição original; seria pouco flexível e pouco acessível a outros sistemas.

Ainda segundo a Dra. Corrêa (2011), no que se refere à memória, é possível gerar comportamentos intencionais, ou seja, um indivíduo pode intencionalmente produzir ações que levam a resultados desejados porque as consequências associadas a determinadas ações podem ser previstas com base em registros sobre regularidades passadas. A própria consciência sobre a escolha parece depender de como informações são arquivadas na memória e como o conteúdo destes arquivos é ativado (Campos; Santos; Xavier, 1997) (Helene; Xavier, 2007).

2.1.3. Sensação e Percepção

A função pedagógica da percepção pode ser definida como um conjunto de mecanismos de codificação e coordenação dos diferentes tipos de sensações elementares, buscando atribuir um significado. A percepção integra várias sensações relacionadas aos sentidos do ser humano, sendo ligados ao *percept*, que é uma espécie de mapa mental que permite ao indivíduo reconhecer determinado objeto ou situação, de acordo com sua percepção.

Sensação e percepção estão intimamente relacionadas com a transformação de informação em conhecimento, e consequentemente à utilização deste conhecimento de forma produtiva pelos indivíduos. Para chegar ao nível de informações relevantes para uma determinada utilização, se torna necessário considerar a sensação e percepção do indivíduo que gerou os dados e como eles foram analisados. Dados gerados com falha de sensação ou por percepção fragmentada e/ou incompleta, podem levar a informações equivocadas que prejudicarão a construção do conhecimento. Desta forma, a sensação e percepção do indivíduo devem ser abordadas frente ao ambiente mutável e uma mente influenciada por um domínio.

Isto posto, é possível dizer que a percepção é um conjunto de sensações organizadas pela mente, que são captadas do meio através dos sentidos. Entretanto, esta percepção está relacionada com a forma de compreensão do ambiente pelo indivíduo, pois as sensações adquirem determinada forma na mente humana. Utilizando do diálogo sobre a alegoria da caverna (PLATÃO, A República, 514a-517c)

podemos dizer que a imagem que é projetada na *caverna da mente* depende de uma série de fatores com que o indivíduo está ou não familiarizado. Dependendo de como o indivíduo tem a visão do mundo que o cerca, seus conhecimentos ou sobre o que procura, as imagens se moldarão às expectativas intrínsecas de sua mente. Neste sentido, Barreto (2006, p. 13) destaca que:

> O conhecimento, destino da informação, é organizado em estruturas mentais por meio das quais um sujeito assimila a "coisa" informação. Conhecer é um ato de interpretação individual, uma apropriação da informação pelas estruturas mentais de cada sujeito. Estruturas mentais não são pré-formuladas, no sentido de serem programadas nos genes. As estruturas formais são construídas pelo sujeito sensível, pelo modo que percebe o meio. A geração de conhecimento é uma reconstrução de estruturas mentais que o indivíduo realiza através de suas competências cognitivas, ou seja, é uma modificação em seu estoque mental do saber acumulado, resultante de uma interação com uma forma de informação. Essa reconstrução pode alterar o estado de conhecimento do indivíduo, ou porque aumenta seu estoque de saber acumulado, ou porque sedimenta saber já estocado, ou ainda porque reformula saber anteriormente estocado.

Cada indivíduo tem uma forma diferente de sentir o ambiente, mesmo tendo os mesmos sentidos inerentes ao corpo humano. Isto pode levar, na maioria das vezes, a uma percepção diferente das partes ou mesmo do todo.

A percepção é estudada a um nível mais sensorial do que cognitivo. O foco é traduzir o conhecimento do objeto tal como ele é percebido pelo sujeito. Inicialmente, estudos, principalmente na neurociência, apontam que a percepção depende da atividade simultânea e cooperativa dos neurônios presentes no córtex cerebral. Tais estudos apontam a existência de muitas dúvidas relacionadas aos processos cognitivos e à percepção humana.

A ciência explica alguns fenômenos por meio das análises de estruturas mais simples, mas existem dúvidas quando o assunto é a complexidade humana. Desta forma, a ciência cognitiva visa escolher os níveis de descrição comportamental, as interpretações dos sinais e observações, as inferências sobre os processos mentais e reconstruir processos para a realização de tarefas. Segundo Morin (1999, p. 97), o cérebro é constituído por dois hemisférios, direito e esquerdo, que se complementam sendo "uma máquina totalmente físico-química nas suas interações, totalmente biológica na sua organização, totalmente humana nas suas atividades pensantes e conscientes."

2.1.4. Neuroplasticidade

Neuroplasticidade, também conhecida como plasticidade neural, refere-se à capacidade do sistema nervoso de mudar, adaptar-se e moldar-se a nível estrutural e funcional ao longo do desenvolvimento neural e quando sujeito a novas experiências.[1]

Segundo a Dra. Escabora (2018), psicóloga pela LATAM, em entrevista, esta característica única faz com que os circuitos neurais sejam maleáveis e está na base da formação de memórias e da aprendizagem, bem como na adaptação à lesão e eventos traumáticos ao longo da vida adulta. Vale dizer que entregar seu cérebro a atividades repetitivas, pode acarretar na adaptação do seu sistema nervoso aquela nova situação que lhe foi imposta. Esta condição pode induzir o cérebro a buscar soluções para a tomada de decisão em um mapa mental pré-definido. Esta adaptação de comportamento realizada pelo sistema nervoso é chamada de Neuroplasticidade.

Ainda segundo a Dra. Angélica Escabora, a Neuroplasticidade está intimamente relacionada com a reestruturação cerebral promovida por mudanças coordenadas nas estruturas sinápticas e proteínas associadas que levam ao remapeamento dos circuitos neurais e, por conseguinte, ao processamento de informação e armazenamento de memória. Além disto, a neuroplasticidade e neuromodelação têm um papel importante na alteração do estado de excitabilidade do cérebro e na regulação de estados comportamentais. Todo este processo é de caráter físico-químico e fica comprometido quando exposto a fatores estressantes.

2.1.5. Neuroplasticidade e memória/aprendizagem

O ambiente que nos rodeia está normalmente ligado à neuroplasticidade, porque nos apresenta a cada dia novas experiências, tornando fundamental a adaptação às respostas.

> A capacidade do cérebro de sofrer alterações sinápticas faz com que os circuitos neurais sejam capazes de se transformarem e é esta

[1] Purves, D. et al. Neuroscience. *Sinaeur Associates, Inc*, 3rd ed.4, 7 (2004).

> característica única que está na base da aprendizagem e da memória. Este é um processo constante e contínuo, visto que está intimamente ligado a uma adaptação ao ambiente circundante e às novas experiências que vão surgindo.
>
> O sistema nervoso central produz o nosso estado consciente mediante um fluxo de informações e armazenamento de memórias ao longo da vida, a partir de diferentes estímulos externos. Ao mesmo tempo, controla a concentração de nossos fluídos internos e o trabalho dos músculos e glândulas. A transmissão sináptica é o processo básico de toda esta atividade. Bilhões de neurônios se comunicam entre si via milhares de sinapses, e cada sinapse, por sua vez, é uma estrutura regulada independentemente. A partir desta complexidade, em lugar de caos, surge uma singular ordem na informação processada pelo cérebro. A secreção de neurotransmissores na zona ativa da sinapse é o evento primário da comunicação interneuronal. (LOPES, et al., departamento de patologia FMRP/USP)

É a interação complexa entre as variadas regiões cerebrais que possibilita a formação de novas memórias e o seu armazenamento, assim como o recordar. Apesar das estruturas cerebrais serem altamente estáveis, elas estão interligadas em redes neurais altamente dinâmicas e plásticas que se adaptam.

Este processo contínuo de flexibilidade cerebral está constantemente sujeito à influência de múltiplos fatores intrínsecos e extrínsecos e proporciona a remodelação/readaptação/neuro-adaptação dos circuitos neurais em resposta ao ambiente.

2.1.6. Influência do estresse e depressão na plasticidade neuronal

A depressão é uma doença do foro neuropsicológico que se caracteriza por afetar o humor, cognição e ansiedade, influenciando a neuroplasticidade.[2]

[2] Wainwright,S. & Galea, L. The Neural Plasticity Theory of Depression: Assessing the Roles of Adult Neurogenesis and PSA- NCAM within the Hippocampus. *Neural Plasticity*. Hindawi Publishing Corporation. 14 pages (2013).

São diversificados os fatores que originam a depressão, desde fatores genéticos a fatores ambientais. O estresse é a principal causa de estados depressivos. Estresse crônico pode levar à disrupção no balanço das funções e características dos circuitos neuronais, afetando o metabolismo, e portanto, a resposta a determinados estímulos (PINHEIRO, 2018).

O estresse induz respostas endócrinas e comportamentais. Esta atuação interfere com a dinâmica e a conectividade dos circuitos atingidos, designadamente no hipocampo, núcleos do tronco cerebral, hipotálamo, amígdala, estriado dorsal e ventral, córtex médio-frontal e orbito-frontal e provoca alterações na neuroplasticidade desses mesmos circuitos.[3] Isto tem repercussões ao nível da plasticidade molecular e celular que, ao nível dos circuitos, caracteriza-se por atrofia de certas conexões e reorganização funcional de circuitos específicos, menor interconectividade geral e diminuição da capacidade plástica cerebral.[4]

Como seria de esperar, ocorrem alterações funcionais e estruturais.[5] Estudos provam que a dinâmica dos circuitos é totalmente alterada, provocando alterações significativas na resposta e dinâmica neuronal do sistema nervoso central, induzindo, inclusive, a estados de depressão.[6]

2.1.7. Interação homem X máquina/tecnologia

Apesar da participação humana como fator causal em acidentes de trabalho ser um alvo importante no estudo da ergonomia cognitiva, pode-se sugerir que o erro humano não é uma conclusão, mas sim o ponto inicial de investigação (CHRISTOFFERSEN et al, 1999).

Considerando que a causa da maior parte dos acidentes aéreos é atribuída aos pilotos sob o conceito de “erro humano”, e com a inegável evolução tecnológica, atualmente a investigação de um acidente leva em consideração a interface homem-

[3] Sousa, N. & Almeida, O. Disconnection and reconnection: the morphological basis of (mal)adaptation to stress. *Trends in Neu- rosciences*. 35(12): 742-51. (2012).

[4] Yu, H. & Chen, Z. The role of BDNF in depression on the basis of its location in the neural circuitry. *Acta Pharmacologica Sinica*. 32: 3–11 (2011).

[5] Sibille, E. Molecular aging of the brain, neuroplasticity, and vulnerability to depression and other brain-related disorders. *Dia- logues Clin Neurosci*. 15:53-65. (2013).

[6] Deisseroth, K. Circuit dynamics of adaptive and maladaptive behaviour. *Nature*. 505:309-17 (2014).

máquina na sua análise, tendo neste enfoque os fatores ergonômicos-cognitivos destaque especial.

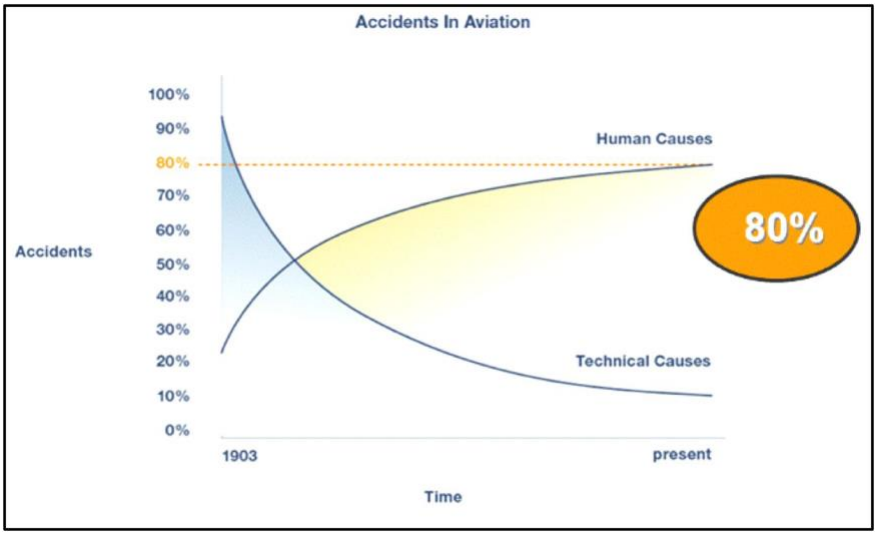
Muitas entidades encarregadas da prevenção de acidentes e incidentes como o NTSB (1994 e 2001), a FAA (Federal Aviation Administration) (1995, 1996), e o CENIPA (2004), demonstram em suas análises e nos registros oficiais de acidentes, que desde os primórdios da aviação comercial, a preocupação com os aspectos fisiológicos e ergonômicos no projeto das aeronaves nunca foi considerado primordial (THOMAS PhD, dissertação mestrado UFPE, 2006).

Nas últimas décadas, o aspecto ergonômico e a relação homem-máquina não representavam o foco da investigação, e embora a identificação de um culpado geralmente satisfaça a opinião pública, imputar um acidente de aviação ao erro do piloto é uma abordagem superficial, injustificável e inócua para a prevenção de acidentes (BRANCO, 1999).

Com base neste cenário, os fabricantes de aeronaves investem cada vez mais em tecnologia embarcada como um meio de reduzir o erro do piloto, tornando as aeronaves cada vez mais complexas e autônomas. Paradoxalmente, com o aumento da automação e sistemas de controle cada vez mais confiáveis, cresceu substancialmente os erros atribuídos ao piloto, uma vez que o equipamento automatizado supostamente não falha (THOMAS PhD, dissertação mestrado UFPE, 2006).

Com esta mentalidade de “máquina segura”, ao excluir o fator humano e a interação homem-máquina do projeto das cabines de comando, os fabricantes podem inadvertidamente estar embutindo uma condição operacional onde o acidente é latente e apenas espera para acontecer quando todos os fatores coincidirem.

Figura 10 - O aumento da automação evidenciando o aumento do fator humano nos acidentes aeronáuticos



Fonte: DCV Aviation (2018)

Estudos foram realizados imediatamente após a Segunda Guerra sobre a interação piloto-aeronave. Dentre eles, destaca-se um estudo conduzido por Fitts e Jones (apud Chapanis, 1972), descrevendo situações onde acidentes se tornavam potencialmente iminentes dentro do uso incorreto dos manetes de aceleração do motor ou o uso indevido de outros dispositivos de controle por parte do piloto. Estas falhas não imputavam imperícia, mas sim a inadequação do sistema homem-máquina em relação à tecnologia utilizada (SANTOS, 2001).

A maior parte destes erros se referia à posição, dimensão e cores dos manetes de controle de potência dos motores, mistura (ar-gasolina) do combustível e controle do passo das hélices. A simples variação destes itens de controle apresentada em algumas das principais aeronaves da época conduzia os pilotos a verdadeiras armadilhas, expondo-os a acidentes potenciais devido à falta de padronização entre os fabricantes.

Estes comandos são utilizados em momentos críticos como pousos, decolagens e fogo nos motores, fazendo com que os pilotos muitas vezes, intuitivamente, acionassem os comandos similares, pelo hábito do uso em outra aeronave, que podiam resultar em erros e subsequentes acidentes (THOMAS PhD, dissertação mestrado UFPE, 2006).

Tabela 1 - Posição dos manetes de controle em algumas aeronaves

Aeronave	Esquerda		Centro		Direita	
B-26	Potência	**T**	Hélice	**P**	Mistura	**M**
C-82	Mistura	**M**	Potência	**T**	Hélice	**P**
B-25	Potência	**T**	Hélice	**P**	Mistura	**M**
DC-3	Hélice	**P**	Potência	**T**	Mistura	**M**

Fonte: Chapanis (1972)

Legenda: T = Trottle (potência) | M = Mixture (mistura ar-gasolina) | P = Proppeler (hélice)

SANTOS (2001) registra que a razão desta situação era a falta de um órgão regulador ou de uma associação de empresas ou ainda de um centro de estudos aeronáuticos. No auge do desenvolvimento da aviação nos anos 20 e 30 na Europa e Estados Unidos da América, cada projetista tinha suas soluções próprias de acordo com suas convicções, conhecimentos e experiências profissionais.

Desprezar a preocupação com a interface homem-máquina hoje em dia é impensável, mas naquele tempo, reforça Santos (2001), a preocupação se refletia na autonomia dos aviões, na carga útil transportada, na velocidade e no desenvolvimento de componentes mecânicos de alta performance, na durabilidade e na melhoria aerodinâmica da aeronave, deixando de fora o fator humano desta equação.

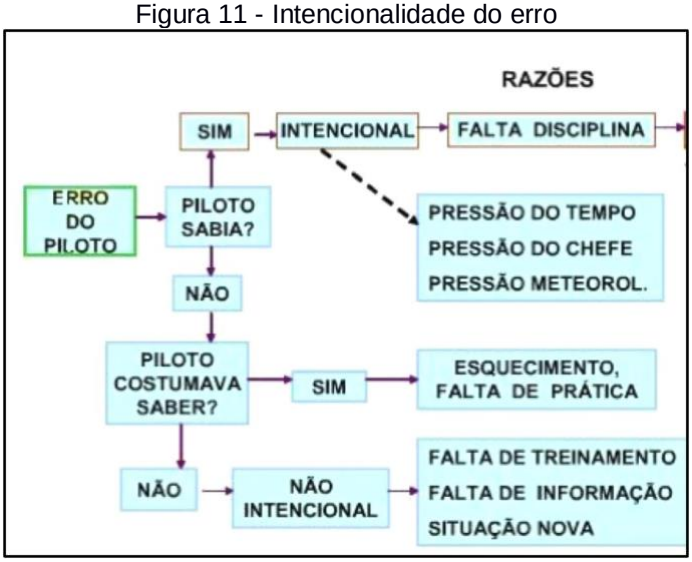
Segundo Reason (1999), são considerados como erros todas as situações nas quais uma sequência planejada de atividades mentais ou físicas não consegue atingir as saídas pretendidas. Invariavelmente, a avaliação do erro tem sido dimensionada na conduta do piloto e, em menor grau, no sistema de trabalho através do qual a conduta de errar é realizada.

Tudo leva a crer que muitas vezes se adotou a tecnologia pela razão da própria tecnologia, ou seja, manter as aeronaves e máquinas, de modo geral, no estado de arte. Mas a adoção destas novas tecnologias deveria ter um planejamento fundamentado igualmente nas alterações ergonômicas que acontecem com a evolução tecnológica e igualmente fundamentado nos novos modelos mentais consequentes destas modificações, por vezes, profundas (THOMAS PhD, dissertação mestrado UFPE, 2006).

A introdução de novas tecnologias não altera de imediato os processos mentais fixados ao longo de exaustivos treinamentos na carreira de piloto de aeronave. É preciso um grande esforço para o ser humano adaptar-se a novas tecnologias, no que se refere a alteração de seu modelo mental, para manter-se dentro das novas e crescentes exigências operacionais, transformando o elemento humano em um elo vulnerável e, portanto, com maior probabilidade de cometer erros não intencionais por não compreender com exatidão os desdobramentos tecnológicos em toda a sua abrangência.

As falhas na automação em geral já estão embutidas nos sistemas durante a fase de projeto e são concluídas durante um acidente onde a culpa recairá nas mãos do piloto.

Figura 11 - Intencionalidade do erro



Fonte: Potatle Aviation (2012)

Não é tarefa simples na aviação, corrigir falhas como a legibilidade e compreensão de instrumentos devido à falta de padronização de amostragens, treinamento inadequado e recebimento de informações erradas ou conflitantes.

Afirma-se que erros são, possivelmente, o resultado da variabilidade humana em um ambiente hostil e que esta variabilidade é um elemento inerente à adaptação humana. Se um sistema opera menos satisfatoriamente que o desejável ou abaixo dos procedimentos usuais, seja por ato humano, ou por deficiência de projeto, a causa muito provavelmente será atribuída ao fator humano (MARTINS, 2002).

Como registram Moraes et al (2002), as mudanças tecnológicas colocam o homem em uma situação de extrema pressão ambiental e acentuam-se as

incompatibilidades entre o homem e a máquina. Ao eliminarmos os fatores humanos, resta a falha de sistemas, e quando da busca por explicações, a solução mais fácil é imputar esta culpa ao piloto.

Segundo Cardosi (1993), levantar as exigências fisiológicas e ergonômicas que cercam o piloto de avião no seu cockpit pode significar uma ação preventiva de acidentes muito mais eficaz que simplesmente atribuir culpabilidade.

Problemas comuns no passado, como controles de difícil acesso, disposição de instrumentos e controles sem padrão nas diferentes aeronaves e treinamento inadequado atualmente deixaram de existir. Mas o ônus do crescimento da automação é o desconhecimento dos pilotos de algumas atitudes e ações dos controles automatizados em determinados momentos e situações não previstas (SANTOS, 2001).

2.1.8. O piloto e a cognição, análise geral

Em linhas gerais, a cognição humana refere-se aos processos mentais envolvidos com o pensamento e sua utilização. É uma área de interesse multidisciplinar que abrange a psicologia cognitiva, a psicobiologia, a filosofia, a antropologia, a linguística e a inteligência artificial, como um meio de melhor compreender como as pessoas percebem, aprendem, recordam e ponderam a informação, ou seja, aqueles que se dedicam ao cognitivismo acreditam que o estudo da maneira como as pessoas pensam levará a um amplo entendimento sobre grande parte do comportamento humano (STEMBERG, 2000).

A cognição não se apresenta como uma entidade isolada, sendo constituída por uma série de outros componentes, tais como: as imagens mentais, a atenção, a consciência, a percepção, a memória, a linguagem, a resolução de problemas, a criatividade, a tomada de decisões, o raciocínio, as mudanças cognitivas durante o desenvolvimento ao longo da vida, a inteligência humana, a inteligência artificial e vários outros aspectos do pensamento humano (STEMBERG, 2000).

Segundo Green et al. (1993), a tarefa de voar uma aeronave envolve observação e reação a eventos que tem lugar dentro da cabine de comando de voo e no ambiente externo à aeronave. É requerido do piloto o uso de informações que ele percebe para tomar decisões e ações que garantam a segurança da aeronave o

tempo todo. Neste cenário, a plena utilização dos processos cognitivos torna-se de fundamental relevância para que um piloto possa realizar com êxito a tarefa de comandar uma aeronave.

Com a automatização das cabines de comando, que além de auxiliar o piloto na tarefa de controlar a aeronave fornece uma quantidade de informações que devem ser processadas em um espaço de tempo reduzido, em função da velocidade com que as mudanças ocorrem, torna-se extremamente necessária uma abordagem que não contemple unicamente o ser humano na sua individualidade, mas, ao contrário, observe a sua cognição em relação com todos estes artefatos e demais atores que compartilham este espaço de trabalho (THOMAS PhD, dissertação mestrado UFPE, 2006).

3. METODOLOGIA

Esta dissertação procura apresentar o processo de cognição da mente, com base nas informações armazenadas ao longo da aprendizagem, para alcançar um nível aceitável de discernimento e atingir um objetivo predeterminado. Para isso, é utilizado o recurso da pesquisa bibliográfica para traçar uma linha de raciocínio que apresente os processos de construção de uma tomada de decisão pelo processo cognitivo.

A pesquisa caracteriza-se como exploratória e descritiva. Tem como finalidade a releitura de casos já investigados e com relatório final publicado, com foco no assunto proposto, sem interferir nos fatos ou expressar opiniões.

É realizada uma pesquisa bibliográfica em relatórios finais de acidentes publicados por órgãos investigadores de acidentes e incidentes como SIPAER, CENIPA, NTSB, ANAC e outros; estes compõem o estudo da parte técnica complementando o capítulo do Referencial Teórico.

O procedimento para a coleta de dados é caracterizado como bibliográfico. A base teórica fundamentar-se-á pela pesquisa em dissertações de mestrado e/ou doutorado, contando também com entrevistas a psicólogos da área de fatores humanos e instrutores de simulador de voo.

Os detalhamentos pertinentes às entrevistas encontram-se no Apêndice A deste trabalho.

Pesquisadores que abordaram o tema “fatores cognitivos na tomada de decisão" como Dra. Correa (2011), Prof. Dr. Thomas (2006), Edson Rosa et al (2011) compõem a pesquisa bibliográfica para o compêndio dos conceitos psicológicos do capítulo Referencial Teórico.

É importante enfatizar que este é um assunto abrangente e que dispõe de grande acervo de publicações como fonte de recursos relacionados aos fatores cognitivos do comportamento humano, e documentação reduzida referente à cognição aplicada à atividade aérea, restringindo-se basicamente aos relatórios finais de acidentes. Contudo, conforme a proposta desta pesquisa, ficará restrita a análise dos fatores cognitivos. São utilizados livros técnicos que abordam os fatores humanos em termos gerais e livros e periódicos que tratam deste assunto com foco na psicologia

aeronáutica. Utiliza-se ainda de reportagens sobre acidentes onde o assunto proposto esteja evidenciado, além de pesquisa em sites de internet.

O presente trabalho é dividido em sete partes, conforme descrito em seus capítulos abaixo:

1 - Aborda a ideia original deste trabalho em termos gerais, e justifica a motivação desta pesquisa, onde o tema proposto é abordado no capítulo 1.

2 - Fundamentação teórica. Contextualiza as ideias e conceitos teóricos e técnicos, incluindo literatura pertinente ao assunto proposto de modo a fundamentar a pesquisa, sendo tratada no capítulo 2.

3 - Descreve os métodos e técnicas utilizadas para a pesquisa e apresenta a divisão e organização do trabalho. Está referenciado no capítulo 3.

4 - Apresenta o resultado da coleta de dados e sua relação com o tema proposto e fundamentado na parte dois deste trabalho. É apresentado no capítulo 4.

5 - Apresenta as conclusões resultantes da análise dos dados e está descrita no capítulo 5.

5 - Apresenta as conclusões resultantes da análise dos dados e está descrita no capítulo 5.

6 – Oferece as recomendações com base no desenvolvimento da pesquisa, abordado no capítulo 6.

7 - Referências bibliográficas, capítulo 7.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

4.1. Sobre o problema da pesquisa

Ao ser questionado sobre “Qual é a importância em estabelecer uma padronização nas informações apresentadas aos pilotos, considerando-se os aspectos cognitivos para o projeto de aeronaves?“, os instrutores em simulador de voo apresentaram suas percepções sobre o assunto. Mantendo o anonimato, o primeiro entrevistado foi o Comandante A:

> Em atendimento à sua solicitação, a respeito dos problemas decorrentes da falta de padronização entre os fabricantes de aeronaves, na construção dos sistemas de instrumentos de voo e da interatividade dos pilotos com esses sistemas, informo o seguinte:
> De acordo com a minha experiência profissional (21 anos na aviação de linha aérea e 13 anos na aviação militar) como piloto de rota, instrutor e examinador credenciado ANAC, atuando também como instrutor e examinador de simulador nas aeronaves FOKKER F100, AIRBUS A319/320 e BOEING B767, entendo que a ergonomia cognitiva pode ser um fator contribuinte em incidentes ou acidentes aeronáuticos.
> Um piloto em transição de equipamento, principalmente no início da instrução de simulador, apresenta frequentemente uma dificuldade de adaptação à nova ergonomia apresentada, ou seja, aos novos sistemas de voo, aos quais irá interagir a partir de então.
> Essa dificuldade inicial é mais relevante, na minha opinião, quando a transição é feita entre diferentes fabricantes, tipo Airbus para Boeing ou mesmo de Boeing para Airbus. Ela é mais acentuada também de acordo com o tempo que o piloto permaneceu voando um determinado tipo de equipamento.
> Exemplo: Um piloto que passa 10 anos voando um A320 e encontra-se atualmente em transição para o equipamento B767, terá muito frequentemente reações ou respostas cognitivas, baseadas no equipamento de origem (A320), principalmente quando submetido a eventos críticos inesperados.
> Nesses momentos é comum o piloto buscar uma resposta cognitiva baseada no equipamento que está sedimentado em sua mente. Após 10 anos de interatividade com um determinado sistema, onde somos submetidos frequentemente a testes de performance, com avaliação de desempenho, é

> natural que a resposta seja a que ainda está presente e estruturada na nossa mente.
> Infelizmente os fabricantes não possuem uma padronização na indústria. Seus sistemas são diferentes, com visualização e interatividade distintas, e o piloto tem que se adaptar rapidamente à nova realidade. Seu desempenho operacional será influenciado pela sua facilidade de adaptação com o novo equipamento.
> É claro que, com o estudo, entendimento dos novos sistemas, treinamentos de "voo mental", e dedicação, essa nova realidade vai se incorporando na mente e as respostas passam a ser mais automáticas e eficazes.
> Creio que exista um risco calculado quando o piloto se encontra nessa fase inicial de adaptação, pois na ocorrência de um evento crítico inesperado, a tendência ou o mais comum, seja ainda uma resposta cognitiva não totalmente adaptada ao novo equipamento. Não que isso possa colocar em risco a operação, mas que há espaço para uma resposta despadronizada ou não totalmente de acordo com o recomendado pelo novo equipamento, há certamente.
> O ideal seria que os fabricantes estudassem uma lógica comum ou bastante próximas de interatividade, pois facilitaria bastante o treinamento, ajudaria na adaptação e certamente economizaria custos, além de diminuir o risco com problemas de ergonomia cognitiva que é tema do seu trabalho. (Comandante A)

Abaixo, à mesma solicitação feita ao Comandante A, o relato do Comandante B:

> O caminho a ser trilhado pela pesquisa será muito rico, pois factualmente, esta realidade é muito viva nas instruções que ministro em simulador.
> A troca de filosofias (fabricantes) a serem utilizadas pelos pilotos na mudança entre equipamentos, no meu entender, é um enorme desafio profissional e cognitivo, e explico a seguir.
> Atualmente com todos os sistemas de segurança ativos e funcionando em uma aeronave moderna, os pilotos usam a *interface* de maneira ordenada e eficiente, sendo muito mais monitoradores do voo, intervindo quando necessário, porém intervenções estas que são corriqueiras e passam por *feedbacks* regulares e previstos pelos próprios aviadores.
> Estes *feedbacks* da trajetória e *performance* de um avião tornam-se previsíveis ao se somar horas de operação e uso constante. Ao se adquirir muita experiência em uma determinada família de aviões nossa capacidade

> cognitiva atinge um ápice de *performance* que é mantido por treinamentos recorrentes e aprimorado ano a ano em voos simulados.
> Durante estes voos simulados as mais variadas anormalidades são apresentadas e com o conhecimento prévio da interface sem as referidas (panes) nossa capacidade cognitiva rapidamente adquire a capacidade de lidar com a anormalidade e manter a trajetória segura. Este ciclo se torna virtuoso, pois estamos sempre mantendo nossa capacidade cognitiva a pleno e "lapidando-a" ano a ano.
> Isto posto agora irei discorrer sobre a "despadronização" das interfaces entre os fabricantes e a importância desta pesquisa.
> Como mencionado no segundo paragrafo o desafio de pilotar em filosofias diferentes de fabricantes é elevado e com uma maior "padronização" de instrumentos, cores e alarmes entre estes, facilitaria sobremaneira a transição.
> O treinamento inicial é mais dispendioso e robusto por conta do exposto acima, porém ao se finalizar o ciclo e o aviador estar liberado para operar "solo" nitidamente notamos que o piloto demonstra uma familiaridade "básica " com a *Interface* e por conta das diferenças gritantes de instrumento/mostradores e somente com vários meses de operação sua capacidade cognitiva vai se adaptando ao novo.
> Neste ponto gostaria de realçar que sempre ao sermos expostos a ambientes estressantes, nossa capacidade cognitiva e de julgamento fica prejudicada e aliando a falta de horas de voo no equipamento faz-se presente erros básicos de pilotagem/decisão.
> Se em um contexto ideal, os fabricantes estipulassem, se não na totalidade, mas com um grau de similaridade destas *interfaces,* obteríamos resultados muito mais proveitosos tanto no treinamento quanto na operação regular.
> Atualmente sendo instrutor e avaliador credenciado ANAC em simuladores de voo, despendo muita energia e tempo corrigindo erros básicos, que, nitidamente acontecem por esta "despadronização".
> Ao estar sobre pressão e em ambientes estressantes (Ex. monomotor) ao se deparar com limitações cognitivas de entendimento sobre os fatos, nitidamente os pilotos buscam em suas memórias a *Interface* antiga o que causa confusão e erros facilmente evitados com uma possível padronização (Comandante B).

Vale destacar que a percepção dos instrutores entrevistados se alinha com a definição de Santos e Souza, (conforme descrito no capítulo 2.1, p.17 do presente trabalho), onde afirmam que o processo cognitivo reflete uma composição de mapa

mental com processo imaginativo, sendo influenciado e modificado por fatores externos.

Afirma a Dra. Camile (p. 20 do presente trabalho) que além dos fatores externos, fatores emocionais e de atenção completam o quadro, imprimindo individualidade nas escolhas.

Segundo Billings (1999), pilotos têm dificuldades para compreender sistemas complexos e suas interconexões, devido ao fato de terem modelos mentais incompletos, e esta dificuldade de compreensão pode ser potencialmente desastrosa em situações imprevistas.

Este problema pode ser reduzido através de treinamento e na redução da complexidade nos projetos (Sarter e Wood 1997, 553-569).

O sistema de automação complexo leva o piloto a, inconscientemente, criar um modelo mental na tentativa de compreender a maneira como se processa a operação da aeronave e, assim, facilitar a sua interação com ela. (BRASIL. RF A-67/CENIPA/2009, p. 84).

Dada à arquitetura do sistema cognitivo humano, é muito mais rápido e econômico recorrer aos esquemas já prontos de nossa memória de longo prazo (LÉVY, 2004, p. 153).

É interessante destacar como a fala do Comandante A, onde ele afirma crer que “exista um risco calculado quando o piloto se encontra nessa fase inicial de adaptação [...] Não que isso possa colocar em risco a operação [...]”, antagoniza e cria discordância com a afirmação do Dr. Thomas (2006), que diz que os pilotos, muitas vezes intuitivamente, acionam comandos similares, pelo hábito do uso em outra aeronave, resultando em erros e subsequentes acidentes.

4.2. Relatórios finais de acidentes

4.2.1. Relatório final NTSB/AAR-14/01 – Notation 8518 – 24 Junho 2014

Este relatório descreve o acidente ocorrido em 6 de julho de 2013, envolvendo uma aeronave Boeing 777-200ER operado pela Korean sob o registro HL7742 e que estava efetuando o voo Asiana 214. A aeronave, que estava em aproximação visual para a pista 28L em São Francisco, colidiu com o quebra-mar na cabeceira da pista do aeroporto internacional de São Francisco (SFO), Califórnia. Três, dos duzentos e noventa e um passageiros sofreram lesões fatais. Quarenta passageiros, oito dos doze comissários de voo, e um dos quatro pilotos sofreram lesões sérias. Os outros duzentos e quarenta e oito passageiros, quatro comissários de bordo e três pilotos, sofreram lesões menores ou não tiveram lesão alguma.

A aeronave ficou completamente destruída.

4.2.1.1. Geral

A tripulação do voo estava devidamente habilitada e certificada em conformidade com a legislação Koreana e CFR14 parte 129. A investigação não encontrou evidências de que o desempenho da tripulação foi afetado por condição médica ou pelo uso de drogas, álcool ou medicação.

A aeronave estava com seu certificado de aeronavegabilidade e de manutenção em dia em conformidade com a regulação Koreana e CRF14 parte 129. A aeronave estava carregada conforme os limites do centro de gravidade.

As condições meteorológicas na hora do acidente favoreciam a operação em condições visuais e não tiveram impacto nos eventos. O controle de aproximação posicionou a aeronave na reta final da pista 28L e após o piloto declarar estar em contato visual com a pista, foi autorizado a aproximação final em condições visuais.

As restrições de velocidade e altitudes impostas pelo controle de aproximação estavam em conformidade com os procedimentos FAA e foram aceitos pela tripulação.

O NTSB concluiu que os seguintes fatores não tiveram impacto no acidente: certificação e qualificação da tripulação; desempenho da tripulação pelo uso de medicação, álcool ou drogas; certificação e manutenção da aeronave; falha de

motores ou sistemas; incapacidade do controlador de voo no gerenciamento da aproximação.

A sequência a seguir descreve a interação da tripulação com os sistemas da aeronave e sua catastrófica consequência:

A aeronave interceptou o curso da aproximação final da pista 28L aproximadamente a 14.1nm (milhas náuticas) a uma altitude de 4.800ft (pés), o que estava bem próximo da altura ideal para uma razão de descida com ângulo de planeio de 3 graus, compatível com o requerido para aproximação visual direta. Entretanto, após a tripulação aceitar a instrução do controlador para reduzir a velocidade de aproximação para 180kt (nós) e manter esta velocidade até 5nm da cabeceira da pista 28L, o piloto em comando, efetuou ajustes para reduzir a razão de descida, que resultou em aumento da altura ideal para um ângulo de planeio de 3 graus.

O piloto em comando, diminuiu a velocidade de aproximação de 200kt para 180kt, e comandou a extensão de flaps para a posição 5 graus. Estas seleções foram apropriadas e corretas para a fase da aproximação em que se encontrava a aeronave, contudo o gerenciador de voo AFDS, foi mantido na configuração de FLCH SPD, sem o uso de speedbrake, que é um dispositivo de redução de velocidade, para auxiliar na redução e manter uma razão de descida adequada. Como resultado, a aeronave começou a se distanciar cada vez mais da rampa ideal de planeio, ficando muito mais alta do que deveria. Aparentemente o piloto em comando não percebeu de imediato esta condição ao selecionar redução da velocidade em FLCH SPD.

Uma informação sobre o efeito desta situação, estava disponível para a tripulação através da amostragem de um arco verde na tela de navegação, mostrando onde seria o ponto final da descida, se mantida as condições presentes para a aproximação.

Quando a aeronave estava aproximadamente a 11,5nm da pista em uso, passando pela altitude de 4.300ft, o piloto em comando, mudou o modo de operação de FLCH SPD para V/S (velocidade vertical de descida), ajustando para uma descida de 1.000ft por minuto. Neste ponto, o gerenciador de voo, mudou o controle de velocidade automática, que estava em FLCH SPD para HOLD. Isto faz com que a aeronave priorize a velocidade de descida selecionada em 1.000ft por minuto, em detrimento da velocidade de deslocamento limite selecionada em 180kt. Esta ação não foi suficiente para que a aeronave mantivesse uma rampa ideal de descida, gradualmente se distanciando dela.

Cerca de 8.5nm da pista 28L, cruzando aproximadamente 3.400ft e com uma velocidade indicada de 188kt, o piloto em comando solicitou o abaixamento de trem de pouso para aumentar o arrasto aerodinâmico em uma tentativa de aumentar a razão de descida e ao mesmo tempo reduzir a velocidade indicada. O piloto em comando poderia ainda ter solicitado a extensão de flap para a posição de 20 graus, que auxiliaria na redução da velocidade, mas não o fez. Neste ponto da aproximação, a aeronave estava 900ft (aproximadamente 300 metros) acima da rampa ideal de planeio para pouso e uma configuração maior de posição de flap, ajudaria reduzir velocidade e altura. O piloto que monitorava a aproximação, informou que a aeronave estava ficando muita alta em relação a rampa ideal. O piloto em comando concordou com a assertiva e aumentou a razão de descida de 1.000ft por minuto para 1.500ft por minuto, em uma tentativa de buscar a rampa de planeio ideal.

Com a aeronave agora a cerca de 6.3nm da pista em uso para pouso e cruzando a altitude de 2.600ft, o piloto em comando retornou a velocidade de descida para uma razão de 1.000ft por minuto, ação inapropriada pois a aeronave ainda estava acima da rampa ideal, mostrando claramente que a consciência situacional do piloto em comando estava prejudicada.

A uma distância de 5nm da cabeceira da pista em uso, a aeronave estava com uma velocidade indicada de aproximação de 174kt e ainda 400ft acima da rampa ideal. Como resultado da velocidade, o piloto em comando não pode comandar os flaps para a posição de 30 graus uma vez que o limite para esta condição é a velocidade de 170kt. O flap na posição de 30 graus é o flap utilizado para pouso e ajudaria na redução da velocidade de aproximação e na velocidade de descida, diminuindo a sua razão e mantendo um ângulo de descida de três graus.

Durante testes em simulador de voo, o NTSB concluiu que a tripulação não conseguiu gerenciar apropriadamente o perfil de descida vertical da aeronave, o que resultou em uma aproximação não estabilizada, mantendo aeronave muito acima da rampa planejada.

Cerca de 5nm da cabeceira da pista, a dificuldade enfrentada pela tripulação, ainda não estava resolvida. O piloto em comando estava ciente da necessidade urgente em perder altura e para tentar estabilizar a aproximação. Retomou a operação do controle automático de velocidade para a configuração FLCH SPD, que teve

consequências inesperadas pela tripulação, desativando o modo de controle automático da velocidade.

Ao passar o ponto de início da aproximação final, aproximadamente 5nm da pista 28L, o piloto em comando solicitou a seleção da altitude de 3.000ft na janela de seleção de altitudes, para selecionar a altitude limite a ser mantida em caso de arremetida. O piloto em comando solicitou ao piloto monitor a configuração de flap para a posição de 30 graus. Como a velocidade de aproximação ainda estava acima do limite máximo para a seleção do flap, o piloto monitor retardou esta ação, selecionando a velocidade de aproximação para 152kt.

Aproximadamente cerca de treze segundos após o piloto em comando solicitar flaps em 30 graus, e três segundos antes que piloto monitor comandasse esta ação, o controle automático de velocidade que estava em V/S (velocidade vertical), mudou para FLCH SPD. Como característica de projeto, simultaneamente, o controle automático de aceleração mudou de SPD (velocidade) para THR (empuxo). Isto se deu pelo fato da velocidade estar em 172kt, quando foi selecionada para 152kt para a seleção de flap na posição de 30 graus. Como a aeronave estava mantendo uma razão de descida, equivale dizer que o controle de aceleração foi posicionado em marcha lenta.

Uma vez que a altitude selecionada estava configurada para uma possível arremetida, e a aeronave estava cruzando entre 1.850ft e 1.330ft, a mudança do controle automático de velocidade de V/S para FLCH SPD, fez com que a aeronave parasse de descer e iniciasse uma subida para a altitude de 3.000ft, acelerando os motores. Três segundos após este evento, o piloto em comando desligou o piloto automático, que até então comandava as ações da tripulação, e passou a operar os controles da aeronave no modo manual. Ao mesmo tempo, reduziu manualmente as alavancas de aceleração dos motores, forçando-os a operarem em marcha lenta, mudando a operação para HOLD (travado). Neste modo, o controle de aceleração não mais movimenta as alavancas de potência do motor e não há controle de potência e velocidade, ficando a cargo da tripulação esta função.

Durante as entrevistas após o acidente, o piloto em comando declarou que considerou mudar a operação do modo de descida de V/S para FLCH SPD de modo a buscar rapidamente a rampa de planeio ideal, uma vez que o motor é

automaticamente posicionado em marcha lenta ocasionando maior razão de descida, contudo alegou que ele não se recordava de ter feito esta ação.

Como o piloto monitor demorou três segundos para comandar os flaps para a posição de 30 graus após o piloto em comando selecionar FLCH SPD, é perfeitamente plausível que o piloto monitor estivesse focado na redução da velocidade para a seleção dos flaps, e não percebeu a mudança que ocorreu no controle de velocidade e aceleração dos motores. Durante as entrevistas após o acidente, os pilotos que estavam na cabine de comando, declararam não terem percebido a mudança de configuração para HOLD. Isto não é surpresa, à luz dos fatores humanos, onde estudos demonstram que pilotos frequentemente não percebem alterações nos modos de operação, principalmente nos eventos não esperados (SARTER et al. 2007, 347-357).

Após selecionar a velocidade de aproximação em 137kt, o piloto em comando selecionou o seu diretor de voo para a posição desligado. Esta era uma prática informal da Asiana durante as aproximações visuais, onde o piloto em comando desligava o seu diretor de voo mas o piloto monitor mantinha o seu ligado, mas somente após ambos os diretores de voo terem sido desligados. Nas entrevistas após o acidente, o piloto em comando e o piloto monitor declararam que seguiram esta prática.

Entretanto, a leitura dos dados de voo, mostrou que o piloto monitor desligou o diretor de voo do piloto em comando, mas não deligou o seu. Se os dois diretores de voo tivessem sido desligados ao mesmo tempo, o controle automático de potência dos motores teria revertido de HOLD, para o modo SPD e o controle automático de potência teria sido restabelecido. Como esta ação não aconteceu, o controle automático permaneceu em HOLD (travado), e seria necessária a movimentação manual das alavancas de controle de potência dos motores para recuperar o controle da aceleração.

Em uma tentativa final de buscar a rampa de planeio ideal e estabilizar a aproximação, o piloto em comando aumentou a velocidade de descida, que chegou a 1.800ft por minuto, velocidade esta muito além da permitida abaixo da altura de 1.000ft (aproximadamente 300 metros).

Finalmente, a aeronave interceptou a rampa de planeio e o piloto em comando, para manter a descida controlada, elevou gradativamente o ângulo da aeronave em relação ao horizonte sem perceber que o controle automático de aceleração ainda

estava no modo HOLD (travado). Isto fez com que a aeronave reduzisse a sua velocidade de deslocamento em relação ao solo. Na entrevista após o acidente, o piloto monitor declarou que só notou a velocidade baixa (120kt, 12kt a menos que a velocidade de aproximação) por volta de 200ft de altura (70 metros) e que aparentemente o controle de potência dos motores não estava funcionando. O piloto monitor declarou não alertar o piloto em comando a respeito da baixa velocidade de aproximação pois aparentemente o piloto em comando estava ciente da situação e estava reagindo.

Após quatro avisos sonoros alertando sobre a baixa velocidade e sete segundos antes do impacto, o piloto monitor informou ao piloto em comando sobre a velocidade acrescentando o comando para descontinuar a aproximação e arremeter. Instantes após, os dados do gravador de voo indicaram que a coluna de controle dos elevadores atingiu a deflexão máxima. Ao cruzar 30ft (8 metros), o piloto monitor informou ao piloto em comando para arremeter e ante a falta de ação por parte do piloto em comando, ele posicionou as alavancas do acelerador dos motores para a posição máxima. Segundos depois, a aeronave chocou-se com o quebra-mar da cabeceira 28L.

4.2.1.2. Aspectos Ergonômicos

Pesquisas na área de fatores humanos têm demonstrado que operadores de sistemas se tornam complacentes ao monitorarem sistemas complexos altamente confiáveis, quando desenvolvem alto grau de confiabilidade nestes sistemas e competem com atividades manuais. Este fato ocorre tanto nos operadores novatos quanto nos experientes, e dificilmente são superados com treinamento (PARASURAMAN e MANZEY, 2010, 381-410). Os recursos de atenção são limitados, portanto afastá-los das tarefas automatizadas e forçando a execução de tarefas manuais em períodos de alta carga de trabalho pode ser considerado uma adaptação, uma vez que uma das principais funções da automação é aliviar a carga de trabalho. Entretanto, o uso de sistemas complexos tem consequências previsíveis para o desempenho humano. Fatalmente ele reduz o monitoramento e diminui a probabilidade do operador humano em detectar sinais de anomalia ou comportamento inesperado referente a sistemas automatizados complexos.

No caso relatado, a tripulação acreditava que o controle automático de potência, estava cuidando da velocidade da aeronave e da potência dos motores, uma vez que eles tinham grande confiança na automação e não acompanharam de perto o comportamento dos sistemas durante uma fase de alta carga de trabalho.

O NTSB concluiu que a falta de monitoramento do automatismo por parte da tripulação durante a aproximação, resultado de uma expectativa, aumento da carga de trabalho, fadiga e confiança excessiva na automação, contribuíram para o acidente.

A complexidade dos sistemas de controle de voo pode contribuir para modelos mentais falhos em relação à automação. Tecnologia embarcada, como no Boeing 777, por exemplo, contém múltiplos subsistemas. Cada qual com vários modos de operação, e com múltiplas interconexões. Pesquisa em área de fatores humanos envolvendo pilotos sugere que eles têm dificuldades para compreender estes sistemas e suas interconexões (BILLINGS, 1999). Estas dificuldades levam os pilotos a terem modelos mentais incompletos, e que podem ser particularmente problemáticos em situações altamente dinâmicas e imprevistas (Sarter e Wood 1997, 553-569). Este problema pode ser reduzido através de treinamento e na redução da complexidade nos projetos.

Apesar de ter concluído com aproveitamento a fase de instrução em sala de aula e simulador de voo, o piloto em comando do voo Asiana 214 declarou, na entrevista após o acidente, não estar confiante no seu entendimento de como os sistemas do Boeing 777 interagiam. Outros pilotos e instrutores da Asiana, quando entrevistados após o acidente, demonstraram que o modelo mental envolvendo os sistemas de controle automático de voo (AFDS) e suas interações com o controle automático de potência dos motores (A/T) não estava consolidado, principalmente quando atuando como pilotos em comando.

4.2.1.3. Experiência profissional da tripulação

O piloto em comando, com 45 anos de idade, era detentor das habilitações técnicas de Airbus A-320, Boeing 737, Boeing 747-400 e Boeing 777. Acumulou um total de 9.684 horas de voo, sendo 3.729 horas como piloto em comando. Ele tinha no

Boeing 777-200ER 33 horas de voo em instrução de rota e 24 horas de voo em instrução em simulador de voo.

O piloto monitor tinha, na época ao acidente, 49 anos de idade, era detentor das habilitações técnicas de Boeing 757/767 e Boeing 777. Acumulou um total de 12.307 horas totais de voo, sendo 9.045 horas como piloto em comando. Na aeronave Boeing 777-200ER possuía 3.208 horas de voo. No voo Asiana 214, era a primeira vez que atuava como instrutor de voo na aeronave Boeing 777.

O piloto observador tinha 40 anos, era detentor das habilitações técnicas de Airbus A-320 e Boeing 777-200ER. Acumulou um total de 4.557 horas de voo totais, sendo 1445 horas como piloto em comando. Na aeronave Boeing 777 ele tinha um total de 715 horas de voo.

4.2.2. Relatório final A-67/CENIPA/2009 – PR-MBK – 17 Julho 2007

4.2.2.1. Geral

A aeronave operada pela TAM Linhas Aéreas estava realizando o voo JJ3054, tendo decolado de Porto Alegre (SBPA) às 17:19 horas, horário local, com destino a São Paulo/Congonhas (SBSP).

A aproximação transcorreu normalmente para a pista 35L de Congonhas. A aeronave operava com o reversor do motor direito desativado. A pista estava molhada e escorregadia, segundo informação prestada à tripulação pela torre de controle. Após o pouso, ocorrido já no período noturno às 18:54 horas, horário local, a aeronave não desacelerou como o esperado. A aeronave perdeu a reta da pista para a esquerda, vindo a sair da pista lateralmente, cruzando a avenida Washington Luis e colidindo com um posto de abastecimento de combustíveis e com um edifício no qual funcionava um serviço de cargas do próprio operador.

Todas as pessoas a bordo, seis tripulantes ativos e cento e oitenta e um passageiros, faleceram. Em decorrência do acidente, faleceram ainda doze pessoas que se encontravam no edifício. A aeronave incendiou-se e ficou completamente destruída.

No dia do acidente, a mesma aeronave PR-MBK, já havia pousado na pista principal de Congonhas duas vezes, tendo o primeiro pouso ocorrido às 11:11 horas

local, realizando o voo JJ3701, quando o volume de precipitação registrado foi de 1,5mm, e o segundo pouso às 14:32 horas local, realizando o voo JJ3219, sem precipitação. No momento do acidente, registrava-se um volume de precipitação de 0,6 mm.

A aviação brasileira passava por um momento particular nos meses que antecederam ao acidente, quando o clima a bordo das aeronaves de transporte regular costumava ser tenso, em virtude da relação com os passageiros, estressados por conta dos frequentes atrasos nos voos, das filas de espera para o embarque, da falta de acomodações adequadas nas salas de embarque e, principalmente, da falta de informações.

Neste contexto, o aeroporto de Congonhas, que tinha o maior movimento de passageiros dentre os aeroportos brasileiros, era significativamente afetado.

Do ponto de vista psicológico, a operação em Congonhas, segundo apurou a investigação, representava para grande parte das tripulações um motivo de preocupação, em vista das características marcantes daquele aeródromo, notadamente sob condições de chuva.

Ante estes fatos, é possível supor que o cenário no qual ocorreu o acidente tenha contribuído de alguma forma para a sua consumação, notadamente sob a forma de uma permanente pressão psicológica sobre os tripulantes.

Durante a leitura dos dados dos gravadores de voo, o gravador de dados (FDR), não registrou qualquer movimentação da alavanca de controle de potência do motor direito, cujo reversor de empuxo estava inoperante, desde o momento em que foi posicionada para a posição CL (voo) na decolagem de Porto Alegre, até a colisão da aeronave.

Em relação ao motor esquerdo, o gravador de dados registrou a movimentação da respectiva alavanca para a posição IDLE (marcha lenta) instantes antes do pouso, quando o aviso aural “RETARD” soava e a aeronave estava a cerca de três metros de altura sobre a pista de pouso. O aviso sonoro “RETARD”, é parte do projeto dos sistemas de alarme do Airbus A-320, para lembrar os pilotos de posicionarem as alavancas do controle de potência do motor na posição de marcha lenta.

No pouso, o toque da aeronave com a pista ocorreu a uma velocidade aproximada de 140kt, tendo sido registrada no gravador de dados uma das alavancas

de controle da potência dos motores em IDLE (marcha lenta) e a outra na posição CL (voo).

Neste momento, o fato da alavanca de potência do motor direito ter sido registrada na posição CL determinou a variação dos parâmetros daquele motor no sentido de tentar manter a velocidade previamente selecionada. Isto porque, quando funcionando isoladamente, o controle automático de potência do motor sempre controla a velocidade.

Esta situação trouxe como consequência direta a não deflexão dos “ground spoilers”, pois de acordo com a lógica de operação, é preciso que ambas as alavancas de controle de potência do motor estejam na posição IDLE (marcha lenta), e que pelo menos uma das alavancas seja posicionada na função reversora. Para que os dispositivos “ground spoilers” sejam ativados. Os “ground spoilers” são superfícies sobre as asas que, quando defletidas, quebram a sustentação produzida pelas asas, aumentando a efetividade dos freios das rodas.

A não deflexão destas superfícies degrada significativamente a capacidade de frenagem da aeronave, aumentando por si só a distância necessária para a parada total em cerca de 50%, segundo dados do fabricante.

Como efeito em cascata, a função de freio automático de rodas, que estava armada, não foi ativada, uma vez que não houve deflexão dos “ground spoilers”, e esta condição é mandatória para a ativação do sistema de freio de rodas da aeronave. Desta forma, após o pouso, não houve nem a deflexão dos “ground spoilers”, nem a ativação do sistema automático de frenagem das rodas.

Quando do toque do trem de pouso do nariz da aeronave, cerca de 2,5 segundos após o toque das rodas principais, a alavanca de controle de potência do motor esquerdo foi posicionada na função REV (reversor de fluxo de ar), segundo os dados do gravador de voo. Nesta condição, o controle automático de aceleração do motor foi desconectado, conforme previsto no projeto da aeronave, sendo então, ativada a função “Thrust Lock” ou potência travada, impedindo que o motor atinja potência necessária para o voo.

Assim, esta função congelou a potência do motor direito no valor que estava naquele momento, permanecendo assim até o momento do impacto final. Nesta condição, o motor esquerdo, que estava com a alavanca de potência selecionando o modo REV, estava desacelerando a aeronave. Contudo, o motor direito, que estava

com a potência congelada devido ao não-posicionamento da alavanca de comando de potência para marcha lenta, estava acelerando a aeronave. Esta situação coincide com os dados coletados pelo gravador de dados do voo.

Aproximadamente seis segundos após o toque do trem de pouso principal, houve o primeiro acionamento dos freios por meio dos pedais, sobrepujando o sistema de frenagem automático, e que atingiram a máxima deflexão cinco segundos mais tarde.

> Registrou-se ainda, o uso do leme de direção e a frenagem diferencial pelos pedais à medida que a aeronave perdia a reta de pouso para a esquerda, provavelmente na tentativa de manter a aeronave na pista e parar por completo.

Vale lembrar que o reversor de empuxo é um dispositivo adicional de desaceleração e, por este motivo, não é um sistema obrigatório na certificação da aeronave.

Mesmo assim, existem, no projeto do A-320, três níveis de segurança para evitar que o reversor seja acionado em voo, uma vez que isso implicaria numa situação potencialmente catastrófica.

Ainda assim, o sistema, tendo reconhecido uma alavanca de potência na posição CL (voo) e a outra em REV (reversor de empuxo), entendeu que a “intenção” dos pilotos era de continuar voando e não a de pousar a aeronave.

Em outras palavras, o sistema de controle da potência, mesmo com a aeronave solo, condição conhecida por WOW (weight on weels – peso sobre as rodas), com uma das alavancas de potência na posição de reversor de fluxo, com os “ground spoilers” armados, com o freio automático armado, e com a aplicação de pressão máxima de frenagem de rodas, deu prioridade à informação da alavanca de potência do motor que erroneamente estava posicionada em CL (voo), alavanca esta que não possuía nenhum dispositivo de segurança quanto a um eventual posicionamento inadvertido.

Nesta situação, com a informação da alavanca de potência em CL (voo), o “ground spoiler” não defletiu, o freio automático não atuou e as condições de frenagem deterioraram a tal ponto de não permitir a parada da aeronave na pista. Os pilotos só perceberam que a aeronave não desacelerava poucos segundos antes do impacto, tempo insuficiente para que compreendessem o que se passava com a aeronave.

4.2.2.2. Aspectos ergonômicos

A introdução de sistemas complexos de proteção nos equipamentos traz, como risco agregado, uma dificuldade na sua compreensão, originando diferentes falhas que demoram a ser percebidas, devido ao grande número de controles e à multiplicidade de suas interações.

A complexidade destes sistemas, por vezes, torna difícil para o piloto elaborar, por meio de um modelo mental, uma representação precisa da lógica de sua automação. Como agravante, a sofisticação dos equipamentos dispostos no cockpit pode significar um óbice a mais para o entendimento das ações ditadas pelo sistema automatizado, especialmente nas situações críticas ou não rotineiras, dificultando também a antecipação do que vai acontecer em seguida, gerando uma inadequação cognitiva (POLET et al., 2002).

Como as informações são muito complexas, a concepção da automação nem sempre permite que o piloto saiba exatamente como as operações estão sendo realizadas pelo sistema. É como se fosse dado ao piloto apenas uma noção parcial do funcionamento da aeronave, que a engenharia julga ser necessária para que ele a opere.

Por outro lado, também é dada uma proteção à aeronave quanto aos possíveis erros de operação capazes de gerar situações de descontrole, situações estas que, neste contexto automatizado, estariam além da capacidade de compreensão do piloto.

Na investigação deste acidente, evidenciou-se que os pilotos não sabiam de que forma o sistema estava atuando, para evitar que a aeronave pousasse. O painel de instrumentos da aeronave acusou a não deflexão dos “ground spoilers”, mas não houve nenhuma outra indicação e o sistema não apresentou qualquer informação adicional que permitisse aos pilotos entender o que estava efetivamente ocorrendo, ou mesmo que associasse aquela falha à posição das alavancas de controle da potência dos motores.

Os manuais da Airbus são volumosos e de difícil consulta no âmbito da cabine de comando. A disposição dos assuntos nos manuais é complexa, uma vez que um mesmo assunto pode estar distribuído por diversas de suas seções. Assim, ao pesquisar sobre um determinado tema, o piloto é, por vezes, obrigado a manusear quase que integralmente os volumes trazidos a bordo, o que consome muito tempo.

Além disso, por se tratar de um espaço restrito, a necessidade de manusear documentos tão volumosos no âmbito da cabine de pilotagem, sobretudo nos momentos críticos, pode comprometer o acesso às informações.

Como após o impacto todos os ocupantes da aeronave, incluindo os tripulantes, faleceram, não sendo possível coleta de dados através de entrevistas, as conclusões finais são apresentadas em forma de hipóteses.

A tripulação tinha, em sua composição, dois comandantes, tendo o mais antigo ocupado o assento da esquerda durante toda a jornada e atuado como piloto em comando nos dois pousos realizados: em Porto Alegre e em Congonhas.

Como característica, o piloto em comando costumava apresentar um desempenho mediano, em situações operacionais mais críticas, tendo um histórico marcado por pequenas dificuldades em situações operacionais mais críticas, o que era compensado por alto grau de padronização e de aderência aos procedimentos previstos. Esta característica reforça a evidência de que ele estava ciente de como operar as alavancas de controle de potência dos motores com um reversor inoperante.

O segundo piloto, cuja grande experiência pregressa se consolidou em aeronaves da linha Boeing, também na condição de comandante, havia sido contratado recentemente pelo operador e contava, à época do acidente, com aproximadamente 200 horas de voo na aeronave A-320. Este piloto ocupou o assento da direita durante toda a jornada e atuou como piloto monitor durante os dois pousos realizados por aquela tripulação. Cabe salientar que sua experiência de voo naquela função se resumia ao treinamento em simulador de voo.

Como o papel do piloto monitor é justamente o de monitorar o voo, inclusive no tocante às ações do piloto em comando e aos parâmetros de voo, a pouca experiência do piloto monitor naquele assento pode ter contribuído para a não percepção de um eventual lapso ou desvio na execução dos procedimentos previstos de operação.

Pelos dados do gravador de voz da cabine isto fica particularmente evidenciado no momento em que o piloto monitor constata que os “ground spoilers” não defletiram. Tem-se a impressão de que ele esperou pela abertura normal destas superfícies e, como esta demorava a acontecer, ele antecipou a confirmação da abertura do reversor do motor esquerdo.

Em seguida, o anúncio da não deflexão dos “ground spoilers” foi feito de uma maneira quase mecânica, como se ele não tivesse ciência da exata dimensão do problema que estava por vir.

Um tripulante com experiência na função de copiloto, ambientado no assento da direita, e na aeronave, tenderia a acompanhar os parâmetros de operação com outro enfoque. Estaria mais acostumado a fazer os “call outs” e já saberia que respostas deveria esperar. Assim, seria provavelmente mais eficiente no reconhecimento de um desvio.

Apesar de não existir um procedimento estabelecido para o caso da não deflexão dos “ground spoilers”, a mera sugestão desse problema feita a diversos comandantes e copilotos mostrou diferenças na interpretação e no gerenciamento da situação.

Pode-se questionar então se, numa situação como aquela, e em vista da débil desaceleração da aeronave, um copiloto experiente não verificaria, por reflexo, os valores da potência dos motores, o que possivelmente o levaria a observar a posição da alavanca de controle de potência do motor direito.

Na verdade, em momento algum do gerenciamento daquela situação de emergência, houve qualquer indício de que algum dos pilotos tivesse compreendido o que se passava com relação à aeronave e seus sistemas.

4.2.2.3. Experiência profissional da tripulação

O piloto em comando acumulou um total de 13.654 horas de voo, sendo 2.236 horas na aeronave A-320.

O piloto monitor acumulou um total de 14.760 horas de voo, sendo 237 horas na aeronave A-320.

4.2.3. Relatório final Aeroperú 603 – Accident Investigation Board of the Directorate General of Air Transport

4.2.3.1. Geral

No dia 2 de outubro de 1996, uma aeronave Boeing 757 com o registro N52AW, realizando o voo Aeroperú 603, decolou do aeroporto internacional Jorge Chaves, Lima, Peru, com destino ao aeroporto internacional de Santiago, Chile, transportando nove tripulantes e sessenta e um passageiros a bordo.

Logo após a decolagem, já no segmento de subida para o nível de cruzeiro, a tripulação percebeu que os altímetros da aeronave não estavam respondendo como deveriam e que algo de irregular estava ocorrendo. Altímetros são instrumentos que indicam a altura ou altitude, dependendo da forma como são ajustados, que a aeronave cruza ou mantém em voo.

A tripulação então informou à torre de controle em Lima e declarou condição de emergência. Em contato com o controle de aproximação de Lima, a tripulação questionou o controlador sobre a sua real altitude pela apresentação radar e solicitou instruções para retorno imediato para pouso no aeroporto Jorge Chaves, de onde haviam decolado.

Após vinte e nove minutos de voo, ainda tentando retornar para pouso em Lima e com a tripulação lutando para manter a aeronave sob controle, eles atingiram a superfície do mar aproximadamente a oitenta e seis quilômetros do aeroporto. Todos os ocupantes faleceram e a aeronave ficou completamente destruída.

Durante um procedimento de manutenção, onde alguns reparos e limpeza externa da aeronave foram efetuadas, alguns sensores de pressão foram cobertos com fita adesiva para não serem danificados. Durante este procedimento, houve troca do pessoal envolvido nos serviços em função de mudança de turno, e as fitas adesivas não foram removidas.

O comandante, ao efetuar a inspeção externa pré voo, não foi informado sobre o serviço de limpeza da fuselagem, e não notou as fitas cobrindo os sensores que estão posicionados na parte inferior da fuselagem, assumindo que estava tudo normal.

Estes sensores enviam dados para vários sistemas da aeronave, que ao processá-los, fornecem informações de velocidade e altitude para os pilotos, além de

parâmetros para tratamento da potência a ser desenvolvida pelos computadores que controlam os motores.

A falta destes dados pode gerar diversos erros diretos e indiretos nos diversos sistemas automatizados que compõe uma aeronave.

Logo após a decolagem, a primeira falha apresentada aos pilotos foi o comportamento irregular do altímetro. Enquanto lidavam com esta situação e tentavam retornar para o aeroporto, falhas adicionais e conflitantes preencheram o cockpit com alarmes e luzes.

Ao mesmo tempo que um sistema indicava que a aeronave estava prestes a perder sua sustentação devido à baixa velocidade, outro sistema informava que a aeronave estava voando com velocidade excessiva, fato este que poderia causar dano estrutural catastrófico. Alarmes informando que a aeronave estava perdendo altura, eram contrapostos com outros, dando clara indicação de que a aeronave estava subindo. Estes alarmes constantes e contraditórios geraram grande confusão nos pilotos, que não entendiam o que estava acontecendo com a aeronave, pois nunca haviam treinado em simulador uma emergência parecida.

A transcrição a seguir é do gravador de voz da cabine de comando:

Piloto 2: *Sim... porque agora estamos perdendo sustentação*.

Piloto 1: *Nós não estamos perdendo sustentação, é alarme falso. É falso*

Piloto 2: *Não, se temos indicação de baixa velocidade, como pode ser falso?*

Piloto 1: *Baixa velocidade... mas é... com "speed brake" e tudo o mais. Estamos mantendo 9.500 pés; por que isto está nos dando a mesma indicação? Eu não entendo. A potência, quanto de potência nós temos?*

Outros alarmes, como aviso de proximidade com o solo, foram desconsiderados pela tripulação que passou a não mais confiar nos alarmes por acreditar que eles eram falsos.

Se a tripulação tivesse entendido o motivo de tantos alarmes, a situação teria sido resolvida através de procedimentos contidos no Guia de Consulta Rápida (QRH) no capítulo "Airpeed Unreliable", p. 10.1, que trata esta condição.

Na transcrição do gravador de voz da cabine, fica claro a confusão e incerteza da tripulação sobre o que estava acontecendo com a aeronave e que eles não traçaram um plano de ação para lidar com o problema, como por exemplo, determinar

que um dos pilotos deveria se preocupar apenas em manter a aeronave estabilizada e efetuar as comunicações necessárias, enquanto o outro piloto deveria lidar com os procedimentos para resolver a emergência, conforme preconiza o CRM.

Em adição ao aumento da carga de trabalho e a gravidade do problema, houve momentos em que a tripulação ficou desesperada pela sensação de impotência, uma vez que eles não conseguiam encontrar uma solução adequada para controlar a aeronave. Repetidas vezes eles se referem aos inúmeros alarmes e leem as mesmas listas de verificação, o que em nada ajuda a esclarecer a origem de tantas falhas.

Eles estavam cientes do problema, mas não da causa original, portanto não sabiam onde buscar informações alternativas para lidar com a situação, acreditando que todas as informações não eram confiáveis.

Talvez pelo estresse emocional gerado por tantos alarmes, a tripulação não considerou as informações de dois sistemas independentes instalados no Boeing 757, que não são afetados pelos dados fornecidos pelos sensores que estavam inoperantes por causa da fita adesiva sobre eles. Um dos sistemas, conhecido por ADI, gera eletronicamente informações de velocidade de deslocamento em relação ao solo e são apresentadas em uma tela de computador dedicado ao gerenciamento do voo conhecido por FMS (Flight Management System). O outro sistema é o do RA (Rádio Altímetro), que em conjunto com o sistema de alerta de proximidade do solo, garante informações corretas e precisas sobre a altura da aeronave em relação ao solo. Estes dois sistemas em conjunto fornecem indicações visuais para ambos os pilotos sobre velocidade e altura, que neste caso em particular era o maior problema enfrentado pela tripulação na condução segura do voo.

A conclusão da investigação determinou que o piloto em comando cometeu uma série de erros e omissões, gerando uma situação de emergência que colocou a aeronave numa condição conhecida por CFIT (voo controlado em direção ao solo), levando-a a colidir com a superfície do mar. Ficou evidenciado, também, visão de túnel e confusão mental por parte da tripulação.

Em relação ao piloto monitor, ficou claro que ele cooperou adequadamente com o piloto em comando, até o momento que, incapaz de se concentrar para reconhecer a origem das falhas, devido a quantidade de informações contraditórias, não tomou uma linha de ação efetiva para corrigir o problema, induzindo a tomada decisões

incompatíveis com a segurança de voo. Não foi assertivo principalmente nas situações de alerta de proximidade com o solo e que culminou com o acidente.

4.2.3.2. Experiência profissional da tripulação

O piloto em comando acumulou um total de 21.955 horas totais de voo, sendo 1.520 horas na aeronave Boeing 757.

O piloto monitor acumulou um total de 7.954 horas de voo totais, sendo 719 horas na aeronave Boeing 757.

5. CONCLUSÃO

Ao longo dos anos, muito se falou sobre a culpabilidade dos pilotos nos incidentes e acidentes aeronáuticos, analisando apenas os aspectos técnicos operacionais, deixando de lado a questão cognitiva. Este trabalho não teve a pretensão de fazer uma releitura dos acidentes aeronáuticos, mas fazer um questionamento sobre os critérios de classificação adotados durante as investigações de acidentes.

Em uma tentativa de tornar as aeronaves cada vez mais seguras, computadores complexos foram introduzidos nos diversos sistemas das aeronaves, com a premissa de que a tecnologia não falha, tornando as aeronaves cada vez mais sofisticadas e com poder de decisão, não inserindo, neste contexto, o elemento humano e sua interação com as novas e crescentes tecnologias.

Contudo, conforme abordado no desenvolvimento do capítulo 2 do presente trabalho, memória e cognição são fundamentadas em reações bioquímicas complexas, e que não evoluíram na mesma velocidade da tecnologia. Ao longo do tempo, o homem adaptou-se à vida moderna, mas quando exposto a situações críticas ou não esperadas, ele busca soluções em mapas mentais pré-definidos baseados em experiências anteriores e que deram resultados satisfatórios. É parte do instinto de autopreservação.

Pouco valor tem para o piloto o modo como cada sistema de uma aeronave opera e sua nomenclatura; se é utilizado uma válvula mecânica ou pneumática para operar determinado conjunto, é uma preocupação dos engenheiros com a confiabilidade e redução de custos. Se o sistema hidráulico principal é batizado por sistema esquerdo ou sistema verde ou outra nomenclatura qualquer, em nada afeta a operação da aeronave. Contudo, o modo como uma falha importante é apresentada ao piloto faz toda a diferença na tomada de decisão.

Como visto no capítulo 4, tripulações com grande experiência de voo, mas com poucas horas em equipamentos novos, quando introduzidas em cenário inesperado, basearam suas decisões em experiências previamente adquiridas por não entenderem a complexidade dos sistemas e de que forma estes sistemas estavam controlando a aeronave.

O piloto, quando exposto a situações de grande estresse, desenvolve um comportamento conhecido como “visão de túnel”, onde fica focado em apenas parte do problema e não consegue ter uma visão geral dos acontecimentos. E esta condição é potencializada com a introdução de sistemas cada vez mais complexos, devido à incapacidade do piloto de compreender com exatidão as particularidades de operação e interação destes sistemas.

É interessante notar, que o relatório final sobre o voo Aeroperú 603, que aconteceu há apenas vinte e dois anos, imputa a culpabilidade aos pilotos somente sob o aspecto técnico-operacional, não considerando a ergonomia cognitiva como fator contribuinte.

Já os relatórios finais dos voos TAM 3054 e ASIANA 214, ambos recentes (2007 e 2013 respectivamente), apontam a ergonomia cognitiva como fatores contribuintes para o acidente, mudando significativamente o enfoque da culpabilidade dos pilotos, na introdução da análise da interação homem-máquina.

Segundo o professor Martins, 2006 p. 260:

> Apesar dos recursos tecnológicos que se traduzem em sensores e em novos processos informacionais, a avaliação do tipo de erro não apresentou melhorias desejáveis na era da automação nos aviões. A origem destes erros poderia apontar para problemas de capacitação e treinamento onde o piloto deveria aprender a lidar mais profundamente com estas novas interfaces e a identificar mais eficientemente os sinais informacionais que todo este novo processo promove à tripulação das aeronaves de modo geral, em seus diversos formatos. O tipo de avaliação de capacidade dos pilotos para a realização de suas tarefas, realizadas pelos encarregados de manter o conhecimento das novas tecnologias, nas mentes das tripulações e de como estes conhecimentos se traduzem em operação efetiva e continuada na pilotagem e controle das novas aeronaves, deveria ser revista.

5.1. Limitações

O estudo realizado apresentou limitações quanto à população das entrevistas e quantidade de relatórios finais abordados.

A definição da amostra para os entrevistados pode ser considerada um fator limitante, haja vista que não houve aleatoriedade em sua seleção. Vale destacar

também a limitação por parte no tamanho da amostra, tanto para a entrevista quanto para os relatórios finais.

5.2. Recomendações

As recomendações apresentadas neste trabalho estão fundamentadas na pesquisa de literatura e entrevistas feitas para a conclusão deste trabalho e abrange apenas os aspectos ergonômicos cognitivos, entendendo, porém, a extensão e abrangência do assunto, julgando pertinente ante os fatos apresentados.

Os órgãos responsáveis pela atividade aérea internacional, fabricantes de aeronaves e operadores deveriam considerar a criação de um grupo de trabalho para amplo debate sobre os avanços tecnológicos na aviação e seu impacto na segurança operacional com o propósito de:

a. Inserir especialistas em fatores humanos, visando a padronização das informações disponibilizadas aos tripulantes, nas fases de desenvolvimento de aeronaves com alto grau de automação.
b. Formar grupo de estudos capaz de identificar e disseminar dados referentes às dificuldades encontradas pelos pilotos na operação de sistemas complexos e que geram erros principalmente de origem ergonômica cognitiva.
c. Promover estudos e debates com especialistas em processos cognitivos, junto aos operadores, incentivando as empresas de aviação a desenvolverem técnicas melhoradas de treinamento, visando aumentar a segurança operacional.
d. Estreitar as relações entre agências nacionais e internacionais voltadas à investigação de acidentes, desenvolvendo meios para a troca de experiências que possam incentivar a proposta de padronização deste trabalho perante os fabricantes de aeronaves.
e. Conscientizar a comunidade aeronáutica em geral sobre a importância da ergonomia cognitiva como fator contribuinte para uma operação segura.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

7 October 1919. This Day in Aviation. Disponível em: <https://www.thisdayinaviation.com/7-october-1919>. Acesso em: 22 ago. 2018.

Aeroperú 603 – **Final Report**. Disponível em: < https://www.ntsb.gov/safety/safety-recs/recletters/A96_141.pdf>. Acesso em: 19 Set 2018.

Airbus adapta avião para a ponte aérea. Folha de S. Paulo. Disponível em <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2015/06/1641629-airbus-adapta-aviao-para-a-ponte-aerea.shtml>. Acesso em: 22 ago. 2018.

ASIANA 214 – Final Report. Disponível em: <https://www.ntsb.gov/investigations/AccidentReports/Reports/AAR1401.pdf > Acesso em: 15 Set 2018.

CORRÊA, Camile Maria Costa. **Fatores que participam da tomada de decisão em humanos**. 2011. Dissertação de mestrado – Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

Entenda a complexidade do seu cérebro. Folha de S. Paulo. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/folha/publifolha/318086-entenda-a-complexidade-de-seu-cerebro.shtml>. Acesso em: 22 ago. 2018.

Flight Control Laws. Skybrary. Disponível em: <https://www.skybrary.aero/index.php/Flight_Control_Laws>. Acesso em: 22 ago. 2018.

KLM Royal Dutch Airlines. Skyteam. Disponível em: <https://www.skyteam.com/pt-BR/about/KLM-Royal-Dutch-Airlines/>. Acesso em: 22 ago. 2018.

MARTINS, Edgard Thomas. **Ergonomia na aviação: Um estudo crítico da responsabilidade dos pilotos na causalidade dos acidentes**. 2006. Dissertação de mestrado – UFPE.

Meio Ambiente e a Aviação Civil Internacional. ANAC. Disponível em: <http://www.anac.gov.br/A_Anac/internacional/meio-ambiente-e-a-aviacao-civil-internacional/2meio-ambiente-e-a-aviacao-civil-internacional>. Acesso em: 22 ago. 2018.

PAULA, Silvânia Rodrigues de. **Ergonomia cognitiva: percepção de integralidade do trabalhador em aspectos de segurança no trabalho**. 2014. Artigo – Congresso Internacional da Ergonomia Aplicada, Recife, 2014.

Relatório final PR-MBK. Disponível em: < http://www2.anac.gov.br/arquivos/RF3054.pdf>. Acesso em: 15 Set 2018.

SANTOS, Paulo Roberto dos**. Segurança da aviação**. 1. ed. Santa Catarina: UnisulVirtual, 2016.

SILVA, Edson Rosa Gomes da. et. al. **Processamento cognitivo da informação para tomada de decisão**. 2011. Artigo, João Pessoa, 2011.

SILVEIRA, João Luiz Henrique da. **Fatores humanos e aspectos de medicina aeroespacial.** 1. ed. Santa Catarina: UnisulVirtual, 2011.

APÊNDICE A – ROTEIRO DAS ENTREVISTAS

A.1. Identificações pessoais

Nome: Angélica Simone Escabora, dra.
Nacionalidade: brasileira
Função: Gerente de fatores humanos no departamento de DSO

Nome: Comandante A (a fim de manter anonimato)
Nacionalidade: brasileira
Função: Comandante instrutor em aeronaves Boeing 767-300ER, instrutor em simulador de voo nas aeronaves Fokker 100, Airbus A320, Boeing 767, Boeing 777

Nome: Comandante B (a fim de manter anonimato)
Nacionalidade: brasileira
Função: Comandante instrutor em aeronaves Boeing 767-300ER, instrutor em simulador de voo nas aeronaves Airbus A320, A330, Boeing 767, Boeing 777

A.2. Método

A técnica utilizada para coleta de dados foi a entrevista estruturada, no modelo pergunta-resposta. Foi apresentada aos participantes a proposta da pesquisa de modo a obter resultados objetivos e bem definidos relacionados a estrutura deste trabalho.

A entrevista com a dra. Angélica foi realizada em seu local de trabalho no dia 16 de agosto de 2018, tendo como pergunta: *Como o cérebro humano se comporta na tomada de decisão sob estresse e grande carga de trabalho em um cenário novo que interage com padrões já conhecidos?*

A entrevista com os comandantes foi realizada por meio eletrônico, através de e-mail pessoal no dia 3 de outubro de 2018, onde foi apresentada a proposta da pesquisa e feita a pergunta: *Qual a sua percepção como instrutor de voo sobre a*

importância de se estabelecer uma padronização nas informações apresentadas aos pilotos, pelos fabricantes de aeronaves, considerando-se os aspectos cognitivos no projeto das aeronaves?

As respostas estão transcritas no corpo deste trabalho e não foram modificadas de modo a salvaguardar sua autenticidade e conteúdo.