

FATORES HUMANOS NO DESIGN DE CABINES DE COMANDO

Éder Henriqson ¹

Guido Cesar Júnior Carim ²

Ronaldo Wajnberg Gamermann ³

Artigo submetido em 03/12/2010.

Aceito para publicação em 29/03/2011.

RESUMO: O estudo do sistema homem-máquina na aviação tem demandado um duplo esforço de acadêmicos e práticos: na compreensão das demandas dos pilotos na realização do trabalho; e compreensão das novas demandas e modificações da natureza do trabalho, consequentes das restrições impostas pelo distanciamento do operador da condução direta do sistema. Neste sentido, este artigo busca mostrar como o fator humano está inserido no projeto de cabines de comando por meio da análise dos seguintes aspectos: as características do operador; a escolha dos símbolos; a localização dos instrumentos no painel; a adoção de displays dinâmicos; a integração pictórica; e os dispositivos de informação aurais e táteis.

PALAVRAS-CHAVE: Aviação. Ergonomia. Fatores Humanos.

¹ Piloto Comercial de Avião e Agente de Segurança de Voo. Graduação em Ciências Aeronáuticas (2000) com ênfase em Piloto de Linha Aérea de Avião, Mestrado em Administração e Negócios pela PUCRS (2005) e cursa o Doutorado em Engenharia de Produção e Transportes da UFRGS, linha de pesquisa Ergonomia de Gestão de Segurança. É Professor Assistente da Faculdade de Ciências Aeronáuticas da PUCRS e Coordenador de Cursos Lato Sensu. É Líder do Grupo de Pesquisas em Ciências Aeronáuticas e Coordenador do Laboratório de Fatores Humanos e Sistemas Complexos do Centro de Microgravidade da PUCRS. Atua também como Pesquisador Visitante do Leonardo da Vinci Research Laboratory for Complexity and Systems Thinking da Lund University, School of Aviation (Suécia). Exerce, também, as funções de Examinador Credenciado da ANAC para operações de RBHA 91 e Facilitador de CRM-Corporate. Tem experiência em ensino e consultoria na área de Transporte Aéreo, Estratégia Empresarial, Treinamento de Pilotos, Segurança Operacional e Fatores Humanos. ehenriqson@pucrs.br

² Possui Mestrado em Engenharia de Produção, ênfase em Sistemas de Produção, em 2010. Se formou em Ciências Aeronáuticas pela PUCRS, em 2006, e possui formação Profissional como Piloto de Aeronaves e Especialista em Segurança de Voo (EC-PREV). É Professor Auxiliar na Faculdade de Ciências Aeronáuticas e Pesquisador no Laboratório de Otimização de Produtos e Processo (LOPP), do Departamento de Engenharia de Produção e Transportes (DEPROT) da UFRGS e no Laboratório de Fatores Humanos e Sistemas Tecnológicos Complexos, pertencente ao Centro de MicroGravidade (MicroG) da PUCRS. guido.junior@pucrs.br

³ Estudante de Ciências Aeronáuticas da PUCRS . ronaldowg@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

“David, eu estou com medo... eu posso sentir isso...”

Computador Hal 9000 para o astronauta David Poole, enquanto os poderes cognitivos de Hal eram removidos, no filme “2001: Uma odisséia no espaço” de Stanley Kubrick (1968).

Os resultados das investigações de acidentes e incidentes aeronáuticos, bem como pesquisas de acompanhamentos de voos de linha, têm apontado deficiências ergonômicas nos painéis de controle e sistemas automáticos de navegação aérea e gerenciamento de voo (BILLINGS, 1996; ELLIS, 1984; HUGES e DORNHEIM, 1995; LINTERN, WAITE, TALLEUR, 1999; PATEL, 1996; REASON, 1997). Dentre os casos mais citados na literatura, encontram-se as descrições e recomendações referentes ao acidente com um Airbus A-320, ocorrido em 1996, em Strausburg, na França, devido a um erro de inserção de valores, programação e monitoramento do piloto automático da aeronave durante a realização de um perfil de aproximação de não-precisão (BUCK, 1995; DEKKER e WOODS, 1999; HOWARD, 1999; NEWMAN, 2001). A comissão francesa de investigação do acidente, entre outros aspectos, recomendou à fabricante Airbus significativas modificações no sistema de voo automático, incluindo os displays, neste modelo de aeronave.

O resultado da investigação apontou, também, como fator contribuinte, o despreparo da tripulação em monitorar adequadamente o automatismo da aeronave, evidenciando-se a perda de consciência situacional e a deficiência na coordenação de cabine, no trabalho em equipe, na comunicação, no processo decisório e na divisão de tarefas (STRAUCH, 2002; WEIGMAN e SHAPPELL, 2003).

Segundo dados da ICAO (1998), três em cada quatro acidentes com aeronaves de transporte comercial de grande porte apontam para falhas operacionais cometidas por pessoas consideradas sadias e qualificadas para o exercício da profissão. Pariés (1996) identifica, em estudo realizado a partir de acidentes ocorridos entre 1985 e 1995, que, em 75% dos casos, erros operacionais

cometidos pela tripulação foram as principais causas de acidentes. Esse dado é reforçado por Hollnagel (1998) que identificou um crescimento de 20% para 80% do erro humano como principal causa atribuída nos acidentes e quase-acidentes em indústrias de sistemas complexos entre as décadas de 60 e 90.

Para Dekker (2003) é necessário que, no projeto e desenvolvimento das cabines de comando, as necessidades e as capacidades dos operadores sejam consideradas. Com a crescente complexidade das cabines de comando aliada ao padrão tecnológico atual, torna-se necessário o estabelecimento de ações estruturadas. Newman e Greeley (2001) propõem cinco etapas: a definição de requisitos funcionais, o estabelecimento do projeto em si, as análises de engenharia, os testes e avaliações e a documentação.

A tarefa básica na definição dos requisitos funcionais consiste em identificar quais informações os operadores necessitam para executar as operações dentro de um contexto de performance esperado. Tais requisitos são identificados e cruzados com os requisitos legais discriminados nas regulamentações de homologação do produto, chamados de requisitos de aeronavegabilidade, de acordo com a sua categoria.

Os requisitos de aeronavegabilidade para aeronaves civis são mundialmente baseados nos Code Federal Regulations (CFR) norte-americanos, Part 23 (Aeronave Leves) (ESTADOS UNIDOS, 2010a), 25 (Aeronaves de Transporte) (ESTADOS UNIDOS, 2010b), 27 e 29 (Helicópteros) (ESTADOS UNIDOS, 2010c, 2010d). A adoção de parâmetros de certificação internacional baseados em padrões norte-americanos se dá pelos seguintes motivos: (a) os Estados Unidos são reconhecidamente a maior indústria de produção de aeronaves, equipamentos e peças aeronáuticas; (b) os Estados Unidos são o maior mercado de operadores aeronáuticos, possuindo a maior indústria de transporte aéreo comercial e privado; e (c) países que fabricam aeronaves, equipamentos ou peças aeronáuticas buscam a certificação norte-americana a fim de que seus produtos possam entrar no mercado norte-americano.

A regulamentação define também níveis de integridade de operação dos sistemas baseados nos efeitos das falhas de acordo com o tipo de aeronave. As falhas, portanto, são categorizadas em três condições (ESTADOS UNIDOS, 1988, 2007):

a) *Minor*: Condição de falha que não reduz de forma significativa os níveis de segurança de operação da aeronave, envolvendo ações da tripulação de fácil manejo, considerando suas capacidades. Essas falhas devem ser assumidas como prováveis de acontecerem, devendo os tripulantes serem especificamente treinados para lidar com elas. Nessa condição, pode-se assumir ainda uma pequena degradação dos gabaritos de segurança, redução de capacidades funcionais e leve aumento da carga de trabalho dos operadores.

b) *Major*: Condição de falha que reduz de forma significativa a operacionalidade da aeronave ou a capacidade da tripulação de lidar com a operação adversa. Essas falhas devem ser assumidas como improváveis de acontecerem, devendo os tripulantes serem especificamente treinados para lidar com elas. Nessa condição, deve-se assumir uma degradação significativa dos gabaritos de segurança, das capacidades funcionais da aeronave e um grande aumento da carga de trabalho dos operadores.

c) *Catastrophic*: Condição de falha que impede a continuidade do voo ou o pouso de forma segura. Essas falhas devem ser assumidas como extremamente improváveis de acontecerem, dispensando os tripulantes, inclusive, de receberem treinamento específico para lidar com este tipo de falhas.

Newman e Greeley (2001) sugerem que os fabricantes têm cometido erros frequentes durante a fase de projeto e validação dos protótipos iniciais. Os pilotos de prova, principais envolvidos nessa etapa do processo, constituem-se de profissionais selecionados pela experiência acumulada na categoria de aeronave projetada, dominando as principais técnicas de pilotagem com muita facilidade, possuindo uma ampla experiência em modelos anteriores do equipamento. Para os referidos autores, a expectativa do operador em relação à tarefa executada deve ser

levada em consideração, mais do que os critérios julgados convenientes por engenheiros, de tal forma que os projetistas deveriam considerar as dificuldades de manuseio dos controles e interpretação de informações, tomando como base o estudo da adaptação de operadores menos experientes na operação das aeronaves, fato este também proposto por Singer (2001 e 2002), a partir de um estudo sobre a influência do *design* na minimização dos erros dos pilotos.

A partir da problemática apresentada, o presente artigo tem como objetivo mostrar como o fator humano está inserido no projeto de cabines de comando de aeronaves sob diversos aspectos. Neste sentido, o artigo busca abordar os seguintes pontos: as características do operador; a escolha dos símbolos; a localização dos instrumentos no painel; a adoção de displays dinâmicos; a integração pictórica; e os dispositivos de informação aurais e táteis.

2 AS CARACTERÍSTICAS DOS OPERADORES E O DESIGN DE CABINES

As características do operador podem ser consideradas a partir de diversos aspectos, tais como: requisitos antropométricos, requisitos psicofisiológicos, capacidades cognitivas, habilidades motoras, expectativas do operador em relação à tarefa, experiência prévia e treinamento (NEWMAN e GREELEY, 2001).

Em relação aos requisitos antropométricos, as cabines devem ser projetadas de forma a facilitar o manuseio dos controles e dispositivos, considerando a localização e a forma dos instrumentos e o campo de visão do operador. O projeto de cabines deve, também, considerar características fisiológicas do operador relacionadas à fadiga física e mental, ao estresse e, mais recentemente, a capacidade de controle e monitoramento de sistemas automatizados (DEKKER e HOLLNAGEL, 1999).

As capacidades cognitivas a serem consideradas são a percepção, a compreensão e a capacidade de entendimento da informação para projeção futura. Tudo isso deve ser observado, levando-se em conta fatores como atenção, memória e capacidade de aprendizagem (STANTON et al., 2005).

Dekker (2002) aponta que, na investigação de acidentes durante a Segunda Guerra Mundial, com frequência, eram identificados erros de pilotos envolvendo a manipulação incorreta de controles da aeronave. O referido autor cita, como exemplo, acidentes em que o piloto confundia a alavanca dos flapes com a do trem-de-pouso e a aeronave acabava por pousar com o trem recolhido ou os flapes posicionados de forma incorreta. Felizmente, esses erros foram minimizados por modificações de engenharia dos sistemas ou comandos, alterando desde a cor e formato das alavancas até a estrutura de funcionamento do dispositivo e de seus mecanismos de proteção e alerta.

Para Orlady (1995), o design de controles e instrumentos deve ser examinado em conjunto com a análise das demandas físicas e mentais dos postos de trabalho. Os requisitos técnicos e funcionais das cabines de comando foram bastante desenvolvidos desde o fim da Segunda Guerra Mundial, influenciando, mesmo nos dias atuais, o design de modernos sistemas em cabines.

Na afirmação “Os princípios de projeto de controles e mostradores foram descobertos durante as décadas de 1940 e 1950, sendo validados a partir de seu uso nas décadas de 1960 e 1970” (ORLADY, 1995, p. 95, nossa tradução), o autor identifica o período entre as décadas de 1940 e 1950 como principal período produtor de requisitos de projeto para cabines, os quais puderam ser validados ao inseri-los no projeto e na operação de aeronaves tipicamente analógicas utilizadas nas décadas de 1960 e 1970. Atualmente, o paradigma analógico de cabines está dando lugar ao princípio da automatização dos controles e à substituição dos mostradores tipicamente analógicos por digitais.

3 O DESIGN DOS CONTROLES E MOSTRADORES: DEFINIÇÃO DE SÍMBOLOS, CORES E FORMATOS

A relação entre o operador e o artefato se manifesta através das informações proporcionadas pelo artefato (relação hermenêutica) e os controles pelos quais o operador interfere no artefato (relação de corporificação). As informações são baseadas em dispositivos que fornecem sinais visuais, auditivos e táteis e devem

propiciar a correta percepção e compreensão do estado da aeronave (HOLLNAGEL e WOODS, 2005).

Todo dispositivo de informação deve seguir critérios de prioridade da informação, sequência lógica de acessos a essa informação e possuir uma função útil, isto é, gerar uma informação realmente necessária à operação da aeronave (McAllister, 1997).

Os dispositivos visuais, segundo Singer (2001 e 2002) devem: ser facilmente visualizados sem se sobrepor a outras imagens ou gerar a fascinação de atenção ou perplexidade; ser à prova de ambiguidades de sinais; permitir leitura rápida das informações; ser concisos e precisos; ser confiáveis; apresentar clara distinção entre as informações.

A Figura 01 apresenta requisitos relacionados ao design de controles de acordo com especificações da regulamentação de homologação de aeronaves. É importante salientar que estes critérios não contemplam todos os controles e dispositivos de informação das cabines das atuais aeronaves, uma vez que foram especificados durante as décadas de 1950 e 1960. Newman e Greeley (2001) e Dekker e Hollnagel (1999) identificam que as atuais cabines, desenvolvidas no conceito de Glass Cockpit, deveriam possuir os requisitos técnicos revisados a partir de testes e validações dos atuais projetos, com os resultados documentados e inseridos nas regulamentações de aeronavegabilidade.

No projeto dos dispositivos de controle e informação, deve-se levar em consideração os estereótipos populares tais como cores, sinais de alerta, entre outros. Como cores, por exemplo, é comum a escolha de tonalidades como o vermelho serem associadas a situações de emergência, tendo o amarelo e o âmbar para situações que requerem atenção e o verde, o branco e o azul para situações normais.

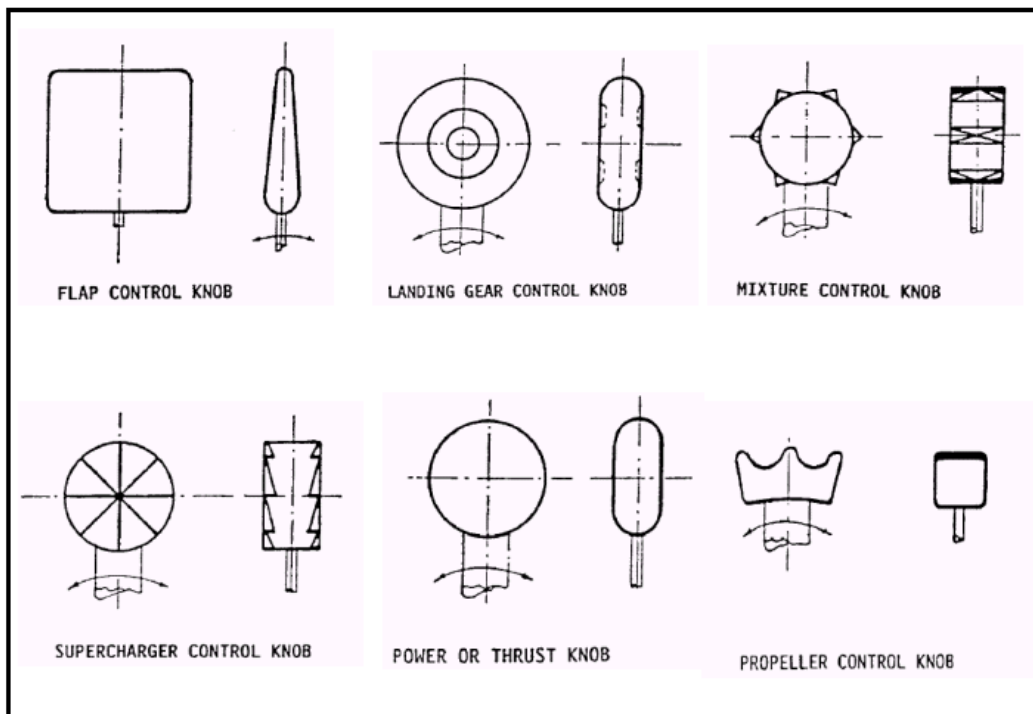


Figura 01: Requisitos de Controles.

Fonte: EUA (2010a)

Alguns instrumentos, como o Indicador de Atitude, da mesma forma, normalmente são projetados de modo que sua aparência seja semelhante ao horizonte terrestre. Na Figura 02 é possível perceber que o céu é representado pela cor azul, a terra pela cor marrom e a aeronave por um símbolo que se associa ao avião visto a partir do perfil traseiro.

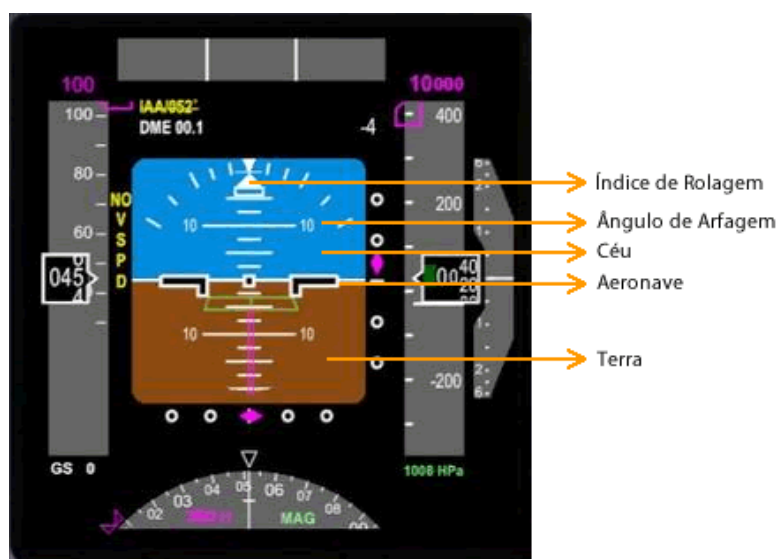


Figura 02: Indicador de Atitude (ou Horizonte Artificial)

Fonte: Adaptado de Microsoft (2004)

Seguindo o mesmo princípio, em um radar meteorológico monocromático, ou multicromático, as informações referentes a fenômenos meteorológicos e suas intensidades serão apresentadas em diferentes tonalidades e cores. Nos primeiros, os fenômenos meteorológicos mais significativos são apresentados em tonalidades mais escuras, enquanto que, no segundo, são utilizadas tonalidades do azul esverdeado ao amarelo avermelhado (ver Figura 03).

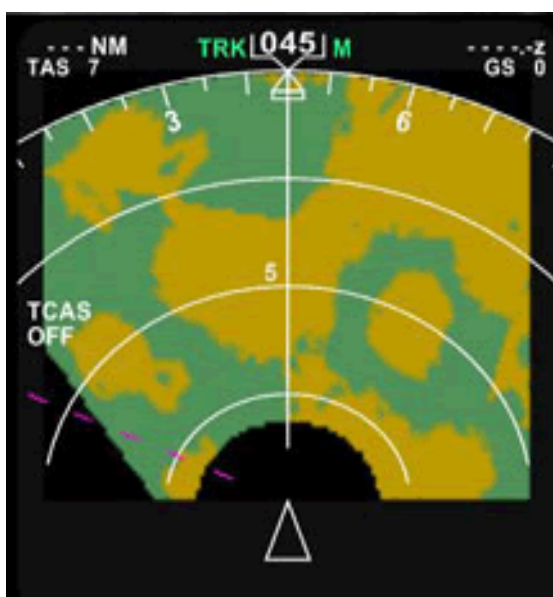


Figura 03: Radar Meteorológico de Bordo (multicromático e monocromático)
Fonte: Adaptado de Microsoft (2004)

4 A LOCALIZAÇÃO DE CONTROLES E INSTRUMENTOS

Estudos ergonômicos (FITTS e JONES, 1947; GARDNER, 1954; JOHNSON e ROSCOE, 1972; KELLEY, GROOT, BOWEN, 1961; ROSCOE, 1968; ROSCOE, 1975; WARRICK, 1947) referentes à disposição dos instrumentos de controle, performance e navegação, identificaram o Indicador de Atitude como o principal instrumento de apoio ao voo por instrumentos pelos seguintes motivos: apresenta as informações de controle (subida, descida, curva e voo horizontal) para o estado da aeronave; em decorrência desse motivo, constitui-se no instrumento mais frequentemente visualizado durante a operação.

Sendo assim, os pesquisadores propuseram que o Indicador de Atitude fosse

colocado na posição mais central possível da visão do piloto no painel da aeronave. Abaixo desse instrumento deveria ser inserido o Indicador da Situação Horizontal para a navegação (proa, rumo, marcações de rádio-auxílios). Nas laterais de ambos os instrumentos deveriam ser dispostos os mostradores que informam parâmetros de performance, tais como, velocidade (Velocímetro), altitude (Altímetro), razão de giro (Turn Coordination) e velocidade vertical (Variômetro) (ver Figura 04). Esta disposição dos instrumentos ficou conhecida como o “T - Básico” e tem influenciado a distribuição dos mostradores nas cabines de comando até os dias atuais.



Figura 04: “T” Básico dos Instrumentos de Voo
Fonte: Adaptado de Microsoft (2004)

Orlady (1995) aponta que os instrumentos devem ser acessíveis e legíveis. Segundo o referido autor, essa premissa muitas vezes foi negligenciada, citando como exemplo, o fato de o campo de visão do piloto possuir uma amplitude horizontal de 80° e vertical de 30° . A disposição de instrumentos e dispositivos de informação abaixo do ângulo de visão de 30° na amplitude vertical resulta na necessidade de um ajuste da altura da poltrona de forma excessivamente baixa, podendo prejudicar ou mesmo impedir com isso a visão do piloto durante a manobra de pouso.

Da mesma forma, é comum a localização de controles fora da área de visão do piloto, como os controles de válvulas seletoras de combustível localizadas nas

paredes laterais das cabines próximas ao calcanhar dos pilotos, ainda hoje dispostas dessa forma em algumas aeronaves que saem de fábrica. Nesses casos, a verificação da posição da válvula durante o voo é feita pelo piloto a partir da sensibilidade tátil do sentido de comando da seletora sem contato visual com a mesma (ver Figura 05).



Figura 05: Localização do controle da válvula seletora de combustível em uma aeronave Piper 28 (Arrow III) Fonte: Autores

Aeronaves de treinamento fabricadas nas décadas de 1950 e 1960 modelo Neiva Ne-56, por exemplo, apresentavam o controle da válvula de ar quente e da mistura de ar/combustível localizadas na parede lateral esquerda do piloto em comando no assento dianteiro. A ocorrência de incidentes associados ao corte inadvertido da mistura ar/combustível ao tentarem comandar a abertura da válvula de ar quente, levou fabricantes e operadores a modificarem a localização das manetes, posicionando o controle da mistura no painel frontal abaixo dos instrumentos e com a sinalização do controle na cor vermelha.

A disposição dos instrumentos deve facilitar os procedimentos operacionais da tripulação (DEGAIN e WIENER, 1994). Na operação das aeronaves, é obrigatória a utilização de uma lista de verificação de procedimentos referentes a

cada etapa do voo. Sendo assim, normalmente a execução das ações e a leitura da lista de verificações seguem a regra “Scan flow + Checklist”. Isso significa que antes de realizar um procedimento de pouso, por exemplo, o piloto executa um Scan Flow (varredura visual dos controles e instrumentos normalmente realizada da esquerda para a direita e de cima para baixo), verificando o ajuste dos instrumentos e controles para, então, realizar a leitura do Checklist. Tal procedimento é especialmente adotado em aeronaves que operam com mais de um piloto. Nesse contexto, a disposição dos instrumentos em uma sequência lógica facilita a memorização e a compreensão do procedimento, reduzindo a possibilidade de erros (FITTS e JONES, 1947; ROSCOE, 1968).

A Figura 06 apresenta o Scan Flow de ações e das áreas de responsabilidades do comandante (capitan) e do copiloto (first officer) em uma aeronave Boeing 737-700.

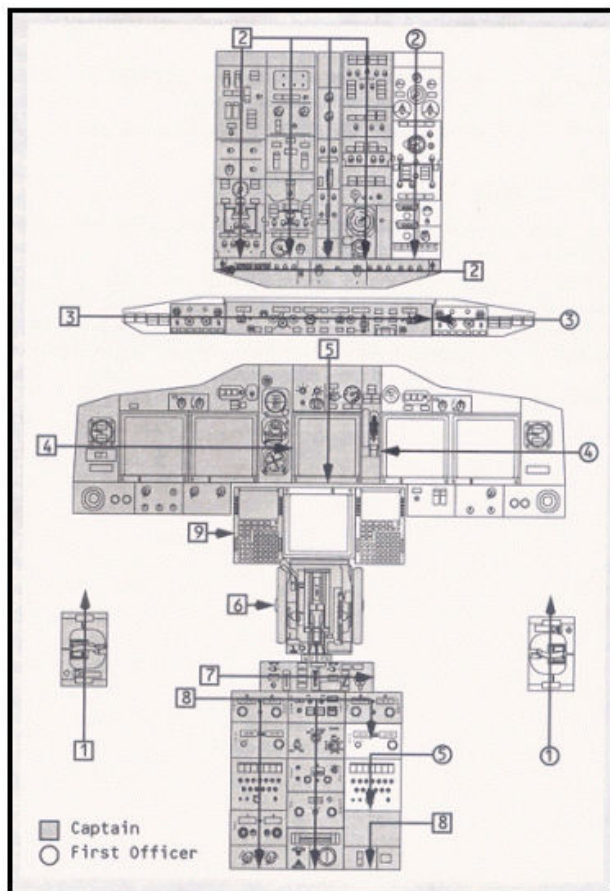


Figura 06: Scan flow e Áreas de Responsabilidade no Boeing 737-700

Fonte: Boeing (2005)

5 DISPLAYS DINÂMICOS

Displays dinâmicos referem-se a instrumentos que apresentam informações tais como atitude e posição da aeronave, envolvendo a interpretação mais complexa de informações (ORLADY, 1995). Um exemplo bastante citado na literatura é o problema de interpretação de informações de rolagens (inclinação lateral de asas) em horizontes artificiais.

Os horizontes artificiais das aeronaves possuem representações dinâmicas de movimento e posição da aeronave em relação ao horizonte terrestre que podem ser apresentadas de duas formas: pela movimentação relativa dos símbolos que representa a aeronave e o horizonte terrestre; pela movimentação relativa do Índice de Rolagem em relação à inclinação da aeronave e a posição do céu (JOHNSON e ROSCOE, 1972; ROSCOE, 1975).

Singer e Dekker (2002) em levantamento realizado junto aos fabricantes de instrumentos identificam três categorias de horizontes artificiais no que se refere à movimentação do símbolo da aeronave e da linha do horizonte.

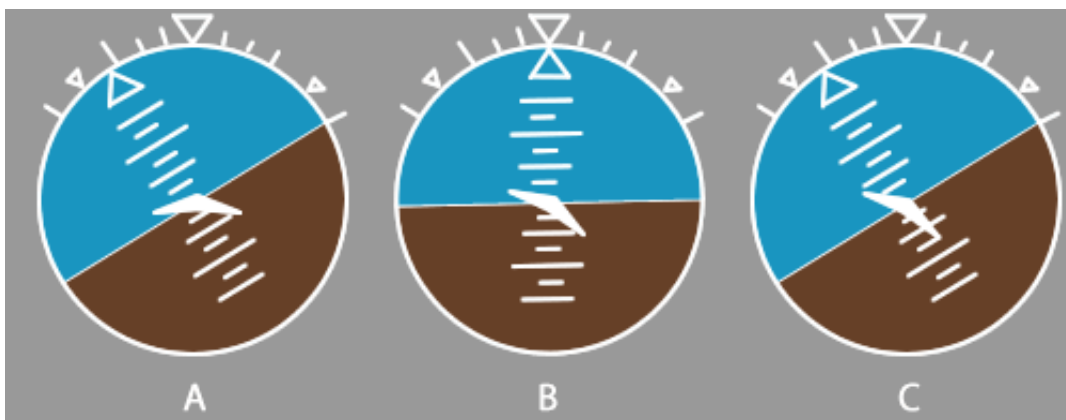


Figura 07: Indicador de Atitude: aeronave pela linha do horizonte

Fonte: Adaptado de Singer e Dekker (2002)

Na Figura 07, têm-se três tipos de horizonte artificial (representação de uma aeronave em curva para a direita): no horizonte da esquerda (a), o símbolo da aeronave permanece aparentemente fixo e o movimento de rolagem da aeronave é representado pela inclinação do horizonte; no instrumento central (b), tem-se o horizonte aparentemente fixo e o símbolo da aeronave inclinado para a direita; o instrumento da direita (c) apresenta uma combinação de movimentos aparentes em

que o símbolo da aeronave apresenta-se inclinado para a direita, assim como o horizonte.

Singer e Dekker (2002) realizaram um estudo referente aos erros de rolagem reversa comandada pelos pilotos que voavam aeronaves com diferentes tipos de horizontes artificiais. Esses autores identificaram que as aeronaves da aviação geral, segmento que envolve principalmente a aviação executiva e privada, possuem na sua grande maioria Indicadores de Atitude nos quais o índice que representa o sentido da rolagem movimenta-se no sentido da curva. Isso significa que, em uma curva comandada para o lado direito, considerando que a aeronave deverá inclinar-se para a direita, o Índice de Rolagem acompanhará a inclinação da aeronave escorregando para a direita no mostrador (ver Figura 08).

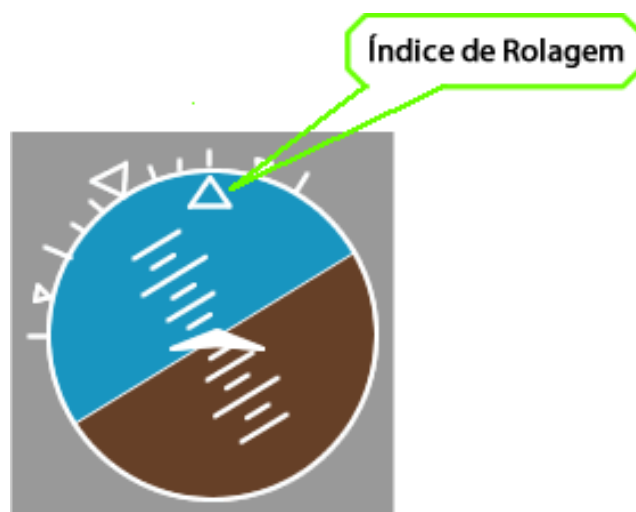


Figura 08: Indicador de Atitude na aviação geral
Fonte: Adaptado de Singer e Dekker (2002)

Nas aeronaves de transporte comercial, principalmente nos grandes jatos, o Índice de Rolagem, para uma mesma situação de curva para a direita, escorregará para a esquerda indicando constantemente a posição do céu (ver Figura 9).

Em 10 de janeiro de 2000, instantes após a decolagem do Aeroporto de Zurique na Suíça uma aeronave SAAB 340B, após receber instruções do órgão de controle para curvar pela direita na direção de um rádio auxílio de navegação, inclinou-se lentamente para a esquerda e, após alguns instantes, tornou a inclinar-se ainda mais, chegando a um ângulo de inclinação das asas anormal e acentuado

a ponto de tornar a recuperação da perda de controle impossível. Em poucos segundos, a aeronave colidiu com o terreno em alta velocidade e grande ângulo de inclinação. Todos os dez ocupantes morreram e o órgão de investigação suíço apontou como provável causa do acidente o erro de inclinação reversa comandado pelo piloto (STOCKER, 2004).

Tal acidente vem reforçar a importância da análise e da identificação dos erros que os operadores estão cometendo a fim de contribuir com discussões acerca do padrão de desenvolvimento desse tipo displays na indústria. O estudo de Singer e Dekker (2002) aponta que os erros de inclinação reversa foram 50% superiores em instrumentos que seguem o padrão utilizado em aeronaves comerciais de grande porte similares ao apresentado na Figura 9.

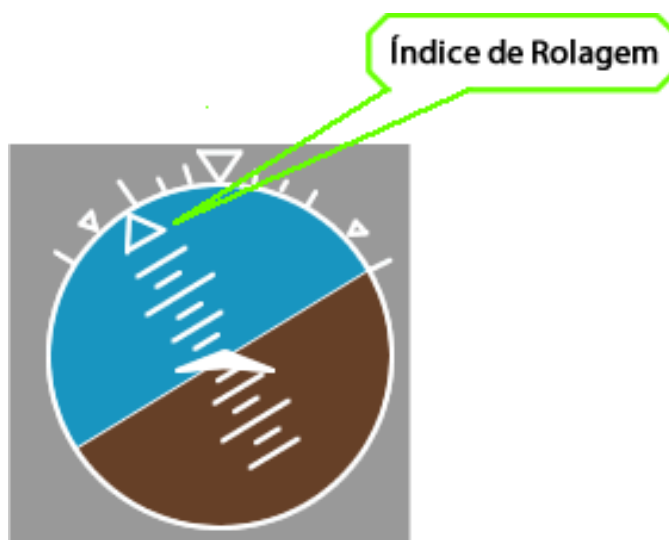


Figura 9: Indicador de Atitude em grandes aeronaves comerciais
Fonte: Adaptado de Singer e Dekker (2002)

O órgão de investigação suíço identificou, ainda, que esse tipo de acidente foi significativamente recorrente na Rússia após a abertura econômica do país e a consequente introdução de aeronaves ocidentais na sua frota comercial.

6 INTEGRAÇÃO PICTÓRICA

A integração pictórica representa a associação de informações de direção, trajetória e velocidades com a representação simplificada de objetos reais, tais como

pista de pouso, perfil de procedimento de saída, representações de tráfegos do TCAS (Traffic Collision Avoidance System), entre outros.

Um exemplo de integração pictórica bastante simples é o horizonte artificial de aeronaves Glass Cockpit, conhecido como Electronic Attitude Direction Indicator (EADI). Nesse instrumento, além das informações de atitude da aeronave em relação ao horizonte terrestre, é representada a pista (Runway Symbol) que aparece no instrumento quando o piloto executa um procedimento de aproximação de precisão por instrumentos, identificando a trajetória da aeronave em direção à pista de pouso (ver Figura 10).

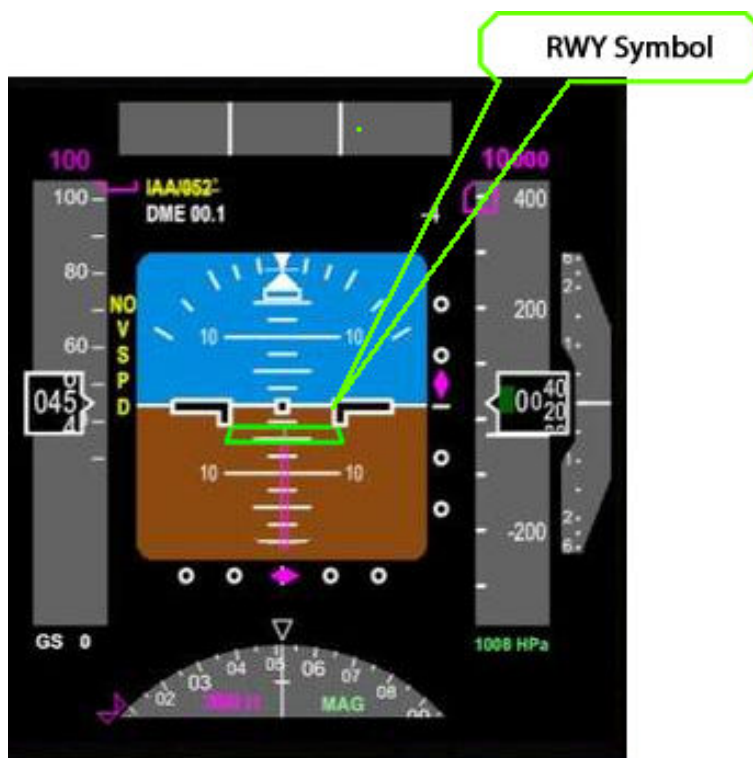


Figura 10: Electronic Attitude Direction Indicator – Boeing 737NG
Fonte: Adaptado de Microsoft (2004)

Tradicionalmente, voar por instrumentos significa, para os pilotos, a necessidade da realização constante de cálculos mentais e visualização dos instrumentos de forma sobreposta, o que Orlady (1995) chama de “ginástica cognitiva”. Isso acontece principalmente nos instrumentos convencionais, nos quais a indicação de direção e sentido, durante a navegação, é baseada em referências

de equipamentos como ADFs (Automatic Direction Finder, Figura 11 direita) de limbo fixo, tornando necessário ao piloto a transferência manual da posição do ponteiro do ADF (Marcação Relativa) sobre o cartão do Giro Direcional (Figura 11 esquerda). Esse procedimento, embora simples, é bastante complexo de ser executado quando operando sem o auxílio do piloto automático, pois requer atenção dos operadores no controle da aeronave e dos cálculos sobre o posicionamento da aeronave em relação aos rádio auxílios.



Figura 11: ADF e Giro Direcional
Fonte: Adaptado de Microsoft (2004)

Os instrumentos produzidos nos últimos anos fazem a integração das informações de marcação dos rádio-auxílios com as informações do Giro Direcional. Equipamentos mais sofisticados integram as informações de navegação em uma tela (Navigation Display), apresentando todas as informações essenciais de navegação ao piloto, tais como: proa, rumo, rota, distâncias, direção e velocidade do vento, marcações de rádio-auxílios, informações meteorológicas de radar, tráfegos, entre outros (ver Figura 12).



Figura 12: Navigation Display – Boeing 737NG
Fonte: Adaptado de Microsoft (2004)

Lintern, Waite e Talleur (1999) afirmam que o uso de informações pictóricas integradas contribui para o aumento de consciência situacional do operador, uma vez que facilita a percepção e compreensão das informações. Um exemplo desse tipo de integração pictórica é o Head-up-Display, conforme apresentado na Figura 13. Esse equipamento foi desenvolvido inicialmente para uso em aeronaves militares, buscando a projeção de informações dos instrumentos do painel no parabrisa da aeronave, evitando que o piloto abaixe a cabeça para visualizar informações importantes quando houver necessidade de prestar atenção para elementos fora da cabine durante, por exemplo, aproximações e arremetidas.

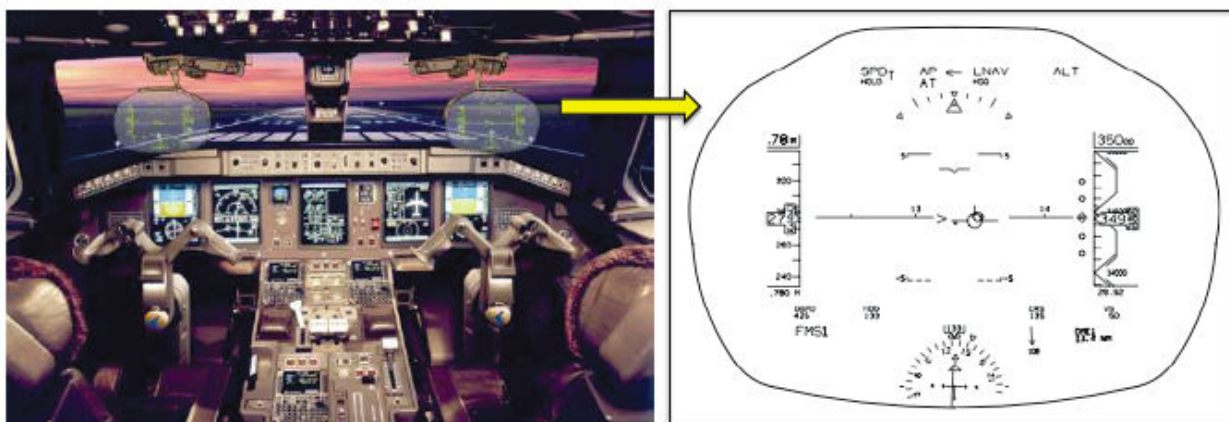


Figura 13: Head-up-Display – Embraer 190/195
Fonte: Kemény (2009)

7 OS DISPOSITIVOS AURAI E TÁTEIS

Para Endsley (1995) a Consciência Situacional refere-se a um estado de consciência que envolve três níveis: percepção, compreensão e projeção futura. Em relação à percepção das informações, a referida autora aponta que, nem sempre, as informações são percebidas, e normalmente, quando isso ocorre é por falha nos dispositivos de informação, principalmente no seu projeto. Em outros casos, a informação é percebida, mas o sinal não tem a intensidade necessária para atrair a atenção do operador.

O segundo nível da Consciência Situacional está relacionado à compreensão da informação percebida. Neste nível, a complexidade se torna maior à medida que a compreensão da informação, muitas vezes, requer conhecimento e/ou experiência prévia acerca do sistema ou da condição em que a informação está associada.

O terceiro nível da Consciência Situacional está relacionado à capacidade de projeção futura da informação percebida e compreendida. Este nível leva o operador ao julgamento da condição, tomada de decisão e resposta motora visando à alteração ou à manutenção da condição que resulta na informação percebida e compreendida. Nesse caso, tem-se a complexidade cognitiva crescente do primeiro nível ao terceiro, o que torna fundamental o projeto dos dispositivos de informação na cabine para a operação segura da aeronave.

Os dispositivos aurais devem ser: audíveis sem se sobrepor a outros sons ou gerar a fascinação de atenção ou perplexidade; facilmente reconhecíveis; e, informativos (LINTERN, WAITE, TALLUER, 1999). Os dispositivos de alerta devem ser capaz de atrair a atenção do operador, indicar a natureza da emergência e, se possível, informar os procedimentos a serem seguidos (ESTADOS UNIDOS, 1996).

Um exemplo de dispositivo que procura integrar esses requisitos é o E-GPWS (Enhanced Ground Proximity Warning System) – Sistema Avançado de Alerta com Proximidade do Solo –, desenvolvido na década de 1990, visando à redução dos acidentes do tipo CFIT (Controlled Flight Into Terrain) – voo controlado contra o solo – principal tipo de acidentes em situações de aproximação e pouso

com aeronaves comerciais de grande porte (FLIGHT SAFETY FOUNDATION, 2011).

O E-GPWS é um sistema de alerta desenvolvido para apresentar a informação de forma compreensível, bem como a projeção futura da ação corretiva. Sendo assim, a aeronave equipada com esse sistema, ao aproximar-se indevidamente do terreno, fará com que sinais audíveis alertem o piloto através das palavras: “WOOP, WOOP, TERRAIN, PULL UP” (WOOP, WOOP, TERRENO, SUBA).

Os dispositivos táteis devem, a partir do posicionamento das mãos e dos pés, permitir a identificação e a compreensão de comandos realizados através dos controles ou de situações de alerta (LINTERN, WAITE, TALLEUR, 1999).

Em relação às informações táteis e visuais referentes à condição de operação de uma aeronave é possível ser feita uma distinção entre dois paradigmas tecnológicos de cabines de aeronaves modernas: o design da fabricante Boeing e o da Airbus.

A Airbus revolucionou a concepção dos controles e dispositivos das cabines durante a década de 1990 com o lançamento das aeronaves modelos A-319/20/21/30/40. Essas aeronaves foram projetadas seguindo princípios ergonômicos do Glass Cockpit e podem ser caracterizadas da seguinte forma: (a) substituição dos mostradores analógicos por mostradores digitais, buscando-se clareza e objetividade nas informações disponibilizadas aos operadores; (b) adoção dos princípios de “commonality”, o que garante uma padronização na distribuição, forma e número de mostradores entre aeronaves de diferentes famílias (séries) como A-318/A-319, A-320/A-321 e A-330/A-340, facilitando a transição entre operadores dos diferentes equipamentos e a certificação de uma tripulação para a operação simultânea de mais de um equipamento; (c) utilização do sistema Fly-by-Wire de controle de voo que substitui os tradicionais cabos que ligam os controles do piloto à superfície de comando desejada ou aos seus atuadores; (d) modo primário de controle da aeronave através dos dispositivos de controle do piloto automático via Sistema de Gerenciamento de Voo (Flight Management and

Guidance System – FMGS); (e) adoção de um sistema de controle de tração dos motores acoplado ao Sistema de Gerenciamento de Voo, substituindo o modelo tradicional de manetes de aceleradores por um sistema de tração automática (Auto-Thrust); (f) substituição do tradicional manche por um side stick na parede lateral da cabine.

Esses critérios de projeto da Airbus revolucionaram a indústria marcando em definitivo a inserção do paradigma Glass Cockpit. Muitas das inovações feitas pela Boeing na produção de suas aeronaves seguiram premissas utilizadas pela Airbus, especialmente em relação aos mostradores digitais, a adoção de sistemas integrados de gerenciamento de voo (FMGS) e a substituição dos cabos de controles pelo modelo Fly-by-Wire, atualmente presente no Boeing 777.

O objetivo aqui não é confrontar as qualidades de ambos os fabricantes, mas sim identificar diferenças na concepção de projeto e o reflexo dessas na operação. Sendo assim, do ponto de vista da consciência situacional, percebemos também o que sentimos a partir do movimento do corpo, dos pés e das mãos. Neste caso, é possível perceber que a Boeing não substituiu o manche das aeronaves e os aceleradores por sistemas de tração automática. O que a Boeing fez foi manter o manche e utilizar um sistema que movimenta os manetes de aceleração dos motores (Auto-Throttle).

Na operação do Airbus, as informações sobre o estado da aeronave podem ser acessadas exclusivamente através de parâmetros visuais ou sonoros. Para identificar o comando que está sendo empregado para realizar uma descida em curva, por exemplo, o operador deverá recorrer aos instrumentos do painel, uma vez que o side stick permanecerá com sua posição inalterada, se a aeronave estiver sendo operada pelo modo automático. Uma redução de tração nos motores, da mesma forma, será percebida somente através da indicação dos motores, já que os manetes irão permanecer na mesma posição. Já no produto Boeing, as mesmas manobras quando realizadas no modo automático, além das informações apresentadas no painel de instrumentos, os operadores poderão perceber o

movimento do manche correspondente ao comando realizado, identificando mais facilmente o sentido da manobra, ou, se o resultado dos comandos aplicados condizem como o perfil de voo executado pela aeronave.

8 A AUTOMAÇÃO NAS CABINES DE COMANDO

A automação das cabines de comando tem sido justificada a partir de argumentos relacionados à segurança e à economia. Em relação à segurança, pode-se identificar que a automação contribui com proteção contra falhas humanas, redução da carga de trabalho e maior precisão nas manobras.

Em relação à economia, a automação justifica-se pela possibilidade de certificação de cabines para apenas dois tripulantes, economia de espaço nos painéis, flexibilidade dos mostradores, permitindo, em determinadas frotas, a homologação para operação em commonality, redução de custos com maior precisão das operações e redução de desgastes prematuros em componentes da operação.

Hollnagel e Woods (2005) identificam que a automação tem contribuído para distanciar o piloto do estado da aeronave, ou seja, dos parâmetros de controle, performance e navegação, conforme apresentado na Figura 14.

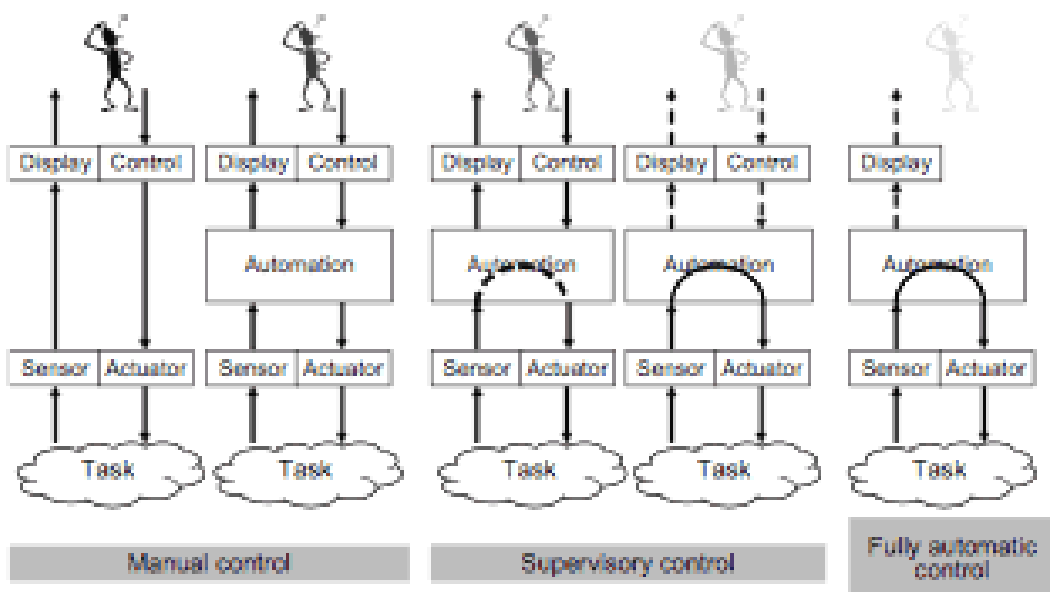


Figura 14: Evolução da automação das cabines de comando.

Fonte: Hollnagel e Woods (2005)

Pela análise da figura 14, pode-se perceber quatro gerações de utilização da tecnologia que pode ser aplicada às aeronaves. Na primeira geração, o piloto atuava diretamente nos controles da aeronave e isso refletia no estado da mesma. Na segunda geração, apareceram os primeiros traços de automatismo e o piloto passou a atuar no piloto automático, que, então, atuava nos controles, modificando o estado da aeronave. Na terceira geração de aeronaves, o piloto passou a atuar em controladores – conhecidos como Diretores de Voo –, estes atuavam no piloto automático, que, por sua vez, atuava nos controles, estabelecendo o estado da aeronave. Na quarta geração, atualmente percebida nos grandes jatos comerciais e aviões executivos modernos a jato, o piloto passou a atuar em computadores (Control Display Units - CDUs) que atuam no controle de sistemas integrados de gerenciamento de voo, que, estes atuam em controladores, que, então, atuam nos controles e, assim, modificam o estado da aeronave. Percebe-se uma complexidade crescente de mecanismos e sistemas ao longo das quatro gerações situadas entre a ação do piloto e a mudança do estado da aeronave.

Segundo Reason (1990), a automação não eliminou o erro humano; mudou a sua natureza. O referido autor aponta como vantagens da automação a redução da carga de trabalho manual e da fadiga pela liberação de ações repetitivas, utilização mais econômica do equipamento, aumento da capacidade produtiva e aeronaves mais protegidas contra falhas humanas. Contrariamente a essas vantagens, Strauch (2002) aponta a insatisfação de tripulantes; a deterioração de habilidades de pilotagem manual; a baixa capacidade de monitoramento do ser humano; a possibilidade de falhas “silenciosas” serem produzidas pelo sistema; a complacência, a autoconfiança no sistema; e a grande possibilidade de confusão de modos como novos fatores de risco gerados pela automação.

Segundo Newman e Greeley (2001), o design das cabines de comando está intrinsecamente relacionado a novos desafios impostos pela crescente automação das cabines, tais como: (a) dificuldade de gerenciamento da carga de trabalho (BILLINGS, 1996; EICHENBERG, 1995); (b) perda de consciência situacional

(LEIMANN PATT, 1998; DEKKER e ORASANU, 1999); (c) dificuldade de gerenciamento do erro humano (WEIGMAN e SHAPPELL, 2003); (d) necessidade da redefinição de procedimentos operacionais e das funções a bordo (HOLLNAGEL, 1999); (e) necessidade de capacitação dos pilotos para operações com múltiplos operadores (SEAMSTER, 1999); (f) aumento do volume de tráfego aéreo nas áreas terminais dos grandes centros e nas aerovias de ligação entre os mesmos (STRAUCH, 2002); (g) navegação aérea através de sistemas autônomos ou apoiados em satélites (DEKKER e HOLLNAGEL, 1999; ISAAC, 1999).

Weigman e Shappell (2003) e Reason (1990 e 1997) identificam o erro humano como fator presente e intrínseco a sistemas complexos. Nessa concepção, sistemas de proteção devem ser desenvolvidos de forma a reduzir a probabilidade de sua ocorrência ou minimizar as suas consequências. Foushee e Helmerich (1988), Wiener (1989, 1993) e Rasmussen, Pejtersen e Goodstein (1994) identificam a necessidade de o erro ser gerenciado e, para isso, passa a ser necessário o investimento em capacitação dos operadores. Rasmussen, Pejtersen e Goodstein (1994) propõem que os operadores sejam treinados para a identificação das ameaças e para atuar em situações de perda de controle.

Henriqson, Saurin e Carim Júnior (2010) e Ribeiro (2008) apontam que o atual paradigma de competências do operador de aeronaves centra-se na capacidade de administrar recursos, pessoas e sistemas. Essas novas habilidades são reflexos de uma tecnologia em transformação.

No desenvolvimento de cabines, nas primeiras décadas do século passado, os projetistas buscavam prover o operador com informações suficientes para a operação segura da aeronave. Tal fato é bastante fácil de ser entendido, pois, ao longo dos anos, as aeronaves ficaram cada vez mais famosas pela “quantidade de luzes e relógios” nos painéis. Todavia, atualmente, busca-se apresentar a informação cada vez mais clara e objetiva, visando não sobrecarregar o operador com informações desnecessárias.

Neste contexto, insere-se o conceito de *Dark and Quiet Cockpit* (DQC):

cabine de comando escura e silenciosa, modelo atual utilizado na concepção de cabines. Nesse conceito, se a operação estiver transcorrendo de forma satisfatória e todos os sistemas operando normalmente, a cabine estará escura e silenciosa. Assim, alertas visuais, aurais e táteis devem ser projetados para atuarem somente em condições de anormalidade.

O conceito DQC se aplica de forma mais ampla no design de cabines. A iluminação de um interruptor que indica o travamento da porta de uma cabine, por exemplo, deverá estar apagada indicando a condição em que a porta se encontra durante operações normais. Nesse caso, os regulamentos internacionais recomendam que, durante o voo, a porta da cabine de comando esteja fechada e travada. A iluminação do interruptor de travamento da porta deverá estar acesa somente quando a porta não estiver travada, ou seja, nas operações de solo, que envolvem embarque e desembarque de passageiros.

Outra premissa relacionada à automação das cabines de comando centra-se na tentativa de redução da carga de trabalho através da liberação do operador de tarefas repetitivas. A carga de trabalho, segundo Billings (1996), pode ser entendida como a relação entre as capacidades do operador e as demandas da tarefa. Segundo o referido autor, para um dado intervalo de tempo, a carga de trabalho aumentará com o aumento do volume e/ou complexidade das tarefas, manifestando-se física, cognitiva e emocionalmente (as três dimensões sempre estão presentes, manifestando-se individualmente com maior ou menor intensidade).

Dekker e Orasanu (1999) identificam que o excesso de carga de trabalho em nível psicomotor ou emocional pode prejudicar o desempenho em nível cognitivo e vice-versa. Tal fato justificaria a importância da automação de funções de controle a fim de garantir maior capacidade de gerenciar informações e tomar decisões por parte do operador (BUTLER, 1991; DEGAIN e KIRLIK, 1995).

A investigação de diversos acidentes (ver estudo de JONES e ENDSLEY, 1996), todavia, tem apontado que a falta de uma capacitação mais eficiente nos operadores tem ocasionado a perda de consciência situacional, a qual ocorre

quando os mesmos são colocados fora do “loop” de feedback de informações, podendo levar a aeronave a “estados indesejados” de operação (ENDSLEY e GARLAND, 2001).

O estabelecimento de critérios técnicos e funcionais que colaborem com a avaliação e a mensuração da carga de trabalho percebida pelo operador deve ser um aspecto necessariamente revisto pelas autoridades reguladoras, fabricantes e operadores nos próximos anos (SINGER e DEKKER, 2002).

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As revoluções tecnológicas das últimas décadas, embasadas por novas concepções e avanços científicos, têm redefinido paradigmas, marcando a valorização do conhecimento, a informação, a cibernética, a relevância social e econômica e o desenvolvimento de ferramentas que permitam ao homem a realização de diferentes atividades (CAPRA, 1996).

Inicialmente, o controle do voo dava-se exclusivamente através da percepção visual do operador em relação ao meio externo. Entretanto, com o rápido desenvolvimento de novos instrumentos mais complexos que permitiram, por exemplo, voos sem referências visuais, criou-se uma nova realidade de trabalho, onde houve um aumento da demanda da capacidade cognitiva e psicomotora por parte dos pilotos. Nesse sentido, temos que levar em consideração requisitos para o design de cabines considerando as características do operador sobre esse novo conceito de operação.

A multiplicidade de fatores associados à operação de uma aeronave, desde a decolagem até o seu pouso, bem como aspectos de suporte pré e pós-voo, dependem de uma correta sincronização entre processos, produtos confiáveis e pessoas altamente capacitadas, delineando uma realidade que Perrow (1999) chamou de “sistemas complexos”. A complexidade reside na concepção de um sistema em constante desequilíbrio (e por isso dinâmico) no qual, mais do que se entender os fatos e artefatos, necessitam ser analisados os padrões de

comportamento dos mesmos, visando a uma compreensão de como se desenvolvem (PERROW, 1999).

Como efeito colateral do progresso tecnológico, tem-se a manifestação de um desequilíbrio na relação “homem-máquina”, a qual pode ser compreendida como uma interação sociotécnica, pois considera as inter-relações entre uma dimensão social – no caso o homem – e uma dimensão técnica – no caso a máquina (PERROW, 1999; GUIMARÃES, 2004). Esse desequilíbrio pendendo a favor da máquina, em termos evolutivos, acarreta quase sempre na necessidade de maior capacitação de seus operadores (ORLADY, 1995). Para Smallwood (1995), Henley (2003) e Laphitz (2001), operadores de aeronaves devem ser capacitados a lidar com tecnologias de ponta da indústria; e mais do que conhecer os sistemas, devem ser educados a aprender a aprender a fim de garantir a capacitação contínua (HENLEY, 2003).

A partir de análises de incidentes e acidentes aeronáuticos (ver ESTADOS UNIDOS, 1996), é possível identificar falhas humanas devido ao descompasso existente na interação humano-artefato devido ao design deste último. Sendo assim, torna-se essencial o foco no treinamento para reduzir tal desarmonia. Ainda nesse sentido podemos perceber uma evolução no desenho das cabines a fim de aliviar a carga de trabalho, reduzindo informações desnecessárias e, por exemplo, integrando equipamentos analógicos em monitores digitais (glass cockpit).

Se por um lado a “maquinização” dos sistemas busca garantir maior eficácia em seus resultados (não deixando de seguir um princípio taylorista da busca pela eficiência), por outro lado impôs a necessidade de reavaliação e melhoria permanente nas dimensões ergonômicas de hardware e software (NEWMAN, 2001). Assim, o padrão evolutivo dos sistemas socio-técnicos é acompanhado pelo desenvolvimento dos produtos (Ergonomia de Produto ou de Hardware) e dos processos (Ergonomia de Processos). Os processos são aqui entendidos como ações estruturadas e operacionalizadas mediante o processamento de informações (Ergonomia Cognitiva ou de Software), sem desconsiderar que tudo esteja dentro de

um suporte lógico (regras, sistemas burocráticos e de apoio, ferramentas de suporte, etc.), o qual condiciona o desempenho humano a partir de uma perspectiva organizacional (Macroergonomia) (GUIMARÃES, 2004).

A evolução dos mostradores e dos controles das cabines de comando vem distanciando o piloto do estado real da aeronave (HOLLNAGEL e WOODS, 2005). A representação dos objetos reais em instrumentos digitais exige do piloto cálculos mentais e visualizações cada vez mais complexas. Logo, o desenvolvimento de habilidades não-técnicas relacionadas à capacidade cognitiva em lidar com o automatismo crescente, há de ser encarado cada vez mais como uma prioridade na capacitação das tripulações.

REFERÊNCIAS

- 2001:** A Space Odyssey. Direção e Produção: Stanley Kubrick. Intérpretes: Keir Dullea; Gary Lockwood; William Sylvestre; Leonard Rossiter; Douglas Rain. Roteiro: Stanley Kubrich & Arthur C. Clarke. Música: Gyorgy Ligeti. Los Angeles: Warner Bross, 1968. 1 DVD (149min), widescreen, color.
- BILLINGS, C. E. Human Centered Aircraft Automation: a concept and guidelines. United States: NASA Ames Research Center, 1996.
- BOEING. **Flight Crew Training Manual (FCTM)**. Seattle, USA: Boeing Company, 2005.
- BUCK, R. N. **The pilot's burden: flight safety and roots of pilot error**. Iowa State University Press: Iowa, 1995.
- BUTLER, J. Airline training for advanced technology cockpits. In: ROYAL AERONAUTICAL SOCIETY SYMPOSIUM: HUMAN FACTORS ON ADVANCED FLIGHT DECKS. London. *Proceedings...* London: Royal Aeronautical Society, 1991.
- CAPRA, F. J. O. **Ponto de Mutação**. 17. ed. São Paulo: Cultrix, 1996.
- DEGAIN, A. S.; KIRLIK, A. Modes in Human-automation Interaction: initial observations about a modeling approach. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE OS SYSTEMS, MAN AND CYBERNETICS. Vancouver. *Proceedings...* Vancouver: Canada: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1995.
- _____.; WIENER, E. L. **On the design of flight deck procedures (NASA Report 177642)**. USA: NASA Ames Research Center, 1994.
- DEKKER, S. **The field guide to human error investigations**. Aldershot: Ashgate, 2002.
- _____. Human factors in certification. **International Journal of Aviation Psychology**, v.13, n.1, 2003. p.89-93.

_____.; HOLLNAGEL, E. Computers in the cockpit: practical problems cloaked as progress. In: DEKKER, S.; HOLLNAGEL, E. **Coping with computers in the cockpit**. Aldershot: Ashgate, 1999.

_____.; WODDS, D. Automations and its impact on human cognition. In: DEKKER, S.; HOLLNAGEL, E. **Coping with computers in the cockpit**. Aldershot: Ashgate, 1999.

_____.; ORASANU, J. Automation and situation awareness: pushing the research frontier. In: DEKKER, S.; HOLLNAGEL, E. **Coping with computers in the cockpit**. Aldershot: Ashgate, 1999.

EICHENBERG, J. A. **Handling in-flight emergencies**. New York: Tab Books, 1995.

ELLIS, G. **Air crash investigation of general aviation aircraft**. Glenndale Book, 1984.

ENDSLEY, M. R. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. **Human Factors**, v. 37, 1995. p.32 - 64.

_____.; GARLAND, D. J. **Situation Awareness Analysis and Measurement**. Mahawah: Lawrence Erlbaum Associates, 2000.

ESTADOS UNIDOS. Federal Aviation Administration. **The interface between flight crews and moderns flight deck systems**. Washington, D.C.: FAA, 1996.

_____. **System Design Analysis (Advisory Circular AC 25-1309-1A.)**. Washington, D.C.: FAA, 21 June 1988.

_____. **Electronic Flight Deck Displays (Advisory Circular AC 25-11A.)**. Washington, D.C.:FAA, 21 June 2007.

_____. **Code Federal Regulation: Part 23**. Disponível em: <<http://www.faa.gov/far23>> Acesso em: 03 dez 2010a

_____. **Code Federal Regulation: Part 25**. Disponível em: <<http://www.faa.gov/far25>> Acesso em: 03 dez 2010b

_____. **Code Federal Regulation: Part 27**. Disponível em: <<http://www.faa.gov/far27>> Acesso em: 03 dez 2010c

_____. **Code Federal Regulation: Part 29**. Disponível em: <<http://www.faa.gov/far29>>. Acesso em: 03 dez 2010d

FLIGHT SAFETY FOUNDATION. **ALAR-CFIT Tool kit**. Disponível em: <<http://flightsafety.org> > Acesso em 15 mar 2011.

FITTS, P. M; JONES, R. E. **Psychological aspects of instrument displays: 1**. Analysis of 270 "pilot error" experiences in reading and interpreting aircraft instruments (Memo. Rep. No. TSEAA-694-12A). Wright-Patterson Air Force Base, OH: Air Materiel Command, 1947.

FOUSHEE, H. C.; HELMERICH, R. L.. Group Interaction and Flight Crew Performance. In: WIEENER, E. L.; NAGEL, D. C. **Human factors in aviation**. San Diego: Academic Press, 1988.

GARDNER, J. F. **Speed accuracy of response to five different attitude indicators (WADC Tech. Rep. No. 54-236)**. Wright-Patterson Air Force Base, OH: Wright Air Development Center, 1954.

GUIMARÃES, L. B. M. Introdução à ergonomia cognitiva ou ergonomia de software. In: _____. **Ergonomia Cognitiva**. 2. ed. Porto Alegre: FEENG/UFRGS, 2004.

HENLEY, I. **Aviation education and training: adult learning principles and teaching strategies**. Aldershot : Ashgate, 2003.

HOLLNAGEL, E. **Cognitive reliability and error analysis method**. Elsevier Applied Science Publishers, 1998.

_____. From function allocation to function congruence . In: DEKKER, S.; HOLLNAGEL, E. **Coping with computers in the cockpit**. Aldershot: Ashgate, 1999.

_____.; WOODS D. D. **Joint Cognitive Systems: foundations of Cognitive Systems Engineering**, 2005.

HOWARD, M. Visualising automation behaviour. In: DEKKER, S.; HOLLNAGEL, E. **Coping with computers in the cockpit**. Aldershot: Ashgate, 1999.

HUGES, D.; DORNHEIM, M. A.; Accidents direct focus on cockpit automation. **Aviation Week & Space Technology**, jan 1995, p.52.

HENRIQSON, E., SAURIN, T. A.; CARIM JÚNIOR, G. C. Identificação dos modos de coordenação do trabalho coletivo em uma cabine de comando a partir da teoria dos sistemas cognitivos correlacionados. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE ERGONOMIA, 16, 2010, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro, RJ: Associação Brasileira de Ergonomia, 2010.

ISAAC, A. R. **Air traffic control : human performance factors**. Aldershot: Ashgate, 1999.

JONES, D. G.; ENDSLEY, M.R.. Sources of situation awareness errors in aviation. **Aviation, Space and Environmental Medicine**, v. 67, 1996. p.507–512.

JOHNSON, S. L.; ROSCOE, S.N. What moves, the airplane or the World? **Human Factors**, v.14, 1972. p.107-129.

INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. **Human Factors Training Manual (Doc 9683 AN/950)**. Montreal: ICAO, 1998.

KELLEY, C. R.; GROOT, S.; BOWEN, H. M. **Relative motion III**: some relative motion problems in aviation (Rep. No. NAVTRADEVCEEN 316-2). Port Washington, NY: US Naval Training Device Center, 1961.

KEMÉNY, C. J. Dual Head-up Guidance System (HGS) on Embraer 190/195. In: European Aviation Training Symposium, 2009, Seattle. *Anais...* Seattle, 2009.

LAPHITZ, E. La instrucción aeronáutica personalizada. In: LEIMANN PATT et al. **CRM: el despegue**. Buenos Aires: Ateneo Lorenzo Santandreu, 2001

LEIMANN PATT, H. O. **CRM: una filosofía operacional**. 2. ed. Buenos Aires: Sociedad Internacional de Psicología Aeronáutica, 1998.

LINTERN, G.; WAITE, T.; TALLEUR, D. A. Functional interface design for modern aircraft cockpit. **International Journal of Aviation Psychology**, v.9, n.3, 1999. p.225-240.

MCALLISTAER, B. **Crew resource management: awareness, cockpit efficiency & safety**. Shrewsbury : Airlife, 1997.

MICROSOFT. Microsoft Flight Simulator X. São Paulo, 2004.

- NEWMAN, R. L. **Cockpit displays : test and evaluation**. Aldershot : Ashgate, 2001.
- _____.; GREELEY, K. W. **Cockpit Displays: test and evaluation**. Aldershot: Ashgate, 2001.
- ORLADY, H. W. Airline pilot training programs have undergone important necessary changes in the past decade. **ICAO Journal**, abr 1995, p.5-10.
- PARIÈS, J. Evolution of the aviation safety paradigm: Towards systemic causality and proactive actions. In: HAYWARD, B. J.;LOWE, A. R. . **Applied aviation psychology: Achievement, change and challenge**. Aldershot: Avebury Aviation, 1996.
- PATEL, N. B. **Aircraft accidents: can they be avoided?**Nairobi : [s.n.], 1996.
- PERROW, C. **Normal Accidents: living with high-risk technologies**. Princeton University Press, 1999.
- RASMUSSEN, J.; PEJTERSEN, A.; GOODSTEIN, L. **Cognitive System Engineering**. New York: John Wiley & Sons, 1994.
- REASON, J. **Human error**. Cambridge : Cambridge University Press, 1990.
- _____. . **Managing the risks of organizational accidents**. Aldershot: Ashgate, 1997.
- RIBEIRO, E. F. **A formação do piloto de linha aérea: caso Varig - o ensino aeronáutico acompanhando a evolução tecnológica**. Porto Alegre, 2008. Tese (Doutorado em História) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.
- ROSCOE, S. N. Airborne displays for flight and navigation. **Human Factors**, v.10, 1968. p. 321-332.
- ROSCOE, S.N. Motion relationships in aircraft attitude and guidance: a flight experiment. **Human Factors**, v.17, 1975. p.374-387.
- SEAMSTER, T. Automation and advanced crew resource management. In: DEKKER, S.; HOLLNAGEL, E. **Coping with computers in the cockpit**. Aldershot: Ashgate, 1999.
- SINGER, G. Minimizing pilot-error by design: are test pilots doing a good job? **Human Factors and Aerospace Safety**, 2001, v.1, n.4, p.301-321.
- _____. **Methods for validating cockpit design (Technical report 2002-6)**. Stockholm: Royal Institute of Technology, 2002.
- SINGER, G.; DEKKER, S. The effect of the roll index (sky pointer) on roll reversal errors. **Human factors and aerospace safety**. v.2, n.1, 2002. p.33-43.
- SMALLWOOD, T. **The airline training pilot**. Aldershot : Avebury Aviation, 1995.
- STANTON, N. A. et al. **Human Factors Methods: a practical guide for engineering and design**. Aldershot, UK: Ashgate, 2005.
- STOCKER, T. Aviaonics Confusion had hand in Crossair Saab 340 accident. **Aviation International**, jan 2004, p.67.
- STRAUCH, B. **Investigating human error: incidents, accidents and complex systems**. Aldershot: Ashgate, 2002.

WEIGMAN, D. A.; SHAPPELL, S. A. **A human error approach to aviation accident analysis.** Aldershot: Ashgate, 2003.

WIENER, E. L. **The Human Factors of advanced technology (“Glass Cockpit”) transport aircraft.** United States: NASA Ames Research Center, 1989.

WIENER, E. L. Intervention Strategies for the Management of Human Error. In: _____. **Intervention Strategies for the Management of Human Error** (NASA Contractor Report 4547). Moffett Field, CA: NASA Ames Research Center.

WARRICK, M. J. Direction of movement in the use of control knobs to position visual indicators. In: FITTS, P. M. **Psychological research on equipment design** (Aviation Psychology research Rep. n 19). Washington, DC: US Army Air Forces, 1947, p.137-146.

HUMAN FACTORS IN FLIGHT DECK DESIGN

ABSTRACT: The study of the man-machine system in aviation has demanded a double effort from both scholars and practitioners: the understanding of the demands for the pilots in the accomplishment of their work; and the understanding of the new challenges and adjustments in the nature of the work as a result of the many constraints imposed by distancing pilots away from the direct manipulation of the system. Thus, this paper seeks to show how human factor is included in flight deck design by means of the analysis of the following aspects: the characteristics of the operators; the choice of the symbols; the location of the instruments in the cockpit panel; the use of dynamic displays; the pictorial integration; and tactile and aural information devices.

KEY-WORDS: Aviation. Ergonomics. Human Factors.