

**Comportamento humano e automação como fatores contribuintes em acidentes: estudo de caso de acidente aéreo em São Paulo, Brasil****Human behavior and automation as a contributing factor in accidents: a case study case study in São Paulo, Brazil**

DOI:10.34117/bjdv5n9-103

Recebimento dos originais: 29/08/2019

Aceitação para publicação: 16/09/2019

**Carlos André Vaz Junior**

Engenheiro de Segurança do Trabalho e Doutor em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos pela Universidade Federal do Rio de Janeiro

Instituição: Escola de Química / Universidade Federal do Rio de Janeiro

Endereço: Sala E-201, Departamento de Engenharia Química, Bloco E, Centro de Tecnologia, UFRJ, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

E-mail: cavazjunior@eq.ufrj.br

**RESUMO**

Fatores humanos são um dos principais fatores contribuintes para acidentes na aviação comercial ao longo de sua história. Buscando tornar o voo mais seguro, diversos sistemas automatizados foram sendo desenvolvidos. Pilotos automáticos com número crescente de recursos, autothrottle, navegação por GPS, sistemas de alerta em caso de aproximação com o solo (GPWS), entre outros. A automação inegavelmente contribuiu para tornar a aviação mais segura, porém, mesmo aeronaves altamente automatizadas sofrem acidentes. Entender as razões por trás de um acidente é o caminho para evitar novos acidentes. O presente artigo discute o acidente do voo TAM 402, ocorrido em 1996 na cidade de São Paulo. Diversos fatores contribuintes estiveram presentes, tais como: falha no sistema de controle do reverso, falha em diferentes sistemas de proteção ligados ao reverso, falhas de treinamento da tripulação, dificuldade dos pilotos em lidar com falhas do autothrottle, e incapacidade para compreender a origem da instabilidade da aeronave e assim garantir o voo seguro. O foco da tripulação no sistema de autothrottle, deixando de compreender que a falha era de abertura do reverso, fez com que seus esforços para recuperar a aeronave se mostrassem inúteis. Compreender o comportamento da tripulação do voo TAM 402 é pertinente ainda hoje, quando dificuldades na relação tripulação x sistemas automatizados continuam presentes em inúmeros acidentes.

**Palavras-Chave:** comportamento humano, automação, segurança na aviação comercial, acidente aéreo

**ABSTRACT**

Human factors are one of the major contributing factors to commercial aviation accidents throughout its history. In order to make the flight safer, several automated systems were being developed. Autopilots with increasing numbers of features, autothrottle, GPS navigation, ground approach warning systems (GPWS), among others. Automation undeniably helped make aviation safer, but even highly automated aircraft crash. Understanding the reasons

behind an accident is the way to avoid further accidents. This article discusses the TAM 402 flight accident, which occurred in 1996 in the city of São Paulo. Several contributing factors were present, such as reverse control system failure, failure of different reverse-linked protection systems, crew training failures, pilots' difficulty in handling autothrottle failures, and inability to understand the origin of the aircraft instability and thus ensure safe flight. The crew's focus on the autothrottle system, failing to realize that the failure was opening the reverse, made their efforts to recover the aircraft to be futile. Understanding TAM 402 flight crew behavior is still pertinent today, when difficulties in the relationship between crew and automated systems remain present in numerous accidents.

**Keywords:** human behavior, automation, commercial aviation safety, air crash

## 1. INTRODUÇÃO

Os acidentes de outubro de 2018 e março de 2019 envolvendo aeronaves Boeing 737 MAX 8 apresentaram ampla repercussão na mídia mundial, provocando debates não apenas sobre a confiabilidade do modelo mas também sobre os rumos da automação. Dentre os diversos fatores contribuintes que estão sendo apontados até o momento estão falhas de automação e no treinamento dos pilotos (GRAVES, S., 2019; LARIS, M., 2019). Os relatórios finais dos dois acidentes ainda não foram publicados (ETHIOPIAN CIVIL AVIATION AUTHORITY, 2019; KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI REPUBLIC OF INDONESIA, 2018), de modo que é preciso cuidado para evitar conclusões apressadas, porém, é certo afirmar que falhas em sistemas automatizados já contribuíram com inúmeros outros acidentes aéreos no passado. Seja a queda de uma aeronave modelo L-1011 em Everglades, na Florida, em 1972, ou o acidente do voo Air France AF447 em 2009, a automação esteve presente na cadeia de eventos destes e de outros inúmeros acidentes (DEHAIS, F., et al., 2015). A própria preocupação da influência da automação na segurança da aviação não é nova, como revela o estudo de Wiener e Curry (1980), entre outros artigos datados da mesma época.

Aprender com o passado é parte fundamental da segurança, buscando permanentemente evitar que os erros se repitam e novas vidas sejam perdidas. O presente artigo possui como objetivo lembrar o acidente do voo TAM 402, ocorrido no Brasil em outubro de 1996. Uma aeronave modelo Fokker 100, semelhante a exibida na Figura 1, com 89 passageiros e 6 tripulantes, colidiu contra o solo logo após decolar da capital do estado de São Paulo, na região sudeste do Brasil. Todos a bordo morreram na queda, assim como 4 vítimas fatais no solo. Mais de 20 anos depois, estudar este evento ainda mostra-se útil, uma vez que alguns dos fatores contribuintes ainda podem estar presentes nos dias atuais.



Figura 1: Modelo Fokker 100 empregado pela TAM na época do acidente. (Fonte: Pedro Aragão)

O presente artigo não tem como objetivo apontar culpados ou causas para acidentes passados ou atuais. Todo o texto está fortemente baseado no relatório oficial da investigação do acidente do voo TAM 402, emitido pelo CENIPA (1997), órgão oficial do governo federal brasileiro responsável pelas investigações de acidentes aéreos. Prevenir acidentes é o objetivo único deste texto e da própria investigação.

## **2. CONTEXTO GERAL DO ACIDENTE**

Na manhã do dia 31 de outubro de 1996 a aeronave modelo Fokker 100, prefixo PT-MRK, iniciou sua decolagem da pista 17R do Aeroporto de Congonhas (SBSP), localizado na região central da cidade de São Paulo. O voo TAM 402 era um dos muitos que ligavam as duas maiores cidades do Brasil, decolando de São Paulo com destino ao Rio de Janeiro. As duas cidades localizam-se na região sudeste do Brasil, afastadas por apenas 358 quilômetros. Esta pequena distância faz com que o voo seja extremamente rápido, durando aproximadamente 45 minutos. A rapidez, a grande oferta de voos ao longo do dia, mais de 40 em cada sentido diariamente, e o emprego de aeroportos centrais, torna possível ao passageiro ir e voltar no mesmo dia. A rota São Paulo / Rio de Janeiro foi pensada para ser prática, voltada especialmente para o turismo de negócios. Para isso, além da enorme oferta de voos diários, é preciso operar em aeroportos centrais. O Rio de Janeiro conta com o Aeroporto Santos Dumont (SBRJ), enquanto São Paulo dispõe do Aeroporto de Congonhas (SBSP), ambos extremamente centrais. Atualmente, o modelo Fokker 100 não é mais empregado em linhas aéreas regulares no Brasil. No momento as empresas que operam a rota Rio / São Paulo utilizam principalmente aeronaves Boeing 737-800 e Airbus A319 ou A320.

No caso do voo TAM 402 de 31 de outubro de 1996, imediatamente após sair do solo, o Fokker 100 apresentou forte inclinação para a direita. Durante poucos segundos os pilotos lutaram para corrigir a atitude da aeronave e ganhar altura, porém sem êxito. A aeronave acabou por colidir contra edificações residenciais localizadas na Rua Luis Orsini de Castro, em bairro vizinho ao aeroporto (Figura 2).



Figura 2: Local da Queda da Aeronave em Relação ao Aeroporto (Fonte: Google Maps)

### 3. DETALHAMENTO DO ACIDENTE

O relatório do CENIPA (1997) detalha uma sequência de eventos que teria sido responsável por este acidente. O gravador de voz da cabine (CVR ou cockpit voice recorder) registrou os últimos 35 minutos anteriores ao acidente, começando quando a aeronave se aproximava para pouso no Aeroporto de Congonhas (SBSP), terminando o voo anterior. Nenhuma anormalidade foi reportada durante o voo anterior, de modo que os pilotos do voo

TAM 402 iniciaram normalmente seus procedimentos para a partida. O voo anterior chegou no horário previsto, permitindo que houvesse tempo adequado para a preparação da aeronave para o voo seguinte.

Devido ao elevado volume de tráfego no Aeroporto de Congonhas naquele início de manhã, o voo TAM 402 ficou, entre 08h18 e 08h25 (horário local), aguardando autorização para ingressar na pista 17R e decolar. Somente às 08h25:54 o Fokker 100 foi autorizado a decolar, com vento informado de 060 graus com velocidade de 6 nós. Às 08h26:00 o copiloto transmitiu no rádio, na frequência da Torre de Controle do Aeroporto de Congonhas, “iniciando”. A decolagem foi iniciada normalmente. Apenas 4 segundos depois (08h26:04) soou o aviso sonoro informando falha em um dos canais do autothrottle, e seu consequente desarme. O autothrottle é um recurso que aumenta e diminui a potência dos motores de forma automática, movendo as manetes de potência para a posição adequada. Embora útil, sua falha não impede o voo seguro, sendo possível que a tripulação regule as manetes manualmente. Assim, tal anormalidade não requeria qualquer ação corretiva por parte da tripulação, e nem impedia a continuidade da decolagem. O comandante reconheceu a pane (“o autothrottle tá fora”). Seis segundos após (08h26:10) soou um duplo beep, e 5 segundos depois (08h26:15) o comandante repetiu: “o autothrottle tá fora”. Na sequência o copiloto informou “Thrust check” (08h26:20), confirmando que a potência requerida para decolagem estava corretamente ajustada.

Às 08h26s32 o copiloto informou “V1”, e depois segundos depois (08h26s34) “Rotate”, ou seja, havia atingido a velocidade ideal para que a subida fosse iniciada. Neste momento é possível ouvir um ruído no CVR, porém os investigadores do CENIPA não conseguiram identificar sua origem (CENIPA, 1997). O fato é que, neste mesmo instante, o motor 2, localizado a direita, começou a perder potência. A aeronave inclinou-se para a direita (11°) e sua proa deslocou-se na mesma direção. Este é um comportamento típico para perda de potência de motor. A diferença de potência entre os dois motores gera assimetria. Inicialmente, os pilotos conseguiram reduzir a inclinação para valores entre 5° e 8°, controlando a situação.

Às 08h26:40 o CVR registra a fala do copiloto: “travou”. Os investigadores acreditam que o tripulante estivesse tentando deslocar a manete do motor 2 da posição idle (ou marcha lenta) para a posição de decolagem novamente. Logo na sequência (08h26:41) a manete 2 parece ter destravado, permitindo que um dos tripulantes levasse a mesma totalmente para frente. Neste deslocamento a manete do motor 1 também foi deslocada totalmente para frente. Porém, aproximadamente 1 segundo depois, ambas as manetes deslocam-se para trás. Esse

comportamento das manetes obrigou os tripulantes a agirem rápido. O piloto atuou nos pedais e no manche, e solicitou para o colega da direita: “Desliga lá em cima, autothrottle, puxa aqui” (08h26s44). Às 08h26s45 os motores são acelerados novamente, com a manete do motor 1 indo para 42° e a do motor 2 para 39°, nenhuma das duas atingindo a potência de decolagem prevista. Logo após a manete do motor 2 é novamente recuada, de forma brusca, para a posição idle, e permanece nessa posição por quase 2 segundos.

Às 08h26s47 a velocidade cai perigosamente para 126 nós, menor que a V2 prevista. V2 é a velocidade de segurança, sendo 20% acima da velocidade mínima para manter sustentação (velocidade de stall). Pedal e manche continuam sendo usados para corrigir o comportamento da aeronave. Às 08h26s48 o copiloto informa “tá fora”. Os investigadores do CENIPA acreditam que ele estava se referindo ao sistema de autothrottle. Um segundo após (08h26s49) a manete do motor 2 é levada rapidamente ao seu ponto máximo (45°), juntamente com a do motor 1. Essa posição foi mantida até a colisão contra o solo.

Às 08h26s51 é ouvida uma pancada no CVR, mas cuja origem não foi definida pela equipe de investigação. Mesmo com ambas as manetes totalmente à frente, o Fokker 100 mantinha seu comportamento irregular, com forte tendência de rolar para a direita. Isso levou o comandante a insistir mais uma vez: “desliga lá em cima, aqui também” (08h26s52). Os investigadores acreditam que ele estava tão ocupado no controle do manche que era impossível utilizar sua própria mão para desligar os sistemas (CENIPA, 1997).

Às 08h26s53 o ângulo de ataque (pitch angle) já estava em 12,7°, e a velocidade começou a cair. Dois segundos depois, o stick shaker (aviso de estol) foi automaticamente acionado pelos sistemas de proteção da aeronave, permanecendo ativo até a colisão.

Mesmo atuando fortemente sobre o manche e os pedais, o piloto já não conseguia estabilizar a aeronave. A partir de 08h26s57 o Fokker gira de forma cada vez mais intensa, com inclinação para a direita de até 87° (08h26s59). A proximidade com o solo dispara o alarme do GPWS (“Don’t sink”). Sem controle, a aeronave colide com edificações residenciais às 08h27s01.

#### **4. A INVESTIGAÇÃO**

Durante os poucos segundos de voo, os pilotos agiram com todo o seu conhecimento, experiência e dedicação na busca pela solução do problema que, para eles, estava acontecendo: falha do autothrottle. Infelizmente, suas ações não foram suficientes para salvar o voo TAM 402 na manhã de 31 de outubro de 1996.

Enquanto a descrição dos eventos ocorridos na cabine permite compreender as ações da tripulação, por outro lado não fica claro o motivo pelo qual foi impossível estabilizar a aeronave e continuar a subida. Com ambos os motores em potência máxima nos segundos finais do voo, não havia razão aparente para a acentuação do comportamento anormal.

Em virtude do desvio para a direita logo após a decolagem, a primeira suspeita da equipe de investigadores recaiu sobre uma possível falha no motor 2 (CENIPA, 1997). Analisando os destroços dos motores foi possível constatar que ambos estavam operando e desenvolvendo potência até o momento da colisão (CENIPA, 1997).

Uma testemunha-chave então colaborou de modo decisivo para o rumo das investigações: um mecânico da companhia operadora do Fokker 100. Ele teria visto e ouvido o reverso do motor 2 abrir e fechar algumas vezes enquanto a aeronave estava no ar.

O sistema de reverso dos motores do Fokker 100 é bastante visível da parte externa da aeronave, sendo sua ação facilmente identificada por um especialista. A Figura 3 (a) ilustra o sistema de reverso com as conchas retraídas ou fechadas (stow), ou seja, sem estar exercendo qualquer influência no voo. A Figura 3 (b) apresenta o sistema em operação, com as conchas estendidas ou abertas (deploy) e o reverso atuando. Na imagem (b) é possível perceber as conchas formando uma barreira física na retaguarda do motor, deslocando o fluxo de ar. Este deslocamento de ar promove uma enorme desaceleração da aeronave e, assim, colabora com os sistemas de freio, permitindo parar o deslocamento no solo mais rapidamente. O sistema de reverso evita ainda um maior desgaste das peças que compõem o sistema de freio, reduzindo o esforço sobre este (SIDDIQUI e HAQ, 2013).

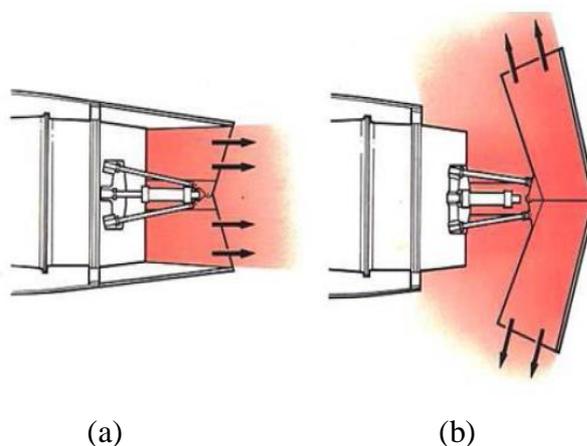


Figura 3: Ilustração do sistema de reverso empregado no Fokker 100. (a) Conchas retraídas ou fechadas (stow). (b) Conchas estendidas ou abertas (deploy). (Fonte: SIDDIQUI e HAQ, 2013)

O relatório do CENIPA não destaca este ponto, mas o fato da decolagem ter ocorrido a partir da pista 17R, e da anomalia ocorrer no motor 2, permitiram que o mecânico visualizasse o problema a partir do pátio de manobras ou dos hangares de manutenção da companhia, conforme mostra a Figura 4.



Figura 4: Posição do terminal de passageiros e dos hangares de manutenção em relação à pista 17R do Aeroporto de Congonhas (SBSP) (Fonte: adaptado de Google Maps)

Embora o reverso seja um recurso útil para desaceleração no solo logo após o pouso, seu acionamento em outras fases do voo pode ser catastrófico, criando elevada assimetria entre os motores. Tal falha se torna especialmente crítica quando acontece a baixa altura. Sabendo que o reverso não pode ser acionado durante o voo, os fabricantes desenvolvem mecanismos que garantam que este cenário não ocorra. No caso do Fokker 100 existiam recursos eletrônicos e mecânicos para evitar ou reduzir as consequências deste tipo de falha. Switchs e travas elétricas controlavam a abertura do reverso (CENIPA, 1997). Durante as investigações, e com a colaboração da Fokker, ficou clara a presença de pelo menos duas falhas neste sistema. Falhas estas que, se ocorressem simultaneamente, resultariam na abertura indevida do reverso (CENIPA, 1997).

O relatório do CENIPA (1997) revela que o sistema inicialmente projetado havia passado por modificação por parte do fabricante. Essas alterações, porém, teriam, inadvertidamente, elevado a chance de ocorrência de falha. A norma FAR 25.1309 determina que uma falha grave, que impossibilita o voo seguro, deve ter frequência na ordem de  $10^{-9}$ , ou “extremamente

improvável". No projeto original a Fokker demonstrou que a frequência para o evento era de  $10^{-11}$ , contudo, após as modificações, este número teria aumentado para  $10^{-6}$  (CENIPA, 1997).

Além do controle eletrônico, no Fokker 100 existe um sistema físico que impede que as manetes de potência estejam avançadas quando o reverso encontra-se aberto. Este sistema é obrigatório em todas as aeronaves, podendo ser realizado através de lógica eletrônica ou por algum dispositivo físico, como no caso do Fokker 100. Neste caso o dispositivo era um cabo de ligação das manetes com as conchas do reverso (feed back cable). Quando as conchas abriam o cabo automaticamente puxava as manetes para idle (CENIPA, 1997). A partir da informação do mecânico que testemunhou a decolagem, e sabendo da existência deste recurso, é possível começar a entender o comportamento da manete do motor 2 durante a decolagem, recuando para a posição idle seguidamente.

Os investigadores do CENIPA dedicaram maior atenção ao funcionamento deste sistema de proteção. Foi verificado um ângulo máximo de abertura das conchas igual a  $62^\circ$  (full deploy). Ou seja, este era o grau que as conchas formavam quando o reverso estava totalmente acionado. Os investigadores verificaram também que, com as manetes posicionadas totalmente a frente (posição de máxima potência) e o acionamento indevido do reverso com a abertura das conchas comandada por falha elétrica, o sistema de cabo somente começava a puxar as manetes quando o ângulo das conchas já atingia  $24^\circ$ . Por outro lado, quando as conchas estão fechando, as manetes eram liberadas quando o ângulo das conchas atingia  $21^\circ$  ou menos. Ou seja, o sistema instalado no Fokker 100 permitia aplicar algum nível de potência nos motores mesmo com o reverso parcialmente aberto, o que não atendia as normas vigentes (CENIPA, 1997).

As não conformidades mencionadas, tanto em termos da taxa de falha para os dispositivos eletrônicos, quanto à possibilidade de acionamento parcial do reverso com os motores fornecendo potência, não eram suficientes para explicar o acidente (CENIPA, 1997). Como as manetes podem ter sido levadas até aceleração máxima e mesmo assim a aeronave permaneceu fora de controle? Na verdade, quanto maior a potência aplicada pela tripulação deste voo, maior a assimetria observada. Este comportamento só seria possível caso o reverso tivesse permanecido aberto mesmo com o motor empregando potência máxima, o que deveria ser impedido pelo cabo (CENIPA, 1997).

Diante desta hipótese, os investigadores focaram no cabo de segurança. Analisando os destroços concluíram que o mesmo havia se desconectado ainda durante o voo, ou seja, antes da colisão contra o terreno (CENIPA, 1997). Entre um ciclo de abertura das conchas e outro,

a manete teria sido levada para frente e mantida nesta posição com força suficiente para desconectar o cabo. A partir deste momento, potência máxima poderia ser aplicada ao motor 2, mesmo com o reverso totalmente aberto. Acelerar o motor, ao invés de estabilizar a aeronave, agravou a situação, tornando o voo impossível. A desconexão do cabo explica também porque a manete parou de se movimentar de forma espúria nos segundos finais do voo (CENIPA, 1997).

Contudo, falta entender a razão pela qual o reverso permaneceu aberto até a colisão, enquanto antes alternava em poucos segundos de aberto para fechado. Testes realizados pela Fokker revelaram que, com o motor em potência máxima, e as conchas totalmente abertas (full deploy), o sistema de movimentação das conchas não possuía força suficiente para fecha-las. Isso explica porque o reverso teria permanecido aberto mesmo que falhas elétricas continuassem existindo e comandando o seu fechamento (CENIPA, 1997).

Para os investigadores do CENIPA, a separação do cabo se tornou possível graças a uma série de fatores. Em razão do comportamento prévio da manete, um dos pilotos teria segurado a mesma na posição totalmente para frente. Quando um novo ciclo foi iniciado, graças à folga existente, as conchas começaram a abrir mesmo com a manete avançada. Finalmente, a força de um dos pilotos, com o braço esticado e o corpo pressionando contra o encosto da cadeira, mais o efeito alavanca gerado pelo tamanho da manete, teria sido suficiente para provocar a desconexão (CENIPA, 1997). Os requisitos de projeto consideravam a concha aberta e o piloto exercendo esforço para levar a manete a frente. Porém, não consideravam o piloto tentando resistir ao recuo das manetes enquanto as conchas se abrem (CENIPA, 1997).

Aplicar potência máxima nos motores enquanto um dos reversos encontra-se completamente aberto instabiliza a aeronave a ponto de tornar sua recuperação muito difícil, especialmente na fase inicial de subida, com pequeno afastamento em relação ao solo.

Além deste ponto, outro fator contribuinte para o acidente foi o trem de pouso não ter sido recolhido (CENIPA, 1997). Os investigadores acreditam que a falha ter surgido nos primeiros segundos de voo tenha contribuído para o não recolhimento do trem de pouso (CENIPA, 1997). Diante do comportamento anormal da aeronave, a carga de trabalho na cabine cresceu rapidamente, e todo o foco foi deslocado para entender e corrigir o problema. A sequência natural de ações a serem tomadas durante a decolagem foi interrompida. Embora não se possa afirmar que o recolhimento do trem de pouso seria suficiente para evitar o acidente, o fato é que ao não fazê-lo a performance da aeronave ficou ainda mais prejudicada (CENIPA, 1997).

O outro ponto a ser destacado é a redução da potência dos dois motores às 8h26:42. O relatório do CENIPA (1997) informa que, neste momento, ambas as manetes foram recuadas – a do motor 1 até o meio do curso, e a do motor 2 até idle. O cabo do reverso do motor 2 não poderia agir sobre o motor 1. Como é possível explicar este comportamento sem considerar uma falha do auto-trottle? Para os investigadores (CENIPA, 1997) a explicação é bastante simples: no momento anterior, quando um dos pilotos precisou levar a manete do motor 2 para frente, inclusive tendo deslocado também para frente a manete do motor 1, este tripulante teria permanecido com a mão sobre ambas as manetes. Quando, instantes depois, a manete 2 foi forçada para trás pelo cabo do reverso, a própria mão do tripulante teria trazido a outra manete. Percebendo a situação, o tripulante teria soltado as alavancas. A manete do motor 1 teria parado nesta posição, enquanto a manete do motor 2, que estava sendo puxada pelo cabo, seguiu seu rumo até a posição de idle (CENIPA, 1997).

Finalmente, os investigadores do CENIPA verificaram que os registros obtidos do gravador de dados (SSFDR ou Solid State Flight Data Recorder) apontam que o reverso do motor 2 permaneceu em transito desde o pouso anterior. Embora este status estivesse sendo registrado no gravador de dados, a informação não estava disponível para a tripulação através dos instrumentos da cabine. Deste modo, os tripulantes consideravam que não havia qualquer anomalia (CENIPA, 1997). Destaca-se ainda que essa falha não era visível do exterior da aeronave, ou seja, não poderia ser detectada durante a vistoria no solo (walk-around).

Concluído que a abertura do reverso do motor 2 foi importante fator contribuinte para o acidente do voo TAM 402, resta avaliar o motivo pelo qual a tripulação foi, aparentemente, incapaz de compreender o problema em tempo hábil. Embora se trate de um dos problemas mais graves e de difícil solução que um piloto pode encontrar, a abertura do reverso logo nos primeiros momentos do voo pode ser contornada caso ações adequadas sejam imediatamente adotadas. O motivo pelo qual isso não aconteceu é função de algumas características do comportamento humano, foco do item seguinte.

## **5. COMPORTAMENTO HUMANO**

Este item discute as dificuldades e possíveis explicações para a tripulação responsável pelo voo TAM 402 nunca ter compreendido o tipo de falha que realmente estava enfrentando, e assim tomar ações corretivas eficazes.

De acordo com o relatório emitido pelo CENIPA, o piloto possuía 6433 horas de voo, das quais 2392 efetuadas em Fokker 100. Nos últimos 30 dias, o comandante havia voado 60

horas, todas neste tipo de equipamento. Era também instrutor de Fokker 100 na companhia aérea. O copiloto possuía 3000 horas de voo no total, sendo 230 no Fokker 100. Havia voado 75 horas nos últimos 30 dias, todas neste tipo de aeronave. Embora habilitado, o copiloto possuía experiência reduzida em Fokker 100, como destaca o relatório (CENIPA, 1997).

Os investigadores do CENIPA destacam uma série de eventos que teriam dificultado, ou mesmo impedido, que a tripulação identificasse, rapidamente a origem do problema com a aeronave (CENIPA, 1997):

- a) Durante a decolagem, ainda no solo, foram registrados dois alertas quanto à falha do autothrottle.
- b) Imediatamente após iniciar a subida houve um rápido recuo da manete do motor direito. O pequeno intervalo de tempo entre os alertas de falha da autothrottle, ainda no solo, e o comportamento da manete, logo no primeiro segundo de voo, fez com que a tripulação acreditasse que o comportamento da manete estava relacionado a falha do autothrottle. O copiloto informou que a manete estava travada, e logo depois um dos tripulantes, provavelmente ele mesmo, conseguiu desloca-la para frente. Porém, o problema se repetiu poucos segundos depois, agora com as duas manetes se deslocando simultaneamente. O deslocamento simultâneo das manetes era típico de falha do autothrottle, e não do acionamento indevido do reverso de um dos motores.
- c) Alertas visuais e sonoros, esperados em caso de abertura indevida do reverso, não estavam presentes.
- d) O copiloto tinha pouca experiência em Fokker 100, e este era o primeiro modelo de aeronave automatizada que pilotava. Assim, também não estava habituado com o autothrottle. Sarter et al (1997) e Funk et al (1999) discutem as dificuldades e desafios enfrentados pelos tripulantes nos primeiros momentos em que a automação na aviação comercial ganhou força. Escritos na época do acidente, estes trabalhos ajudam na contextualização do cenário vivido pela aviação comercial no momento do acidente do voo TAM 402.
- e) O comandante estava responsável pelo manche e pedais, e deste modo, lidava com elevada carga de trabalho para manter a aeronave voando em um cenário de assimetria de potência. Seu foco no entendimento da falha em andamento era parcial, já que sua prioridade era manter a aeronave voando. O copiloto poderia focar mais na falha em si, mas tinha pouca experiência com o autothrottle e suas anomalias. Discussão sobre o comportamento humano durante elevadas cargas de trabalho, e como isto afeta na

percepção de estímulos externos, pode ser encontrada no relatório da ALPA (Air Line Pilots Association) sobre o acidente de Tenerife em 1977 (relatório disponível em: <http://www.project-tenerife.com/engels/PDF/alpa.pdf>). Weick (1990), McCreary et al (1998) e Vaz Junior (2018) também discutem os fatores humanos presentes no acidente de Tenerife.

- f) Ausência de treinamento em simulador para abertura do reverso durante a decolagem.
- g) O caráter cíclico da falha, especialmente travando e destravando a manete, também dificultou a identificação do problema.
- h) A falha revelou-se imediatamente após o início da subida. A enorme proximidade com o terreno e a carga de trabalho são fatores que devem ser considerados.

Por outro lado, duas características poderiam ter permitido a tripulação identificar a real causa do problema:

- a) A manete ficou travada por alguns instantes, e, em outros momentos, exercia enorme pressão durante o deslocamento. Falhas no autothrottle não impediriam que a tripulação movesse as manetes. O sistema de autothrottle é projetado para permitir que a tripulação supere facilmente suas ações (CENIPA, 1997). O travamento das manetes é um comportamento típico de abertura indevida do reverso.
- b) O autothrottle não causaria um movimento tão rápido na manete como aquele observado neste acidente. O sistema de cabo de ligação do reverso com a manete faz com que esta se mova oito vezes mais rápido do que o alcançado através do autothrottle (CENIPA, 1997).

Reconhecer esses pontos em um cenário real, onde a falha começa a se manifestar com a aeronave localizada a poucos metros do solo, especialmente quando ocorre na sequência de dois alertas sobre falhas no *autothrottle*, é extremamente difícil. Na prática, o reconhecimento rápido deste problema por parte da tripulação demandaria um enorme volume de treinamento teórico e em simulador. O simulador permitiria que os pilotos pudessem vivenciar este tipo de anomalia várias vezes ao longo de sua formação. Contudo, o fabricante da aeronave considerou que este tipo de falha não ocorreria durante a decolagem, não sendo, portanto, necessário treinar os pilotos. Sem treinamento adequado, o reconhecimento do problema torna-se praticamente impossível.

Reconhecer a abertura indevida do reverso se tornou ainda mais desafiador pois os alarmes não atuaram. Mas por que isto ocorreu? O relatório do CENIPA (1997) não é claro neste ponto. Uma das razões apontadas é que este sistema encontrava-se inibido durante a fase de decolagem a partir da velocidade de 80 nós e até 1000 pés de altura. Os investigadores discutem ainda que um componente eletrônico em falha poderia também ser o motivo pelo qual o alarme não foi acionado (CENIPA, 1997).

Independente do motivo, a ausência do alarme de abertura indevida do reverso pode ter sido mais um fator que influenciou os pilotos, dificultando no correto diagnóstico da falha.

Ressalta-se que a não compreensão por parte dos tripulantes da real razão do comportamento das manetes e da própria aeronave não é algo inédito em acidentes da aviação comercial. Desde a década de 1960, quando as aeronaves começaram a apresentar sistemas automatizados, pilotos e automação frequentemente entram em conflito. O acidente do voo American Airlines AA965 em Cali, na Colômbia, em 1995 (AERONAUTICA CIVIL OF THE REPUBLIC OF COLOMBIA, 1996) assim como a queda do voo Air France AF447 em 2009 (BEA, 2012), também possuem, dentre seus fatores contribuintes, dificuldades da tripulação na operação de sistemas automatizados. A confusão, ou surpresa, dos pilotos diante de um comportamento inesperado por parte da aeronave é denominada por alguns autores como "automation surprise" (DEHAIS et al, 2015, PALMER, 1995; SARTER, et al, 1997)

Os investigadores discutem ainda a decisão de um dos pilotos de empurrar a manete para frente logo que a falha ocorreu. Embora, em uma primeira análise, corrigir a posição da manete, tentando retorna-la para a posição original (potência de decolagem) pareça fazer sentido, os investigadores entenderam de outro modo.

Nas conclusões do relatório os investigadores declaram (CENIPA, 1997): "X. Doutrinariamente, qualquer ação de uma tripulação, frente a qualquer anormalidade, no ambiente da cabine de comandos de voo, abaixo de 400 ft, é não recomendável." Justifica-se, no item seguinte, esta afirmativa (CENIPA, 1997): "Y. Estatisticamente, as tomadas de decisão abaixo dessa altura, via de regra, agravam as circunstâncias da situação de perigo, aumentando o risco".

Por outro lado, os investigadores também entendem o contexto real que a tripulação se encontrava naquela manhã, e o clima no qual as decisões foram tomadas (CENIPA, 1997): "Z. A pane foi inusitada e não prevista nos procedimentos de emergência, ocorrendo na fase mais crítica de performance de voo (...) e mais, submetida a interpretações induzidas, corroborada pelas informações anteriores, agravada pelos avisos sonoros e luminosos, e ainda, pela

intermitência do travamento/destravamento da manete do motor direito – ciclagem do reversor”.

É possível concluir que a ação premeditada de atuar na manete dificultou, ainda mais, a identificação da falha. E que a insistência em reposicionar a manete nos segundos seguintes, usando a forma necessária, acabou por agravar a situação. Contudo, é também lógico que a falha tenha sido erroneamente identificada como problema no auto-throttle, em virtude do contexto no qual estava inserida.

Finalmente, o fato é que, uma vez desconectado o cabo do reverso, já nos segundos finais do voo, não era mais possível identificar o problema real. A partir deste instante, com o reverso aberto e motores em potência máxima, o acidente tornou-se inevitável.

## **6. CONCLUSÃO**

O acidente do voo TAM 402 ocorreu em outubro de 1996, porém, mais de duas décadas após, a avaliação de diversos fatores contribuintes permanece atual. A falha de projeto é apenas o primeiro elo de ligação. A construção de qualquer aeronave é um projeto complexo e desafiador. Por melhor capacitados que sejam os profissionais envolvidos na atividade, por mais competentes que sejam as empresas, e por mais rigorosas que sejam as normas em vigor, falhas sempre podem estar presentes. E, em alguns casos, tais falhas somente são detectadas quando a aeronave já está em operação comercial.

Outro ponto que ainda hoje desperta interesse é a relação da tripulação com o automatismo crescente do setor. Embora muitos hoje considerem ser este um tema novo, na verdade os benefícios e problemas do automatismo já são objetos de estudos a muitas décadas (WIENER, E.L., e CURRY, R.E., 1980).

Para os padrões atuais, o Fokker 100 não seria considerada uma aeronave “altamente automatizada”, mas para a época era algo novo. Merece destaque o trecho do relatório do CENIPA (1997) que informa que esse era o primeiro modelo de aeronave dotado de autothrottle comandado pelo copiloto em sua carreira. Embora se trate de uma ferramenta projetada para reduzir a carga de trabalho no cockpit, o fato é que seu comportamento, normal e em falha, precisa ser conhecido. Em um cenário real, onde a falha aconteceu no momento mais crítico do voo, decisões são tomadas em frações de segundo. E decisões corretas são críticas para quebrar a cadeia de eventos que, de outro modo, culminaria no acidente. Porém, como esperar decisões rápidas e corretas quando o tratamento é inadequado? Vale questionar se os modelos de aeronaves usados nas escolas de aviação preparam adequadamente os futuros pilotos para o grau de automatismo no qual serão inseridos ao longo de sua vida profissional,

seja na aviação geral ou comercial. Enquanto treinar os princípios básicos do voo continua sendo fundamental, expor o aluno a aeronaves fortemente automatizadas talvez seja uma necessidade.

Ressalta-se o uso de simuladores e, especificamente, a decisão de não treinar os pilotos para cenários de falha no reverso durante a decolagem. Simuladores são recursos úteis, que permitem familiarizar atuais e futuros pilotos com diversas situações que encontrarão ao longo da carreira. É a oportunidade de treinar e retreinar diferentes falhas e combinações de falhas com total segurança e baixo custo. A decisão sobre o que treinar deve ser realizada de forma extremamente crítica.

Finalmente, se por um lado a automação veio para reduzir a carga de trabalho no cockpit, permitindo que tripulantes se dediquem aquilo que realmente importa e busquem tornar o voo uma atividade cada vez mais segura, por outro lado é preciso manter a consciência operacional. O piloto precisa voar a frente de sua aeronave, e nunca se tornar passivo diante de decisões tomadas por algoritmos os quais não entende. A automação, em muitos aspectos, não apenas eleva a carga de treinamento e de trabalho, mas também a modifica.

## REFERÊNCIAS

AERONAUTICA CIVIL of THE REPUBLIC OF COLOMBIA. Aircraft Accident Report, American Airlines Flight 965, Boeing 757-223, N651AA, December 20, 1995 (1996)

BEA. Final Report, Airbus A330-203

registered F-GZCP, operated by Air France, flight AF 447 Rio de Janeiro - Paris, On the accident on 1st June 2009. (2012)

Disponível em:

<http://www.bea.aero/en/investigation-reports/notified-events/detail/event/accident-de-lairbus-a330-203-immatricule-f-gzcp-et-exploite-par-air-france-survenu-le-01062009-da/> , acessado em 14 de agosto de 2019

CENIPA. Relatório Final, Aeronave Matrícula PT-MRK, 31 de outubro de 1996 (1997)

Dehais, F., Peysakhovich, V., Scannella, S., Fongue, J., Gateau, T. "Automation Surprise" in Aviation: Real-Time Solutions. *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems CHI 2015* (2015)

Ethiopian Civil Aviation Authority. Aircraft Accident Investigation Preliminary Report, Ethiopian Airlines Group, B737-8 (MAX), Registered ET-AVJ, March 10, 2019 (2019)

Disponível em:

[http://www.ecaa.gov.et/documents/20435/0/Preliminary+Report+B737-800MAX+\(ET-AVJ\).pdf](http://www.ecaa.gov.et/documents/20435/0/Preliminary+Report+B737-800MAX+(ET-AVJ).pdf) , acessado em 14 de agosto de 2019

Funk, K., Lyall, B., Wilson, J., Vint, R., Niemczyk, M., Suroteguh, C., Owen, G. Flight Deck Automation Issues. *The International Journal of Aviation Psychology*, 9(2) (1999), 109-123

Graves, S. In Recent Airline Crash Investigations, the Goal Must Be Safety, Not Scapegoating. June 21, 2019

Disponível em:

[https://republicans-](https://republicans-transportation.house.gov/news/documentsingle.aspx?DocumentID=404313)

[transportation.house.gov/news/documentsingle.aspx?DocumentID=404313](https://republicans-transportation.house.gov/news/documentsingle.aspx?DocumentID=404313)

acessado em 14 de agosto de 2019

Komite Nasional Keselamatan Transportasi Republic of Indonesia, PRELIMINARY KNKT.18.10.35.04 / Aircraft Accident Investigation Report / PT. Lion Mentari Airlines Boeing 737-8 (MAX); PK-LQP Tanjung Karawang, West Java Republic of Indonesia 29 October 2018 (2018)

Disponível em:

[http://knkt.dephub.go.id/knkt/ntsc\\_aviation/baru/pre/2018/2018%20-%20035%20-%20PK-LQP%20Preliminary%20Report.pdf](http://knkt.dephub.go.id/knkt/ntsc_aviation/baru/pre/2018/2018%20-%20035%20-%20PK-LQP%20Preliminary%20Report.pdf), acessado em 30 de agosto de 2019

Sarter, N.B., Woods, D.D., Billings, C.E. Automation Surprises. *Handbook of Human Factors & Ergonomics*, 2 ed. (1997)

Siddiqui, M.A., Haq, M.S. Review of Thrust Reverser Mechanism used in Turbofan Jet Engine Aircraft. *International Journal of Engineering Research and Technology* Vol 6 No 5 (2013)

Laris, M., Head of pilots union points to training and engineering mistakes with Boeing 737 Max. *The Washington Post*, June 18, 2019

Disponível em:

[https://www.washingtonpost.com/local/trafficandcommuting/head-of-pilots-union-points-to-training-and-engineering-mistakes-with-737-max/2019/06/17/4bbc9abc-9156-11e9-b570-6416efdc0803\\_story.html](https://www.washingtonpost.com/local/trafficandcommuting/head-of-pilots-union-points-to-training-and-engineering-mistakes-with-737-max/2019/06/17/4bbc9abc-9156-11e9-b570-6416efdc0803_story.html) acessado em 22 de agosto de 2019

McCreary, J., Pollard, M., Stevenson, K., Wilson, M.B. Human Factors: Tenerife Revisited. *Journal of Air Transportation World Wide* Vol 3 No 1 (1998)

Palmer, E. "Oops, it didn't arm" - A Case Study of Two Automation Surprises. *1995 Aviation Psychology Meeting*, Ohio (1995)

Vaz Junior, C.A. Remembering Tenerife: 40 Years Later. *SF Journal of Aviation and Aeronautical Science* Vol 1, Ed. 2, Article 1012 (2018)

Weick, K.E. The Vulnerable System: An Analysis of the Tenerife Air Disaster. *Journal of Management* Vol 16, No 3 (1990)

Wiener, E.L., Curry, R.E. Flight-Deck Automation: Promises and Problems. *NASA Technical Memorandum 81206* (1980)