

*Análise Semiótica da Interação em Cabine de
Comando de Aeronaves*

Waldomiro Sebastião Moreira
Março de 2014

Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação

Análise Semiótica da Interação em Cabine de Comando de Aeronaves

Esse documento corresponde à dissertação de mestrado apresentada à Banca Examinadora da Dissertação no curso de Mestrado em Ciência da Computação da Faculdade Campo Limpo Paulista.

Campo Limpo Paulista, 21 de Março de 2014.

Waldomiro Sebastião Moreira

Prof. Dr. Rodrigo Bonacin

Orientador

Faculdade Campo Limpo Paulista

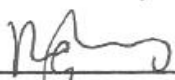
Programa de Mestrado em Ciência da Computação

“Análise Semiótica da Interação em Cabine de Comando de Aeronaves”

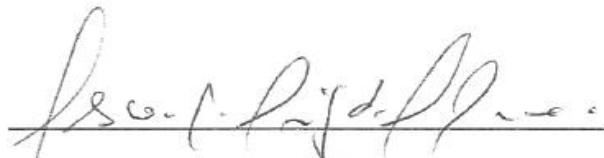
WALDOMIRO SEBASTIÃO MOREIRA

**Dissertação de Mestrado apresentada ao
programa de Mestrado em Ciência da
Computação da Faculdade Campo Limpo
Paulista como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em Ciência da
Computação.**

Membros da Banca



Prof. Dr. Rodrigo Bonacin
(Orientador FACCAMP)



Prof. Dr. Osvaldo Luiz de Oliveira
(FACCAMP)



Profa. Dra. Laura Sánchez Garcia
(UFPR)



Profa. Dra. Maria Cecília Calani Baranauskas
(UNICAMP)

Campo Limpo Paulista SP.

Março 2014

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Câmara Brasileira do Livro, São Paulo, Brasil.

Moreira, Waldomiro Sebastião

Análise Semiótica da interação em cabine de comando de aeronaves / Waldomiro Sebastião Moreira. Campo Limpo Paulista, SP: FACCAMP, 2014.

Orientador: Prof^o. Dr. Rodrigo Bonacin

Dissertação (mestrado) – Faculdade Campo Limpo Paulista – FACCAMP.

1. Semiótica. 2. Interação humano-computador.
3. Sistemas críticos. 4. Avionica. I. Bonacin, Rodrigo. II. Campo Limpo Paulista. III. Título.

CDD-005.43

Agradecimentos

- Especial agradecimento a meu orientador Prof. Dr. Rodrigo Bonacin por ter acreditado na relevância da amplitude e abrangência do trabalho e pela extrema dedicação na ajuda da concepção, condução, e orientação da presente dissertação.
- Aos professores do mestrado de Ciência da Computação da Faccamp pelo altruísmo e abnegada dedicação ao ensino.
- Aos colegas de classe mestrandos da Faccamp pelo apoio e incentivo nos estudos.
- Aos meus colegas dos Aeroclubes de Jundiaí e Atibaia pela colaboração.
- Aos entusiastas colegas da aviação agradecimentos por acreditarem nos projetos.
- À minha esposa pelo incomensurável apoio.
- Especial menção “*in memoriam*” a meu instrutor Cmte. André Nestor Bertin do Aeroclube São Paulo, que na década de 70 incentivou-me na busca da realização do sonho do domínio da arte e ciência de voar.

“Insanidade é continuar fazendo sempre a mesma coisa e esperar resultados diferentes”

Albert Einstein

RESUMO

De acordo com dados oficiais de agências de segurança e proteção ao voo, problemas de Interação Homem-Máquina na cabine de comando de aeronaves têm sido apontados como causas em eventos que colaboram com grandes perdas materiais e humanas. Neste cenário, o design e avaliação da interação devem seguir métodos rigorosos, bem como buscar por abordagens metodológicas e processos ainda inexplorados. Esta dissertação propõe um processo de análise Semiótica da interação humano-computador no estrito âmbito da cabine de comando com objetivo de redução de atos ou decisões errôneas. De forma mais específica, este trabalho propõe a pesquisa por processos de avaliação de interfaces que permitam visualizar com profundidade os aspectos relacionados à pragmática (em particular a relação intenção e ação) e à semântica no uso de dispositivos computacionais ou eletromecânicos em cabines de aeronaves. Para tanto, são empregados teorias e métodos de Design Participativo e Semiótica Organizacional. Por meio destes estudos pretende-se contribuir com o avanço no conhecimento da interação em ambiente de cabine de aeronaves, em particular no entendimento de fatores humanos ligados a aspectos semânticos e pragmáticos da comunicação humano-dispositivos computacionais. Do ponto de vista tecnológico, espera-se contribuir em direção a um processo de análise Semiótica da interação dos tripulantes técnicos, que embora não completo (i.e., não é possível garantir 100% de adequação), que lide com aspectos da comunicação humano-máquina que ainda não são atendidos pelos métodos existentes. Tais processos foram submetidos a estudos com técnicas de dinâmica de grupo “*focus group*” com pilotos experientes e em formação, em ambientes reais de cabines de aeronaves de instrução ainda que simulados no solo com intuito de redução do grau de risco do voo real.

ABSTRACT

According to official data from flight safety agencies the human-machine interaction problems in the aircraft's cockpit have been suggested as causes in events that collaborate with great human and material losses. In this scenario, the design and evaluation of interfaces must follow rigorous methods, as well as search for methodological approaches and unexplored processes. This dissertation proposes a Semiotic analysis of human-computer interaction strictly within the cockpit in order to reduce erroneous decisions or acts. More specifically, this work proposes an evaluating interfaces research process that allow in-depth view of pragmatic aspects (i.e., the intention) and semantic (i.e., the meaning) in the use of computational and electromechanical devices in aircraft cockpits. For this purpose, theories and methods of Participatory Design and Organizational Semiotics are employed. Through these studies we intend to contribute to the advancement of the interaction knowledge in the aircraft cockpit environment, particularly in the understanding of human factors related to semantic and pragmatic aspects of human computing communication devices. From a technological standpoint it is expected to contribute towards the cockpit interaction of the technical crew through Semiotic analysis, which, despite not complete (i.e., it is not possible to guarantee 100 % of its adequacy), should deal with aspects of human-machine communication which are not yet served by existing methods. These processes were submitted to case studies with experienced and student pilots in real instruction aircraft cockpit environments, even in the simulated grounded aircrafts with the intention of reducing the riskiness of the actual flight.

Sumário

1.	Introdução	1
1.1	Contexto, Motivação e Justificativa.....	2
1.2	Objetivos, Contribuições e Métodos.....	5
1.3	Métodos da Pesquisa.....	7
1.4	Organização Geral da Dissertação	9
2.	Detalhamento do Problema	13
2.1	Decolagem - “ <i>take-off</i> ”	16
2.2	Aproximação para Pouso “ <i>Landing Approach</i> ”	20
3.	Referencial Teórico Metodológico	26
3.1	IHC em Sistemas Críticos de Aeronaves	26
3.2	Design da Interação (DI) e Design Participativo (DP)	33
3.3	Semiótica em IHC.....	36
3.3.1	Métodos da Semiótica Organizacional	38
3.3.2	MEASUR em Sistemas Críticos	41
4.	Concepção e Descrição do Processo Proposto	44
4.1	Concepção de um Modelo Conceitual para Avaliação de Interfaces	44
4.1.1	Dimensão da Linguagem	46
4.1.2	Dimensão de Estudos/Compreensão	46
4.1.3	Dimensão Humana	47
4.2	Concepção de um Modelo Metodológico para avaliação de interfaces.	49
5.	Aplicação do Processo.....	55
5.1	Aplicação da Avaliação de Interface no Estudo da Decolagem – “ <i>take-off</i> ”	55
5.2	Aplicação do Processo no Estudo da Aproximação	60
5.2.1	Estudo da aproximação e pouso: Contexto e participantes.....	61

5.2.2	Estudo da Aproximação e Pouso: Resultados da Análise Semântica e de Normas	65
5.2.3	Estudo da Aproximação: Tabulação qualitativa dos resultados.....	74
6.	Meta-Análise e Discussão	79
7.	Conclusão	84
7.1	Contribuições da Pesquisa	85
7.2	Trabalhos Futuros	86
7.3	Considerações Finais	87
	Referências Bibliográficas.....	89
	Anexo I: Experimentos com especialistas de domínio.....	95
	Anexo II – Artigo HCII Las Vegas 2013.....	110
	Anexo III – Estudos de Caso de Acidentes Aéreos.....	126

Lista de Figuras

Figura 1- Dados Acidentes na aviação brasileira 2002 a 2012 (Fonte: Cenipa 2002 a 2012).....	3
Figura 2- Fatores Contribuintes na aviação civil brasileira 2001 a 2010 (Adaptado de Cenipa, 2012).....	3
Figura 3- Visão geral do método de pesquisa.....	9
Figura 4- Área de abrangência do trabalho- Aviação Geral e Comercial no contexto da Indústria Aeronáutica.....	13
Figura 5- Tarefas requeridas em voo (adaptado de Aviation Instructor's Handbook 2008).....	15
Figura 6- Resumo de atividades da decolagem.....	17
Figura 7- Horizonte Artificial Digital.....	19
Figura 8- Perfil Típico de Aproximação para Pouso.....	21
Figura 9- Perfil típico de pouso por instrumento “ILS” adaptado de Midkiff e outros, (2004).....	23
Figura 10- Dispositivos da cabine de comando, funções correlacionadas e localização na aeronave.....	25
Figura 11- Dispositivos da cabine de comando suplementares, funções correlatas e localização na aeronave.....	25
Figura 12- A Multi (Inter) (Trans) Disciplinaridade em IHC (Preece, 1994).....	27
Figura 13- Os sete estágios da teoria de Norman.....	34
Figura 14- Framework Semiótico (adaptado de Stamper, 1973).....	37
Figura 15- Modelo (“Cebola” Instanciado adaptado de Guimarães, 2010).....	42
Figura 16- Interação e integração dos agentes envolvidos (adaptado de Guimarães, (2010).....	43
Figura 17- Visão Geral da IHC no contexto da proposta.....	44
Figura 18- Interfaces em escala de posições relativas.....	45
Figura 19- Interface da IHC crítico no contexto da proposta.....	50

Figura 20- Lista de Técnicas, Métodos e Suas Contribuições.....	51
Figura 21- SCoEm (De Moreira e Bonacin , 2013).....	54
Figura 22- Aeronave de instrução Cessna 152.....	56
Figura 23- Seleção de questões e discussões grupo focal I	56
Figura 24- Quadro ontológico simplificado da decolagem.....	57
Figura 25- Quadro de atividades grupo focal II.....	63
Figura 26 - Recursos “ATC.....	63
Figura 27- Reunião focal e simulação em aeronaves no solo.....	64
Figura 28- Quadro de ontologia da aterrissagem.....	67
Figura 29- Principais componentes envolvidos no estudo – Antenas.....	67
Figura 30- Gerador de vácuo, portas estáticas e sensores tubos de Pitot.....	68
Figura 31- Dispositivos Atuadores externos.....	68
Figura 32- Dispositivos da cabine de comando – instrumentos analógicos.....	69
Figura 33- Dispositivos da cabine de comando – instrumentos “ <i>Glass-Cockpit</i> ”	70

Lista de Tabelas

Tabela 1: Listagem das principais atividades na preparação do voo, decolagem, saída do circuito e entrada na aerovia.....	19
Tabela 2: Principais tarefas da tripulação técnica no perfil de aproximação estabilizada.....	22
Tabela 3: Principais tarefas dos tripulantes na fase final da aproximação final.....	23
Tabela 4: Principais tarefas dos tripulantes técnicos após o toque no pouso.....	24
Tabela 5: Normas comportamentais determinantes da Decolagem.....	57
Tabela 6: Resposta dos Pilotos.....	60
Tabela 7: Tempos dedicados por tarefa.....	65

Tabela 8: Normas determinantes comportamentais da Aproximação e Pouso.....	71
Tabela 9: Síntese dos Resultados das discussões sobre o primeiro tópico.....	75
Tabela 10: Síntese dos Resultados das discussões sobre o segundo tópico.....	76
Tabela 11: Síntese dos Resultados das discussões sobre o terceiro tópico.....	77
Tabela 12: Síntese dos Resultados das discussões com técnico especialista ATCO.....	78

Abreviaturas e Siglas

AEROVIA “*AWY*” – Corredores aéreos com dimensões e localizações definidas, utilizadas por aeronaves entre partida e destino.

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil.

ACARS – “*Aircraft Communications Addressing and Reporting System*” Sistema de transmissão de dados que pode ser utilizado na comunicação entre aeronave, órgão ATC e controle operacional da companhia aérea.

ADF - “*Automatic Direction Finder*” Receptor de ondas de rádio para navegação aérea e indica direção da aeronave em graus em relação à estação repetidora de sinais VOR, ou de estações de rádio em frequência modulada (AM).

AIS - “*Aeronautical Information System*” Sala de Serviços de Informação Aeronáutica.

APIS - Análise e Projeto de Interfaces de Segurança

APP – “*Approach Control*” Centro de Controle de Aproximação

ATC – “*Air Traffic Control*” Controle de Tráfego Aéreo

ATCO- “*Air Traffic Controller*” Controlador de Tráfego Aéreo

ATIS - “*Automatic Terminal Information Service*” Serviço Automático de Informação Terminal.

BRIEFING – Discussões precisas de instruções prévias de tarefas e atividades pertinentes ao voo.

CENIPA – Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos

CHECK-LIST – Lista de itens de procedimentos obrigatórios nas diferentes fases de preparação e do voo em que devem ser lidas e conferidas pela tripulação técnica de cabine.

CNPAA – Comitê Nacional de Prevenção de Acidentes Aeronáuticos.

CLEARANCE – Nomenclatura em Inglês para autorização de qualquer atividade por parte das autoridades Aeronáuticas (ATC).

CRM – “*Crew Resource Management*” Gerenciamento de recursos entre tripulação – atualmente estendido a gerenciamento de recursos entre a corporação como um todo.

CROSS-CHECK – Checagem de leitura cruzada de parâmetros de voo nos instrumentos na cabine de comando.

CRS – “*Course*” Curso – mesmo que Rumo.

CVR – “*Cockpit Voice Recorder*” Gravador de voz da cabine de comando.

DAC - Extinto Departamento de Aviação Civil Atual ANAC.

DEBRIEFING – Discussões relativas a tarefas e atividades executadas após o voo.

DME- “*Distance Measure Equipment*” Medidor de distância telemétrico da aeronave até a estação repetidora de sinas VOR.

DP – Design Participativo.

DI – Design de Interface.

DOT – “*US Department of Transportation*” Departamento de Transporte dos Estados Unidos da America.

DOV – Despachante Operacional de Voo .

ESTOL – Perda de sustentação da aeronave por descolamento do fluxo de ar laminar nas asas.

FLAME-OUT – Propulsor sem Combustão.

FA- “*Flight Attendant*” Comissária ou Comissário de Bordo.

FAA – “*Federal Aviation Administration*” Federação Administrativa Americana de Aviação Civil.

FDR – “*Flight Data Recorder*” Gravador de Dados de Voo.

FL – “*Flight Level*” Nível de Voo (Unidade de medida em pés medida em relação ao nível do mar).

FMS – “*Flight Management System*” Sistema de gerenciamento de voo formado por computador (FMC) “*Flight Management Computer*” e unidade de controle (CDU) “*Control Display Unit*”.

FP– Flight Plan” Plano de Voo.

GPS- “*Global Positioning System*) Sistema de Posicionamento Global

GPWS- “*Ground Proximity Warning System*” Sistema de Alarme de proximidade do terreno.

GMT – “*Greenwich Mean Time*” Hora média de Greenwich, padrão de horário mundial.

HSI – “*Horizontal Situation Indication*” Indicador de Posição Horizontal.

HF – “*High Frequency*” Radio de alta frequência utilizado em viagens intercontinentais.

HOLDING – Nomenclatura em Inglês para espera (em pontos específicos no solo) ou em voo (voo em círculos).

IFR – “*Instrument Flight Rules*” Regras de Voo por Instrumento.

IHC – Interação Humano Computador.

IHM - Interação Humano Máquina.

ILS – “*Instrument Landing System*” Sistema de pouso por instrumento.

IMC - “*Instrument Meteorological Condition*” Condições Meteorológicas para voo por Instrumentos.

IAS- Velocidade indicada calibrada pela temperatura e pressão do local expressa em nós.

MDF – “*Multi Function Display*” Instrumento Digital Multifuncional.

MEASUR – “*Methods for Eliciting, Analysing and Specifying Users’ Requirements*”. Método de Elicitação, Análise e Especificação de requisitos de Usuários.

MTOW - “*Maximum Take-off Weight*” Peso Máximo de Decolagem.

NAM - “*Norm Analysis Methods*” Método de Normas de Análises.

NDB - “*Non-directional Beacon*” Marcador Não Direcional – Radio Farol.

NAV/COMM – “*Navigation and Communication*” Sistemas Eletrônicos de Navegação e Comunicação.

OACI - “*ICAO*” Organização da Aviação Civil Internacional.

PA – Piloto com formação específica para atuar profissionalmente no comando aeronaves agrícolas

PAM - “*Problem Articulation Methods*” Método de Articulação de Problemas.

PC – Piloto Comercial – Piloto com formação para atuar profissionalmente no comando de aeronaves com fins comerciais.

PLA- Piloto de Linha Aérea – Piloto com formação para atuar profissionalmente em linhas aéreas regulares.

PF-“*Pilot Flying*” Piloto no comando da aeronave.

PMF- “*Pilot Monitoring Flight*” Piloto em monitoração do voo.

PMS “*Performance Management System*” Sistema de Gerenciamento de Desempenho.

PD - “*Participatory Design*” Design Participativo

PP- Piloto Privado – Piloto com formação para atuar na aviação geral e experimental não remunerada

SCANFLOW – Análise de Fluxo de Informações.

SAM - “*Semiotic Analysis Method*” Método de Análise Semiótica.

SID – Procedimento de saída de aeródromo por regra de voo por instrumentos.

SL - “*Semiotic Ladder*” Escada Semiótica.

SO - Semiótica Organizacional.

STAR – “*Standard Terminal Arrival Route*” Rota Padrão de Chegada ao Terminal

RA – Regulamentação Aeronáutica: Conjunto de normas que regulamentam o setor aeronáutico.

RMI - “*Radio Magnetic Indicator*” Indicador rádio magnético e indica a proa da aeronave em relação a estação emitidora do sinal.

PMS - “*Performance Monitoring System*” Sistema de Monitoração de Desempenho.

TCAS- “*Traffic Collision Avoidance System*” Sistema anti colisão.

TOGA - “*Take Off, Go Around*” Potência máxima nos motores.

TWR- “*Tower*” Torre de controle.

UI - “*User Interface*” Interface de Usuário.

UTC – Termo em Francês “*Temps Universel Coordonné*” Tempo Universal Coordenado.

VFR - *Visual Flight Rules* Regras de Voo Visual.

VHF - “*Very High Frequency*” Frequência de onda muito alta em comunicação via rádio.

VI – Velocidade Indicada.

VOR – “*Very High Frequency Omnidirectional Range*” Ondas de radio omnidirecionais em frequência muito alta.

VRF – Velocidade de referência de pouso em função do tipo e do peso da aeronave. mesma.

1. Introdução

O ambiente da cabine de comando de aeronaves da aviação militar¹, civil² e aviação geral³ é composto por centenas de indicadores e mostradores luminosos, botões e mecanismos de toda ordem. Embora seja um ambiente metódico e organizado, ele possui elevada complexidade e é contra intuitivo e indireto.

A intensa carga de atividades essenciais, de gestos e ações mecânicas repetidas (*i.e.*, ações experimentais) e cognitivas por interpretação, de análise e decisão (*i.e.*, ações reflexivas) é atribuída à tripulação técnica⁴. Estas ações são executadas com estrito apoio em tempo real das autoridades aeronáuticas no solo conhecidas como órgão de controle aéreo “*Air Traffic Control*” (ATC), e também dos departamentos técnicos das companhias aéreas que atuam como importante recurso na retaguarda, a exemplo da manutenção dos planos de voo em rota, previsões meteorológicas, distúrbios mecânicos etc.

Entretanto, grande parte da carga de trabalho recai sobre a tripulação técnica e está presente em todas as fases do voo que se inicia nas salas de planejamento “*Aeronautical Information System*” (AIS)– Serviço de Informação Aeronáutica, dos Aeroportos quanto à missão e finalidade do voo. Estas tarefas compreendem análises das condições meteorológicas em rota e no destino, do aeroporto alternativo e detalhamento do plano de voo, da escolha do procedimento se voo visual por referências no solo “*Visual Flight Rules*” (VFR) ou por instrumentos com visibilidade reduzida “*Instrument Flight Rules*” (IFR), da análise dos parâmetros de peso e balanceamento, dos cálculos de autonomia do voo pela quantidade de combustível adicionado, dentre outros.

Uma vez definidos parâmetros acima relacionados e aprovados pelas autoridades aeronáuticas, tripulantes técnicos assumem seus papéis para os quais foram intensamente treinados e capacitados. Entretanto, conforme destacado por Norman (1990), seres humanos são susceptíveis a atos falhos de toda ordem como erro ou falhas, exigindo, portanto

¹ Aviação Militar de acordo com conceitos definidos pelo sistema de Defesa é o braço armado da Aeronáutica dedicada à defesa do território Nacional e não será tratada neste trabalho

² Aviação Civil é qualquer utilização não militar da aviação e se divide em duas categorias: transporte aéreo, de passageiros e de cargas, e aviação geral.

³ Aviação geral abrange todas as outras operações de voo, comerciais ou privadas. Nesta categoria, estão incluídas a aviação agrícola, a experimental, a desportiva, a executiva, o táxi aéreo, aerofotogrametria, transporte de cargas externas, entre muitos outros exemplos.

⁴ Tripulação técnica conforme a ANAC são o comandante como piloto responsável pelo voo e o primeiro oficial que auxilia o comandante em todas as funções e outros especialistas técnicos como navegadores, mecânicos de voo e operadores de rádio.

estudos e compreensão mais ampla e detalhada que não englobe apenas fatores de aprendizado na condução de máquinas complexas, mas também envolvam aspectos psicossociais e comportamentais que estão inseridos na Interação Humano Máquina e Humano Computador.

Problemas da Interação Humano-Máquina (IHM), no sentido amplo (*i.e.*, como menção aos dispositivos eletrônicos programáveis ou não, eletro mecânicos, eletro hidráulicos ou simplesmente mecânicos presentes no ambiente da cabine de comando de aeronaves), tem sido apontados como causas em eventos que colaboraram com grandes perdas materiais e humanas. Neste cenário, o design e avaliação de interfaces devem seguir processos rigorosos, assim como buscar por métodos inovadores. Consideram-se aqui inovadores no “estado da arte” na medida em que possibilita análise dos aspectos pouco explorados por outros processos de avaliação presentes na literatura técnica e científica da área de Interação Humano-Computador (IHC). Espera-se do produto da pesquisa associada a esta dissertação, contribuições para aprofundamento da compreensão das questões relacionadas ao conhecimento da interação humano computador gerando melhorias na modelagem de processos que auxiliem na redução de erros e atos falhos⁵ (Santi S. 2009)

1.1 Contexto, Motivação e Justificativa.

Como pode ser observado na Figura 1, acidentes e incidentes aeronáuticos têm causado centenas de milhares de perdas de vidas humanas e grande valor material. O CENIPA (Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos) por meio do CNPAA (Comitê Nacional de Prevenção de Acidentes Aeronáuticos) indica fatores humanos de julgamento, de supervisão, planejamento e aspectos psicológicos como os principais contribuintes de acidentes da aviação civil. Conforme destaca a Figura 2, no período de 2001 a 2010, fatores humanos teve estatisticamente a maior participação nestes eventos, seguidos dos fatores materiais e operacionais. Estes relatórios técnicos indicam e enumeram carências de treinamento e desconhecimento da tecnologia de forma associada. Recomendações são geradas nos relatórios finais para que não mais ocorram, e não tem efeitos punitivos e sim didáticos. Esta dissertação aprofunda o tema e propõe modelo

⁵ Atos Falhos possuem diferentes definições nas literaturas especializadas de comportamentos humanos. Do ponto de vista das Instituições Aeronáuticas que estudam desvios de comportamento por influências do meio ambiente dos tripulantes técnicos a exemplo de fadiga e problemas pessoais, atos falhos são fatores concretos contribuintes à ocorrência de acidentes.

de análise Semiótica como ferramenta de abordagem na interação entre tripulantes técnicos e dispositivos embarcados.

Por definição, acidente é um evento indesejável e inesperado que causa danos pessoais como morte ou lesão grave, danos materiais e financeiros de grande valor e que ocorre de maneira não intencional (Cenipa, 2012). Já incidente define-se por evento indesejável e inesperado, porém restrito a danos materiais. No Brasil a taxa de crescimento de acidentes e incidentes tem sido superior ao aumento da frota (Cenipa, 2012).

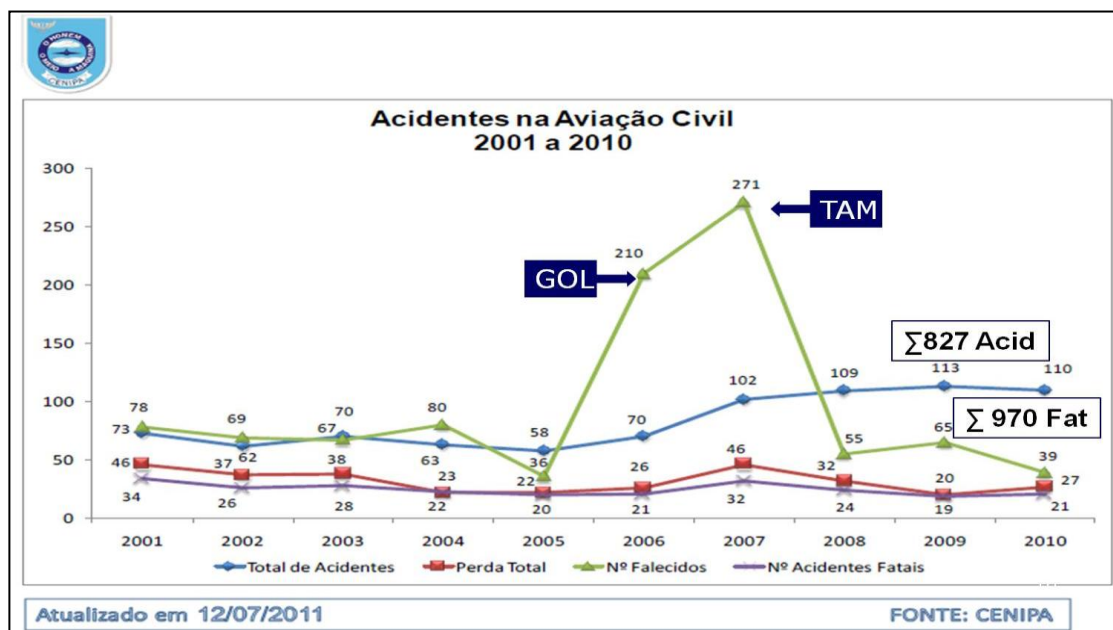


Figura 1: Dados de acidentes na aviação brasileira de 2002 a 2010 (Adaptado de Cenipa, 2012)

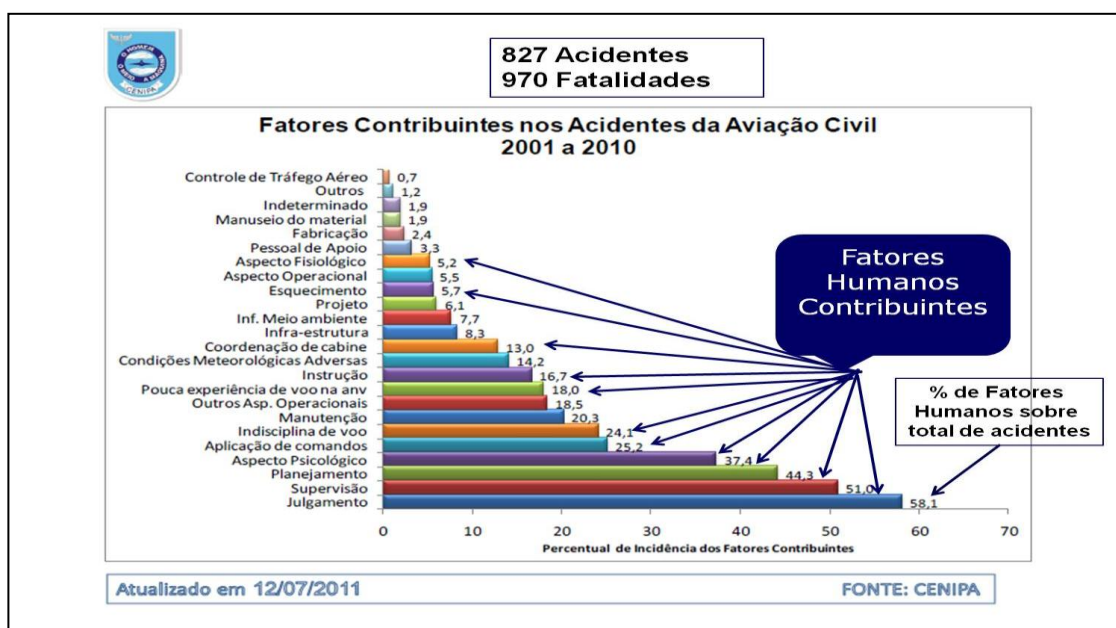


Figura 2: Fatores Contribuintes na aviação civil brasileira 2001 a 2010 (Adaptado de Cenipa, 2012)

A análise dos acidentes aeronáuticos no Brasil é realizada pelo CENIPA, órgão militar ligado ao Ministério da Aeronáutica, que se baseia em legislação internacional da Organização da Aviação Civil Internacional “*International Civil Aviation Organization*” (ICAO). Estas análises abordam fatores agrupados (materiais, operacionais e humanos) que resultam em visão multicausal dos acidentes. Todavia, esses estudos restringem-se ao sistema Homem-Máquina e não são investigadas falhas decorrentes de questões organizacionais.

O Brasil tem constituído um procedimento independente de investigação de acidentes e incidentes aeronáuticos, com objetivo único de prevenção e não a imputação de culpa ou responsabilidade. Esta investigação seleciona de forma clara fatores de causa e efeito e fatores contribuintes a exemplo de falhas mecânicas ou humanas aqui consideradas como fator humano.

O Fator Humano compreende o homem sob o ponto de vista biológico, em seus aspectos fisiológicos e psicológicos. O fator material engloba a aeronave e o complexo de engenharia aeronáutica. O fator operacional compreende os aspectos que envolvem o homem no exercício da atividade, incluindo os fenômenos naturais e a infraestrutura (Cenipa, página web 2013).

Ao longo do tempo da industrialização da aviação militar, civil e geral houve tentativas para impor algum tipo de organização (dentro desse processo complexo) e auxiliar a tripulação no desempenho de suas tarefas. Desta maneira, houve a substituição do total controle humano por ferramentas tecnológicas, a fim de automatizar tarefas rotineiras.

A automação aumenta a confiabilidade na administração das variabilidades do ambiente por meio da padronização de operações de rotinas alocadas na “parte máquina” do sistema. O crescimento da automação de procedimentos operacionais anteriormente desempenhados por humanos promoveu a tripulação a uma função mais gerencial. Com essa mudança, houve uma transferência da sobrecarga física para um sistema autômato operado através de um sistema de codificação redundante e de controle de parâmetros.

As rotinas operacionais estabelecidas para o funcionamento interligado desses sistemas automatizados podem acarretar no aumento da probabilidade de ocorrência de situações novas e, conseqüentemente, de falhas não previstas ou não percebidas no sistema. Estas falhas podem resultar em sérios problemas, frequentemente relacionadas à compreensão do real estado do sistema automático num dado momento.

Esse processo de constante automação de funções e procedimentos operacionais dentro de sistemas complexos visa não só atender a demanda crescente, mas fazê-lo de forma mais rápida, precisa e segura em substituição a procedimentos operacionais em que a sobrecarga física e cognitiva se tornou um desafio à eficiência e segurança do sistema.

Os fatores apresentados motivam a busca pelo melhor entendimento da interação entre sistemas automáticos computacionais com o ser humano encarregado de gerenciá-los, de modo a garantir a eficiência, eficácia e segurança em voo. Estudos recentes demonstram avanços neste entendimento, entretanto faz-se necessário explorar aspectos que vão além do entendimento da ergonomia física, levando em consideração os padrões de comportamento e a intencionalidade na interação com sistemas computacionais em cabine. Em particular, destaca-se a necessidade por processos de análises de interação que possibilitem entendimento das ações entre a tripulação técnica e os diversos sistemas autônomos⁶ embarcados.

1.2 Objetivos, Contribuições e Métodos.

Em função dos aspectos apontados na seção anterior, o propósito da dissertação é constituir e analisar a interação humano-computador no âmbito da cabine de comando de aeronaves com objetivo do entendimento do por que dos atos falhos e de sua redução.

Estas análises consideram falhas de interpretação, da compreensão dos fatos e das ações em si que causam acidentes, incidentes e perda de produtividade ao longo da tarefa de condução da aeronave de forma segura, rápida e econômica. O foco é analisar os padrões de comportamento que ditam o significado e entendimento das ações realizadas pela tripulação na cabine (Semântica), e suas relações com a intencionalidade no gerenciamento do sistema (Pragmática).

Análises exploram potenciais inconsistências entre a interpretação, a intenção e a ação resultante durante a pilotagem. Por exemplo, ao interpretar o efeito do posicionamento do manete de potência (*i.e.*, aceleração, marcha lenta ou posição reverso dos motores), a ação desejada (*i.e.*, isto é pousar ou arremeter) e a ação resultante (*i.e.*, acelerar ou frear).

O estudo apresentado teve sua base no Design Participativo (DP), Design da Interação (DI) e Semiótica. De maneira mais específica, este trabalho propõe a pesquisa por

⁶ Sistemas autônomos são dispositivos computacionais dotados de processadores eletrônicos capazes de operar e gerenciar múltiplas tarefas simultâneas de acordo com parâmetros dos dados inseridos.

análises Semióticas da interação que permitam visualizar com profundidade os aspectos relacionados à pragmática (em particular a relação intenção e ação) e a semântica no uso de dispositivos computacionais e/ou eletromecânicos em cabines de aeronaves. Para tanto, serão empregados de maneira integrada teorias e métodos da IHC, DP e Semiótica Organizacional (SO).

Adicionalmente esta dissertação adota a visão de Perrow (1999), onde sistemas complexos podem ser definidos como um conjunto de elementos interdependentes que interagem de forma organizada, baseados em regras simples, porém não lineares, onde cada um dos elementos componentes comporta-se, como um sistema cujo resultado é maior do que as unidades poderiam obter se funcionassem independentemente. Esse comportamento produzido é complexo e derivado da relação do conjunto de partes coordenadas voltadas a objetivos comuns formando um todo. Neste sentido, sistemas de automação operacional de cabine podem ser entendidos como sistemas complexos altamente intensivos em ações gerenciais que demanda alta carga cognitiva.

Seguindo o referencial da Semiótica, o gerenciamento do sistema é realizado através da mediação por signos representativos de um processo organizado. Este sistema de signos traduz-se em uma linguagem própria do ambiente operacional para a qual foi desenvolvido com o intuito de estabelecer uma comunicação entre homem e máquina através de uma linguagem objetiva. Essa delegação de tarefas operacionais dos seres humanos para as máquinas levou os operadores a desempenharem um número cada vez maior de tarefas cognitivas devido à possibilidade que a automação trouxe de acumular funções e a responsabilidade de gerenciar esse sistema.

Na visão adotada neste trabalho, o papel da interface de sistema computacional ou de dispositivos eletromecânicos é o de proporcionar um canal de diálogo entre a tripulação técnica e o dispositivo propriamente dito. Este canal de diálogo coordena as ações do operador com o dispositivo sob a forma de controles, e do dispositivo para operador, na forma de dados e informações úteis (por meio de signos). Se um sistema tem boa usabilidade e é utilizável, o diálogo é intuitivo, transcorre de forma natural, e permite aos usuários trabalharem em harmonia e de forma produtiva com o sistema. Ou seja, a interpretação da interface, a intenção e as ações realizadas na cabine ocorrem de maneira consistente.

Existem diversos métodos para avaliar e melhorar a usabilidade de um sistema. Alguns são empíricos, outros exigem o apoio de um especialista em usabilidade, e alguns são potencialmente aperfeiçoados quando realizados por grupos.

Neste sentido, esta dissertação visa explorar a visão baseada em Semiótica na avaliação de interação na cabine de comando. Para tanto, pretende-se compor processos com técnicas e métodos de avaliação ainda pouco explorados na literatura com o propósito de analisar interfaces de cabine. Portanto, pretende-se responder a seguinte questão de pesquisa principal:

“Como constituir processos para a avaliação capazes de analisar potenciais problemas de interação humano computador na cabine considerando aspectos semânticos e pragmáticos?”.

Nossa hipótese é que teorias e métodos da SO alinhadas a avaliação participativa com especialistas do domínio em um processo bem estruturado será capaz de analisar aspectos semânticos e pragmáticos na interação dos tripulantes técnicos com dispositivos em cabine de comando.

Do ponto de vista tecnológico espera-se criar um processo de avaliação da interação, que embora não completo (i.e., é impossível garantir 100% de adequação), lide com aspectos da comunicação humano-computador que ainda não são atendidos pelos processos e métodos existentes.

Do ponto de vista científico, pretende-se contribuir com o avanço no conhecimento da interação em ambiente de cabine, em particular no entendimento de fatores humanos ligados a aspectos semânticos e pragmáticos da comunicação humano - dispositivos computacionais e eletromecânicos.

1.3 Métodos da Pesquisa

Nesta dissertação foi usado um método de pesquisa iterativo e interativo, baseado em método hipotético dedutivo, pois o conhecimento neste assunto não é absolutamente verdadeiro e 100% demonstrável. Ou seja, assume-se aqui que o processo de avaliação perfeito é impossível de atingir e o que se pretende aqui demonstrar é que obtermos um bom processo que lida com aspectos ainda inexplorados na literatura através da construção de hipóteses que são continuamente refutadas através de estudos com pilotos. O método de pesquisa utilizado é iterativo no sentido de engajar em um ciclo onde as hipóteses

são avaliadas, e a partir disto são criadas novas hipóteses. O método de pesquisa é também interativo ao considerar a participação direta dos especialistas no domínio “pilotos” na construção do conhecimento em conjunto.

O detalhamento de cada iteração é apresentado em fases desde sua concepção, elaboração de questionamentos pertinentes por meio de técnicas de aberta troca de ideias “*brainstorming*”; o refinamento das questões por especificidade, assertividade e ordem de importância, discussões conjuntas com o moderador e entrevistados; e finalmente realização de tarefas simuladas com instrutores de voo e pilotos pertencentes ao grupo focal em ambiente real de cabines das aeronaves no solo, pratica esta comum no ensino e treinamento pela proximidade com o ambiente real e sem riscos inerentes das tarefas em voo real. Desta forma, a Figura 3 apresenta a visão geral da pesquisa realizada em quatro fases que repetem a cada iteração:

- Na primeira fase foi realizado estudo das áreas e métodos relacionados;
- Na segunda fase foram formuladas hipóteses sobre como cada método contribui para o processo proposto (*e.g.*, o SAM contribuiu para a identificação dos padrões comportamentais);
- Em seguida, na terceira fase, foram realizados estudos com pilotos objetivando de refutar/confirmar as hipóteses;

Por fim, na quarta fase, foi realizada a análise dos resultados juntamente com pilotos e especialistas no domínio de forma participativa.

Com isto, completou-se o ciclo e obtivemos uma primeira versão do processo; com isto iniciou-se um novo ciclo com o estudo, explicando resultados e formulando novas hipóteses.

No primeiro ciclo foram considerados ações na fase de decolagem/ “*take-off*” e aceleração, o objetivo deste ciclo era de forma exploratória estudar o problema e definir um macro processo de análise da interação.

No segundo ciclo foram consideradas de maneira mais aprofundada as ações na aproximação para pouso / “*landing approach*”, o objetivo foi complementar a pesquisa com um estudo mais extenso e aprofundado e também aprimorar o processo.

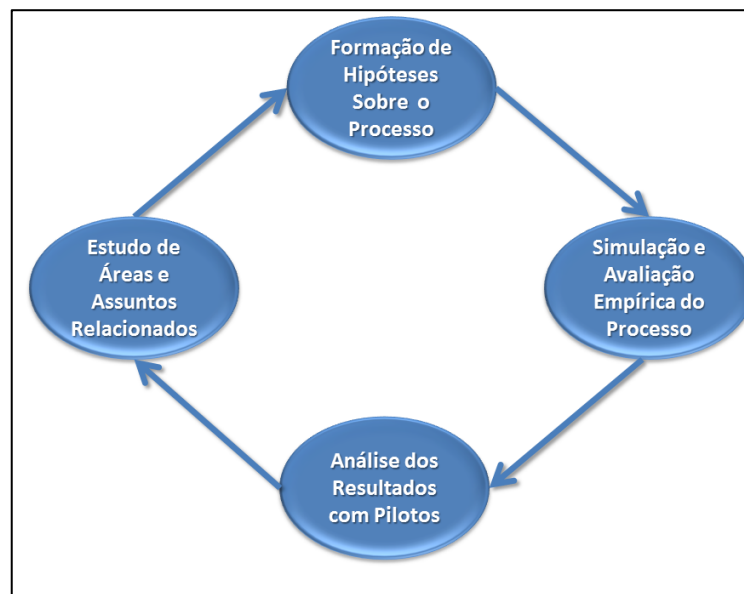


Figura 3: Visão geral do método de pesquisa

1.4 Organização Geral da Dissertação

Esta dissertação está organizada da seguinte forma:

- **Capítulo 2:**

Neste capítulo é apresentado o detalhamento do problema, isto é o estudo das atividades dos profissionais pilotos denominados tripulantes técnicos, no estrito ambiente da cabine de comando de aeronaves; que por sua natureza apresenta aspectos desgastantes para estes profissionais por serem espaços exíguos, desconfortáveis devido ao ruído, vibração, excesso ou falta de iluminação, deixando a desejar no aspecto ergonômico físico e cognitivo em função da multiplicidade de tarefas de acionamentos simultâneos. O sincronismo e a divisão de tarefas no ambiente da cabine de comando pelos tripulantes técnicos são criteriosamente detalhados neste capítulo, com ênfase aos aspectos das interfaces e da carga de trabalho em diferentes fases do voo, desde sua básica preparação em solo até a finalização da mesma no aeródromo⁷ de destino. Para efeito de estudo as etapas de voo foram separados em dois grandes grupos, sendo o primeiro a missão do voo em si

⁷ Aeródromo: Local físico predeterminado que pode receber aeronaves em voo e difere de Aeroporto que além de ser Aeródromo todo Aeroporto dispõe de estrutura física para embarque e desembarque de passageiros e cargas.

e tarefas subsequentes até atingimento do nível de voo denominado “voo de cruzeiro”. Esta fase foi denominada decolagem (*take-off*). A segunda etapa denominada aproximação para o pouso (*Landing Approach*) detalha em pormenores intensas atividades dos tripulantes técnicos desde a transição do voo em cruzeiro até o desligamento dos motores e encerramento das atividades do voo.

- **Capítulo 3:**

Neste capítulo é apresentado o referencial teórico-metodológico e o corpo da teoria fundamental do ponto de vista da tecnologia, entretanto sob a ótica da multidisciplinaridade da IHC em ambientes críticos de cabines de aeronaves. Também são apresentados e discutidos artigos científicos relacionados às áreas de IHC, DI e DP como ferramentas importantes. A Semiótica em IHC e os métodos da SO são tratados em detalhes neste capítulo incluindo trabalhos congêneres em SO voltados a sistema críticos.

- **Capítulo 4:**

Neste Capítulo é apresentada a concepção e descreve o processo proposto a partir do entendimento da multidisciplinaridade do tema. Foi produzido primeiramente um *framework*/modelo conceitual e a seguir um “modelo metodológico” (ou *Framework Metodológico*) que serviram de base para a concepção do processo. O modelo conceitual para avaliação de interfaces explora aspectos interdisciplinares que podem contribuir para a eficiência na interação homem/dispositivos computacionais em cabine. Com intuito de lidar com este problema complexo o modelo organiza os temas em três dimensões: a dimensão de estudos (ou de entendimento), dimensão humana e a dimensão da linguagem. Em seguida avançou-se na concepção de um modelo metodológico para avaliação de interfaces que propõe utilização dos métodos da SO, DP e DI como suporte ao entendimento e modelagem dos aspectos levantados no modelo conceitual. No capítulo então é apresentado o SCoEM (inicialmente chamado de “*Semiotic Cockpit Evaluation Method*”) e engloba a descrição macro de um processo de avaliação. No SCoEM a cabine é entendida como sistema social organizado onde agentes se comportam de maneira organizada de acordo com um sistema de normas.

- **Capítulo 5:**

O capítulo 5 descreve a aplicação do processo proposto em estudos de caso com especialistas do domínio (pilotos). Primeiramente é detalhada a aplicação do processo no

estudo da decolagem denominada “*take-off*”, com utilização de aeronave de instrução no solo. Uma série de normas e questionamentos foram plotados a partir de perguntas associadas aos aspectos técnicos e comportamentais do voo. De maneira similar o capítulo detalha o processo na fase do voo denominado aproximação e pouso “*Landing Approach*”. Para cada estudo são apresentados: (1) os participantes (três no primeiro estudo, e incluído cinquenta técnicos e especialistas do domínio em um workshop onde a modelagem foi discutida e sete no segundo estudo); (2) a dinâmica de atividades desenvolvidas, tais como modelagem participativa, workshop, grupos focais e simulação em solo; (3) os diagramas e modelos de normas produzidos em cooperação com especialistas; e (4) a análise qualitativa dos resultados tabulados de em múltiplas perspectivas de acordo com o referencial da SO.

- **Capítulo 6:**

O capítulo 6 apresenta uma meta-análise dos resultados obtidos no capítulo 5, como maneira de sintetizar pontos determinantes dos estudos com pilotos. Este capítulo ainda discute a aplicação do método, suas limitações e demandas por novas pesquisas.

- **Capítulo 7:**

O capítulo 7 conclui a dissertação incluindo uma análise sobre suas contribuições de pesquisa, proposição de trabalhos futuros e por fim considerações finais de cunho técnico e pessoal.

- **Anexo I: Experimentos com especialistas de domínio**

O anexo I apresenta coletânea de dados, discussões do grupo focal, compilação e tabulação dos questionamentos propostos em sala assim como exposição das técnicas utilizadas em simulação de tarefas em diferentes fases do voo em cabines de comando de aeronaves no solo.

As tarefas foram anteriormente discutidas com os pilotos por meio da técnica denominada (“*brainstorming*”), com claro intuito de seleção de relevantes questionamentos da IHC no referido ambiente crítico da IHC, assim como favorecer o necessário e profícuo ambiente de troca de informações relativas aos aspectos técnicos do conhecimento, regras comportamentais e culturais etc.

Ao término de cada sessão foram discutidos aspectos importantes dos questionamentos selecionados e devidamente registrados para posterior compilação, tabulação e avaliação comportamental comparativa.

As tarefas acima foram divididas em dois grandes grupos, a saber, fase da decolagem e aproximação para pouso em diferentes épocas e com diferentes profissionais aqui

denominados (especialistas de domínio). Cada tarefa foi explicada e discutida por técnica de “*briefing*”.

Ainda que dados coletados fossem empíricos, isto é não seguiram rigor científico no estudo da dispersão, depuração, tratamentos estatísticos, eliminação de impressões contraditórias etc., são aqui considerados válidos baseados no conhecimento e vivência no meio aeronáutico.

Para enriquecimento dos dados foram executadas simulações e repetições na hipótese de dúvidas até total concordância do entrevistador com o piloto entrevistado por meio da técnica “*debriefing*”, para a devida validação do processo.

- **Anexo II: Artigo HCII Las Vegas 2013**

O anexo II apresenta artigo publicado na 15th. International Conference, HCI International 2013 Las Vegas, NV USA, July 21-26, 2013.

Section: Safety in Transport, Aviation and Industry.

Title: A Semiotic method for evaluating automated cockpit interfaces

Authors: Waldomiro Moreira and Rodrigo Bonacin

- Yamamoto (Ed.): HIMI/HCII 2013, Part II, LNCS 8017, pp. 530–539, 2013. © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013 – HCII Las Vegas 2013

- Apêndice 1- Consent to Publisher Springer Copyright
- Apêndice 2- Correspondências de Autorização de utilização HCII/Springer
- Anexo III: Estudo de Caso de Acidentes Aéreos

O Anexo III apresenta o estudo de caso de interpretação de três acidentes aéreos, selecionados e analisados em seus aspectos técnicos, psicológicos e comportamentais sob a permanente ótica da IHC em ambiente crítico e baseados em relatórios oficiais investigativos de acidentes aéreos, coletânea de artigos publicados e dados da mídia impressa: o primeiro deles ocorrido com o voo RG 254 da extinta Varig, que em 3 de Setembro de 1989 deixou 13 vítimas fatais; o segundo acidente relata o voo TAM RG 3054 em 17 de Julho de 2007 com o total de 181 passageiros, 6 tripulantes e 12 pessoas no solo mortos, e o terceiro acidente relata o voo Air France A447 de 01 de Julho de 2009, com 216 passageiros e 12 tripulantes mortos.

2. Detalhamento do Problema

Esta dissertação tem o caráter multidisciplinar da disciplina IHC em ambiente crítico e tem sua aplicação no setor aeroespacial, mais especificamente no segmento da aviação civil e geral, desta maneira suas principais contribuições da pesquisa são em IHC, mas suas contribuições práticas extrapolam os limites da computação e se dá principalmente no contexto da aeronáutica. A Figura 4 descreve de forma macro as abrangências do segmento aeroespacial e de forma reduzida a área de atuação na aplicação deste trabalho, onde se espera ter contribuições bem delimitadas.

A Figura 4 também descreve o foco no setor aeroespacial que esta dissertação atua. Ela apresenta o cenário do ambiente de cabines de aeronaves como tema central e correlações da disciplina da IHC nos aspectos do design de interação e da engenharia de usabilidade; e ainda sistemas IHC críticos e seus desdobramentos como influência dos fatores ambientais, da saúde, da segurança e do conforto relacionados aos tripulantes técnicos enquanto ativos participantes usuários.

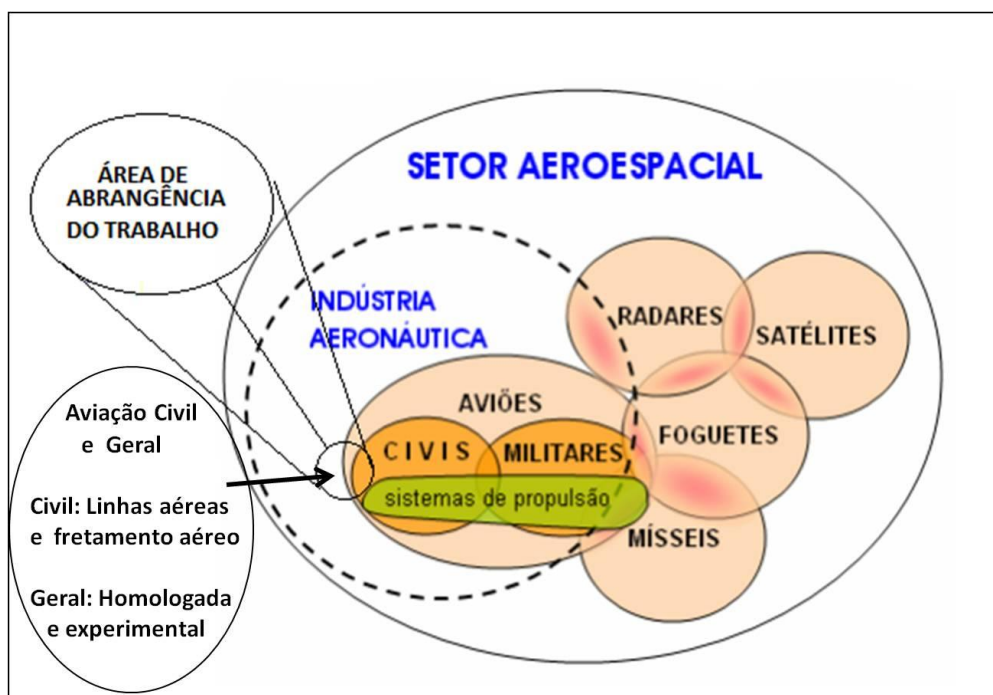


Figura 4: Área de abrangência do trabalho - Aviação Civil e Geral no contexto da Indústria Aeronáutica.

Estudos da disciplina da IHC sobre a interação em cabine de aeronaves unem a tecnologia e seres humanos na realização de tarefas críticas. Eles envolvem, por exemplo,

os processos, diálogos e ações que um usuário tripulante técnico emprega para interagir com um sistema computacional em um dado ambiente. As atividades em cabine caracterizam-se pelo uso intensivo de tecnologias que requerem tipicamente, dois tripulantes técnicos para a divisão de tarefas. Cada um deles tem áreas de responsabilidades de manipulação de controles, comunicação e monitoramento de telas de instrumentos.

As tecnologias utilizadas são *hard* e *soft* (Vicente, 2005). As tecnologias *hard* são definidas pelos instrumentos e dispositivos físicos manipulados para a realização do trabalho, tais como, computadores de bordo, sistemas de navegação, comunicação, piloto automático, radares meteorológicos etc. Já as tecnologias *soft* representam tecnologias não físicas, tais como a padronização para a execução de um procedimento. Ou seja, tais tecnologias incluem programas de computador (software), mas não estão restritos a eles.

O Comandante e o Primeiro Oficial alternam a cada etapa as funções de *Pilot Flying* (PF) e *Pilot Monitoring Flight* (PMF). O PF (primeiro agente) tem como atribuição básica a realização das atividades de controle da aeronave em termos de atitude⁸ de voo, velocidade, altitude, rumos, trajetórias, programação dos sistemas automatizados, entre outros. Já o PMF (segundo agente), por outro lado, tem como atribuição principal o monitoramento das atividades realizadas pelo PF, supervisionando-o e assessorando-o em tarefas secundárias, tais como a leitura de listas de conferência “*checklists*” e a comunicação com órgãos de controle. A divisão de tarefas entre PF e PMF tem por finalidade reduzir a carga de trabalho e manter um dos pilotos na condição de “*backup*” do outro, ampliando assim, a capacidade operacional do sistema. A automação⁹ é o terceiro agente da cabine, pois tem capacidades de realizar tarefas cooperativas com os tripulantes técnicos no sistema, tais como ações de controle, processamento de informação e tomada de decisão (Henriqson e outros 2010).

O sistema cognitivo dos tripulantes técnicos é delimitado pela interação orientada entre os mecanismos e atividades que se correlacionam na cabine de comando. O sistema cognitivo interage de forma a realizar o trabalho e se constitui em unidades responsáveis por controle dos parâmetros de voo, e são caracterizados por uma dinâmica própria de

⁸ Atitude: Posição relativa da inclinação da aeronave em relação ao plano tangente a circunferência da terra. A Atitude da aeronave é sempre indicada no instrumento horizonte artificial.

⁹ Automação: Modernas aeronaves são altamente automatizadas. Distintos parâmetros são inseridos nos sistemas computacionais como piloto automático que executa centenas de tarefas simultâneas mantendo altitude, velocidade e rumo de acordo com plano de voo, parâmetros de segurança operacionais, gerenciamento dos motores para regimes adequados de potência e consumo nas diferentes fases do voo visando economia e desempenho.

coordenação advinda de centenas de horas de estudo, treinamentos em situação real, de simulação de panes e treinamentos em modernos simuladores de voo gerenciados por complexos sistemas computacionais e homologados por autoridades aeronáuticas.

A Figura 5 explica capacidade da tripulação técnica estimada e a margem de segurança comparada passo a passo nas fases do voo. Esta figura mostra a estreita faixa na etapa de aproximação para o pouso na medida em que quanto maior o período de voo maior é a redução das capacidades técnicas dos tripulantes. No eixo Y do gráfico as cargas cognitivas relativas à intensidade das tarefas são expressas de forma crescente e no eixo X são expressas fases do voo no decorrer do tempo.

De acordo com o Manual do Instrutor de Aviação (FAA, 2008), a porção vermelha superior da Figura 5 é a região no gráfico onde os acidentes geralmente ocorrem, nela as exigências de tarefas em voo podem exceder as capacidades dos tripulantes.

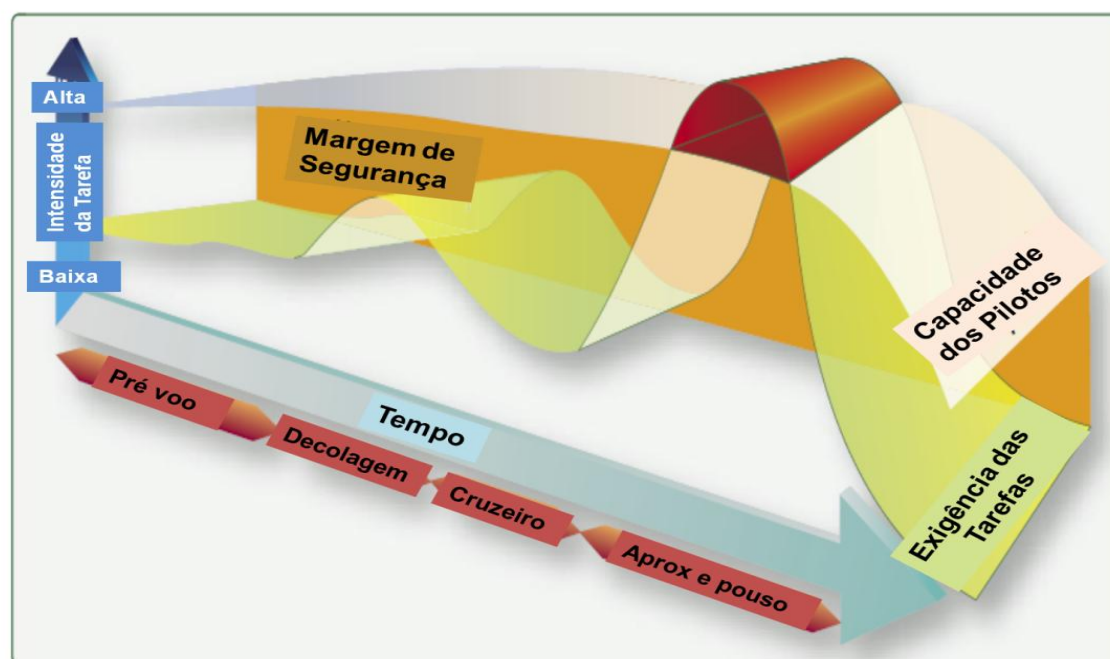


Figura 5: Tarefas requeridas em voo (adaptado de FAA (2008))

A história da aviação moderna relata em pormenores centenas de milhares de acidentes por infinidade de motivos. Três acidentes relevantes foram selecionados para breve descrição no Anexo III. Esta descrição inclui como e por que ocorreram e quais foram os fatores contribuintes para os mesmos, com ênfase na interação humano-computador. Dois deles são de empresas nacionais e o terceiro de empresa internacional. Os relatórios finais oficiais foram estudados e descritos de forma sintética sem objetivo de apontamen-

to de causa determinante da culpabilidade e sim da ótica de como automação computacional pode ter interferido nos fatores contribuintes apontados pelas autoridades aeronáuticas nos referidos relatórios finais.

No contexto deste trabalho foram realizados dois estudos de casos que focam nas duas atividades de maior carga dos pilotos conforme descrito na Figura 5. A seção 2.1 detalha as atividades realizadas na fase de decolagem (*i.e.* “*take-off*”) e aceleração e a seção 2.2 detalha as ações na aproximação para pouso (*i.e.* “*landing approach*”).

2.1 Decolagem - “*take-off*”

A decolagem de um aparelho mais pesado que o ar é uma das atividades mais complexas para os tripulantes da cabine de aeronaves. Para a atividade da decolagem, a força de sustentação que eleva a aeronave se inicia com a liberação dos freios e aceleração dos motores. Entretanto, antes da decolagem propriamente dita, a aeronave precisa ser tracionada para trás (*i.e.* tracionamento “*push-back*”) e se movimentar pelas pistas de deslocamento no solo por autopropulsão denominado taxiamento até a cabeceira da pista de decolagem em uso, informada pela autoridade aeronáutica. Esta é uma fase de transição entre o movimento no solo até o desprendimento do solo e alcance do voo.

Todo processo de decolagem se inicia após contato do tripulante piloto primeiro oficial e autoridade aeronáutica controladora órgão ATC por meio de normas e procedimentos estritamente sequenciais no qual a aceleração plena dos motores é efetuada. Esta fase é reconhecida como crítica e para a qual os tripulantes foram intensamente treinados em centenas de milhares de horas em voos reais além de voos obrigatórios em simuladores.

Em contrapartida a clara e lógica sequencia de atividades na fase de decolagem gera com frequência, variáveis subjetivas na cabine de comando que resultam na elevação da carga cognitiva sobre os tripulantes; como rígida distribuição de tarefas, além da priorização da hierarquia aeronáutica do que é obrigatório a ser efetuado na estrita ordem: manter aeronave em voo, navegar no sentido do geoposicionamento: onde estamos e para onde vamos e comunicar permanentemente ações e intenções, ou seja, o que fazer e como fazer.

Em geral, o processo cognitivo dos seres humanos é principalmente ligado a juízo de valores, aliado a fatores culturais que interferem continuamente neste fluxo lógico de tomada de decisões e ações elevando consequentemente o nível de criticidade do risco.

A Figura 6 mostra resumidamente atividades relacionadas a decolagem até atingir o nível de cruzeiro e entrada na aerovia (AWY), “Airway” condizente com o plano de voo autorizado.

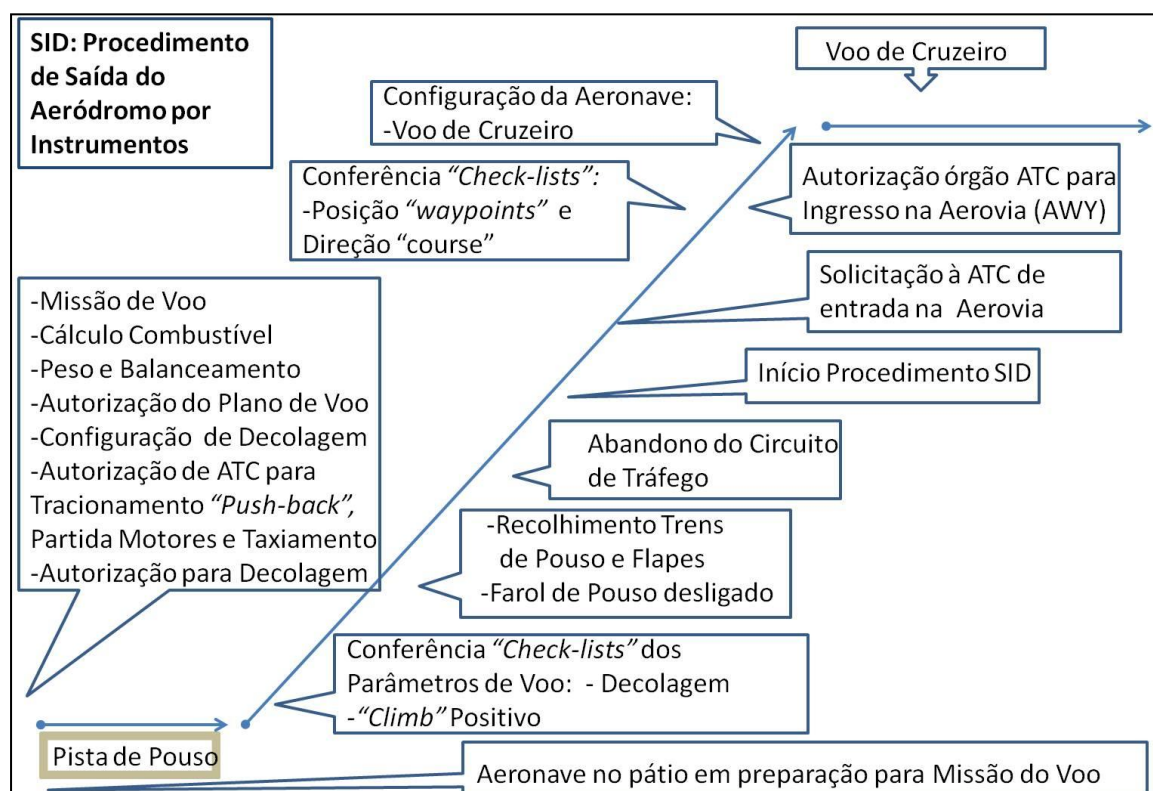


Figura 6: Resumo de atividades da decolagem

A sequência de atividades para decolagem de aeronaves é extensa e requer diversos procedimentos padronizados. Ela começa nas salas AIS dos aeroportos iniciando-se pela missão do voo em si, destino e aeroporto alternativo, definição do método de condução da aeronave se por regras do voo visual VFR ou por regra de voo por instrumentos IFR. Também é definido o rumo a seguir se por corredores e aerovias.

A fase do planejamento do voo gera documentações conhecidas como planos de voo ou notificações de voo. Dependendo da missão pode haver participação de técnicos especialistas na coleta e preenchimento dos dados a exemplo dos despachantes de voo (DOV). Consultas às cartas de vento e de prognósticos meteorológicos são obrigatórios nesta fase de preparação.

Uma vez apresentado plano final às autoridades aeronáuticas ATC, os tripulantes técnicos iniciam uma longa sequência de tarefas de preparação da aeronave de acordo com as demandas técnicas de quantidade de combustível necessário para autonomies até o destino e 45 minutos complementares para aeroporto alternativo, configuração da aeronave em seu equilíbrio com cálculos de peso e balanceamento e conferências diversas dos funcionamentos gerais dos sistemas elétricos, pneumáticos, hidráulicos etc.

A rota definida no plano de voo é inserida na forma de dados nos computadores centrais (são duplicados) denominado computador gerenciador de voo (FMC - "*Flight Management Computer*"). Cada FMC é composto de duas unidades sendo uma o FMS "*Flight Management System*" que é a unidade de processamento propriamente dita e a unidade do display do computador (CDU "*Computer Display Unit*") onde se computa os dados de navegação aérea com os trechos a serem voados de acordo com o plano de voo autorizado, desde a saída do circuito de tráfego do aeroporto, configuração dos procedimentos padrão de saída (SID) e ingresso nas aerovias.

Os principais dispositivos dos parâmetros de voo na decolagem são:

- Velocidade do ar "*Airspeed*" a vital função é mostrar a velocidade da aeronave em relação à massa de ar que a circunda. Mostra o movimento relativo da aeronave comparada com o movimento do ar do entorno. O instrumento capta o impacto das moléculas de ar por meio do dispositivo denominado tubo de Venturi, conhecido como tubo de Pitot;
- A razão de subida "*Climb Rate*" é mostrada pelo instrumento denominado variômetro "*Climb*" e funciona de forma análoga ao altímetro porém o ponteiro indica se a aeronave está subindo, descendo, ou voando em linha reta. A unidade é em pés por minuto ou pés por segundo em aeronaves mais rápidas;
- O ângulo de inclinação "*Pitch Angle*" é mostrado no instrumento denominado horizonte artificial e é provido de movimento giroscópico que elimina movimentos inerciais indesejados, aumento sua precisão. A unidade é graus;
- O ângulo de rolamento "*Roll Angle*" também é mostrado no mesmo horizonte artificial acima descrito. A unidade é graus;
- A razão entre o ângulo de inclinação e o rolamento é a relação entre movimento e tempo decorrido e são mostrados no horizonte artificial. A unidade é graus por Segundo.

A Figura 7 apresenta o instrumento Indicador de Atitude conhecido como horizonte artificial com suas principais funções, e a Tabela 1 lista as principais atividades nesta fase do voo.



Figura 7: Indicador de Atitude (Horizonte Artificial) Foto do Autor

Tabela 1: Listagem das principais atividades na preparação do voo, decolagem, saída do circuito e entrada na aerovia.

1	Definição da missão de voo – voo local / destino distante / passageiro / carga ou ambos.
2	Levantamento dos dados meteorológicos do local, em rota, no destino e no aeroporto alternativo. Dados de vento nas altitudes a serem voadas e formação de gelo são investigadas. Consulta da base de dados ATIS - Serviço Automático de Informação Terminal via rádio VHF
3	Apresentação de plano de voo à autoridade aeronáutica
4	Configuração da aeronave, computação de dados do voo, abastecimento de acordo com trecho a ser voado e realização de cálculos de peso e balanceamento.
5	Após autorização do plano de voo, solicitar tracionamento por reboque até área de taxiamento
6	Solicitar autorização para partida dos motores
7	Cintos de Segurança afivelados.
8	Inserir dados no transponder de acordo com dados de ATC
9	Solicitar autorização para deslocamento por taxiamento à pista em uso
10	Aguardar autorização para decolagem

11	Farois de pouso ligados.
12	Comandante e primeiro oficial dividem as funções de piloto nos comandos da aeronave na função PF “ <i>Pilot Flying</i> ” e o segundo na função de apoio e comunicação PMF “ <i>Pilot Monitoring Flying</i> ”
13	Quando autorizado por ATC iniciar corrida de decolagem com manetes de potencia no máximo
14	Piloto da função de apoio (PMF) faz as leituras de velocidades V 80Kt ¹⁰ , V1 ¹¹ , “VRotate” ¹² , V2 ¹³ e ganho de altura (climb positivo)
15	Recolhimento dos trens de pouso
16	Configuração de parâmetros de voo – Lista de Conferências “ <i>check-lists</i> ”
17	Saída do circuito de tráfego
18	Procedimento SID
19	Solicitação de autorização para entrada na aerovia
20	Configuração para voo de cruzeiro

2.2 Aproximação para Pouso “*Landing Approach*”

Outra atividade crítica estudada nesta dissertação é a aproximação para pouso, esta atividade é considerada por muitos (conforme apresentado na Figura 5) a mais crítica do voo. A Figura 8 resume o perfil típico de aproximação para ou arremetida pouso desde a fase inicial até o momento do toque na pista de pouso por aproximação perdida.

A aproximação para pouso se inicia com a configuração da aeronave para a fase de descida. A configuração pode ser resumida como fase do voo em que a aeronave necessita ser ajustada pela tripulação técnica anteriormente à aproximação propriamente dita. A configuração deve levar em conta algumas mudanças de parâmetros do nível de cruzeiro para a fase de descida como redução da velocidade horizontal de Número Mach¹⁴ para unidades em nós – Kt¹⁵ assim como estabelecer a taxa de razão de descida¹⁶ em pés por segundo e ajuste do ângulo de inclinação¹⁷ em graus, ângulo de rolamento¹⁸ em graus e relação inclinação/rolamento¹⁹ em graus/segundo. Todos os parâmetros enumera-

¹⁰ V80Kt: Velocidade na qual o PMF cita ao PF 80Kt e é realizada a conferência geral dos instrumentos “*Check-list*” quanto ao desempenho da aeronave. Se ocorrer anormalidade a decolagem é abortada imediatamente.

¹¹ V1: Velocidade na qual o PMF cita ao PF V1 (velocidade depende do modelo de aeronave) e é velocidade de decisão “*Go /No Go*”. Se ocorrer anormalidade da decolagem é abortada imediatamente.

¹² VRotate ou VR: Velocidade na qual o PMF cita ao PF VR. (velocidade depende do modelo de aeronave). Nesta velocidade o avião é retirado do solo pelo PF.

¹³ V2: Velocidade na qual o PMF cita ao PF V2 e é a velocidade de segurança para continuidade das operações de subida (normalmente é 120% da velocidade de Estol)

¹⁴ Número Mach: Relação entre a velocidade da aeronave e velocidade do som.

¹⁵ Kt: Do Inglês Knot - medida de velocidade em 1 milha marítima/hora.

¹⁶ Razão de Descida: Relação da redução da altitude em pés por unidade de tempo

¹⁷ Ângulo de Inclinação: Ângulo obtido entre a linha longitudinal da aeronave em relação ao plano horizontal

¹⁸ Ângulo de Rolamento: Ângulo obtido entre a linha transversal da aeronave em relação ao plano horizontal

¹⁹ Inclinação/Rolamento: Relação entre os ângulos de inclinação e rolagem

dos precisam ser ajustados, visualizados um a um e confirmados por meio das listas de conferências “*check-lists*” e sob contínua demanda dos órgãos de controle “*ATC*”.

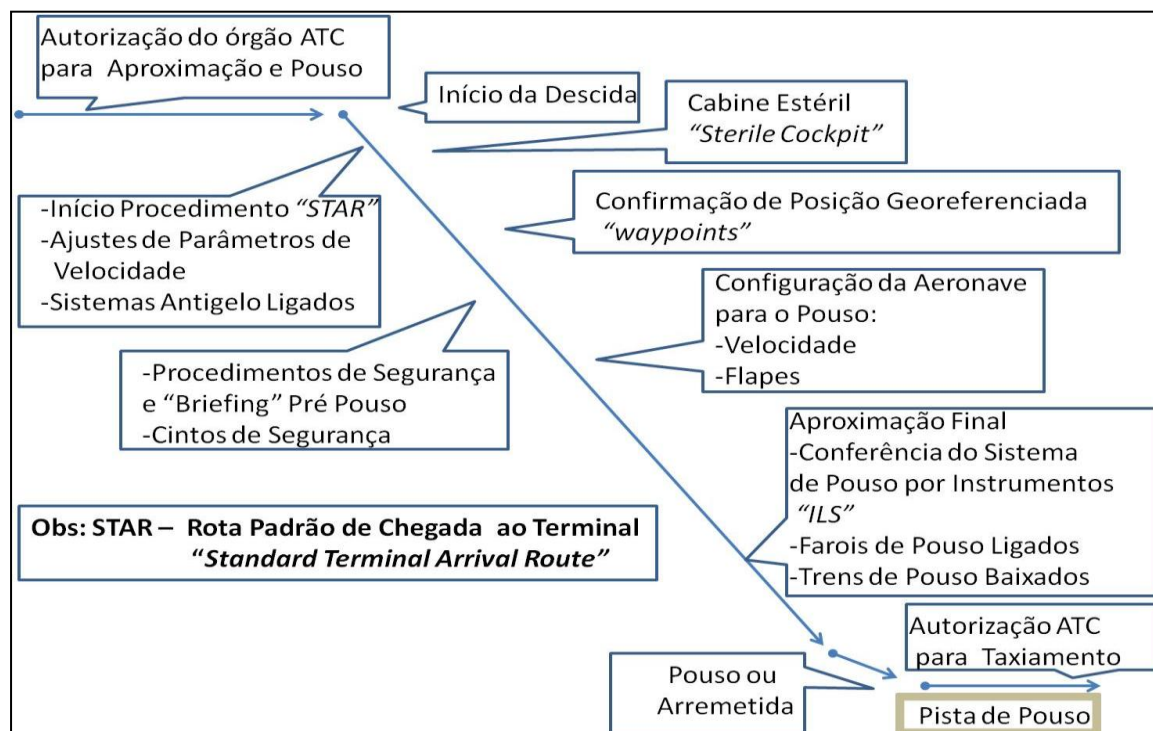


Figura 8: Perfil Típico de Aproximação para Pouso “Landing Approach”

Os principais dispositivos para implementação dos parâmetros de voo são:

- Velocidade do ar “*Airspeed*” a vital função é mostrar a velocidade da aeronave em relação a massa de ar que a circunda, conforme apresentado na seção anterior;
- A razão de descida “*Sink Rate*” é exibida pelo instrumento denominado variômetro, conforme apresentado na seção anterior;
- O ângulo de inclinação “*Pitch Angle*” é mostrado no instrumento denominado horizonte artificial, conforme apresentado na seção anterior;
- O ângulo de rolamento “*Roll Angle*” também é mostrado no mesmo horizonte artificial, conforme apresentado na seção anterior;
- A razão entre o ângulo de inclinação e o rolamento é a relação entre movimento e tempo decorrido e são mostrados no horizonte artificial.

A “cabine estéril” (i.e. “*sterile cockpit*”) se inicia com boas práticas de gerenciamento de recursos da tripulação (CRM – “*Crew Resources Management*”) cuja ferramenta permite que a tripulação técnica permaneça focada todo tempo nas tarefas das fases do

voo. Na etapa seguinte, a aproximação estabilizada²⁰ gera extensa relação de atividades em configurações na aeronave antes do pouso.

A Tabela 2 apresenta de forma breve as principais tarefas da tripulação técnica no perfil de aproximação estabilizada com objetivo de ilustrar a carga de trabalho

A aproximação final gera uma nova lista de tarefas a ser estritamente cumpridas pela tripulação técnica.

Tabela 2: Principais tarefas da tripulação técnica no perfil de aproximação estabilizada

1	Órgão ATC autoriza a tripulação para voar em altitudes mais baixas por meio de comunicação via radio VHF.
2	STAR – Início do procedimento Rota Padrão de Chegada ao Terminal “ <i>Standard Terminal Arrival Route</i> ” por meio de digitação e entrada de dados nos computadores de bordo FMS – Sistemas de Gerenciamento de voo “ <i>Flight Management System</i> ” referentes a completa trajetória de aproximação.
3	Sistema antigelo ligados
4	Conferência das condições meteorológicas de toda trajetória de aproximação (iniciando nos pontos georeferenciados “ <i>waypoints</i> ” da descida até o toque na pista de pouso) e que precisa estar livres de nuvens do tipo “ <i>cumulus nimbus</i> ” que geram fortes turbulências e ventos de rajada.
5	Conferência do peso máximo de pouso; conferência dos níveis de combustível nos tanques por meio dos indicadores para ajustes de peso e balanceamento. Tanques de ponta de asas devem ser esvaziados por meio de bombeamento do combustível dos mesmos para tanques centrais.
6	Conferência mandatória dos pontos georeferenciados “ <i>waypoints</i> ” sob demandas do ATC; Revisar sistema de aproximação por instrumentos “ <i>ILS</i> ” e confirmar cabeceira da pista em uso.
7	Conferência da velocidade e intensidade e direção de ventos de través.
8	Monitorar condições e parâmetro de funcionamento dos motores. Configurar piloto automático para trajetória a ser voada de acordo com informações ATC (Velocidade / Altitude / Proa)
9	Farois de pouso ligados.
10	Cintos de Segurança afivelados.
11	Altímetro e radio altímetros ajustados de acordo com dados da pressão atmosférica do aeródromo informados por ATC.

A tabela 3 apresenta de forma breve as principais tarefas na fase final da aproximação.

²⁰ Uma aproximação é considerada estabilizada quando todos os seguintes critérios são satisfeitos:

- A aeronave está na trajetória de voo a seu destino final correta.
- Apenas pequenas mudanças de “curso e ângulo de inclinação” são necessárias para manter a trajetória.
- A velocidade da aeronave não é maior que VREF + 20 (KIAS) e não menor que VREF.
- A aeronave está na configuração de pouso apropriada.
- A razão de descida é no máximo de mil pés por minuto; se uma aproximação requerer uma razão de descida maior que mil pés por minuto, um “*briefing*” especial deve ser executado.
- O ajuste de potência é apropriado para a configuração e não está abaixo da potência mínima para aproximação como definido pelo manual de operações da aeronave.
- Foram executados todos os “*briefings*” e conferências “*checklists*”
- Determinados aeroportos requerem perfis de aproximação estabilizada específicos que demandam treinamentos obrigatórios da tripulação técnica adequados às características da topografia, altitude e presença de obstáculos independente da regra de aproximação ser por voo visual ou por instrumentos.

Tabela 3: Principais tarefas dos tripulantes na fase final da aproximação final

1	Autorização do órgão ATC para pouso. Ou espera “ <i>holding</i> ” se necessário
2	Trajetória de planeio / Sistema de pouso por instrumento “ <i>ILS</i> ” configurado e conferido
3	Bombas de combustível ligadas / bombas de recalque ligadas.
4	Trens de pouso baixados e travados (luzes verdes indicativas ligadas).
5	Flapes e Slats selecionados. Conferência auditiva e visual de avisos das interfaces acionadas.
6	Ajustes do compensador do elevador “ <i>Trim settings</i> ”.
7	Piloto automático desligado ou auto pouso e auto frenagem ligados (se assim desejado pela tripulação).
8	Conferência visual do ponto de toque estimado da pista de pouso.
9	Arremetida rapidamente discutida “ <i>briefing</i> ” e executada se necessário. Conferências de parâmetros de voo e motorização executadas.

A aproximação final acarreta mais tarefas simultâneas e multidisciplinares para a tripulação aumentando consideravelmente a carga de trabalho devido à proximidade de convergência da pista de pouso associado a intensas atividades próximas no solo como veículos de serviço, obstáculos etc., como podem ser vistos na Figura 9.

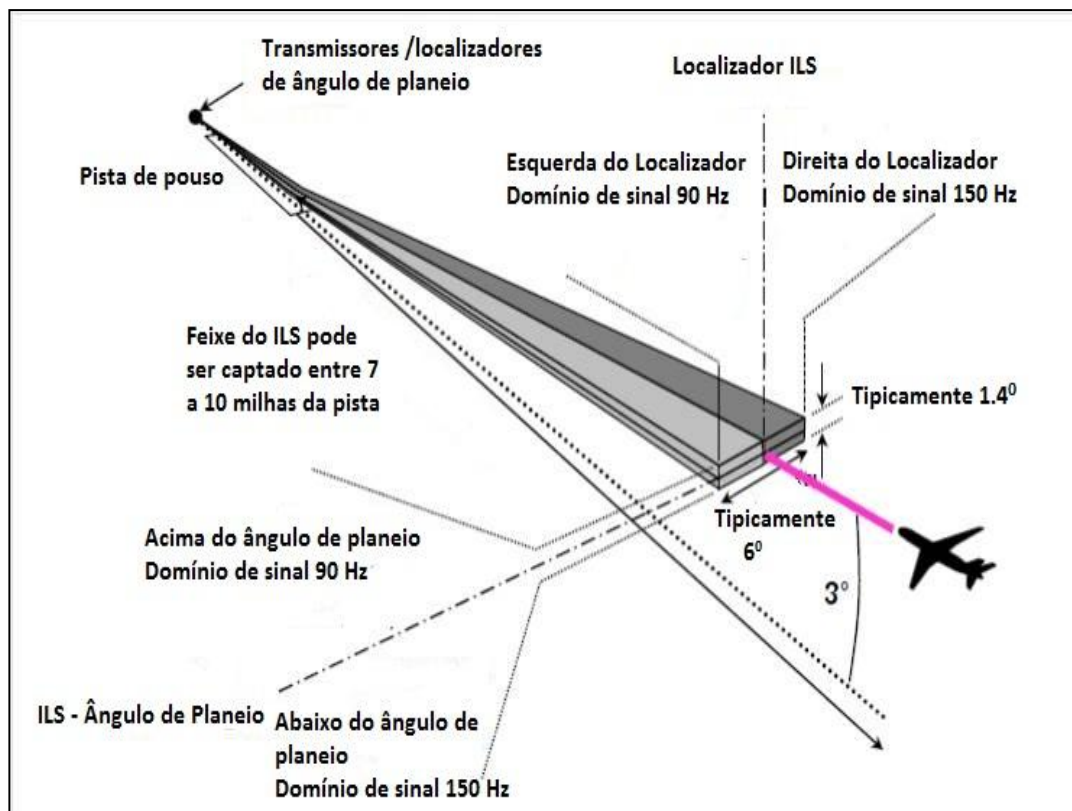


Figura 9: Perfil típico de pouso por instrumento “*ILS*” adaptado de Midkiff e outros, (2004)

Após o toque na pista de pouso algumas tarefas precisam ser executadas. Como mostrado na Tabela 4, o voo se encerra após abertura das portas e procedimentos de desembarque.

Tabela 4: Principais tarefas dos tripulantes técnicos após o toque no pouso.

1	Manetes de potência para trás “ <i>retard</i> ”.
2	Freios aerodinâmicos e spoilers ativados
3	Freios das rodas acionados
4	Reversos dos motores acionados
5	Conferência de velocidade no solo
6	Conferência de desaceleração. Preparar para arremeter se necessário
7	Transponder desligado
8	Saída da pista de pouso para taxiamento e estacionamento sob autorização “ <i>clearance</i> ” da autoridade aeronáutica de torre.
9	Freios de estacionamento acionados.
10	Calços nos trens de pouso.
11	Etapa de esfriamento dos motores.
12	Desligamento dos motores
13	Desligamento dos faróis
14	Preparação para abertura das portas para desembarque. Final do voo.

As tarefas apresentadas nas Tabelas 2, 3 e 4 são executadas por interação com dispositivos da cabine de comando. Os dispositivos da cabine de comando são interruptores de controle das superfícies como compensadores (*trim*), *flapes*, *slats*, freios aerodinâmicos, *spoilers*, elevadores horizontais (profundores), leme direcional, ailerons e trens de pouso. Os dispositivos descritos são apresentados na Figura 10 com a correspondente função aerodinâmica e onde está instalado.

O movimento mecânico da superfície de controle é o resultado físico de dados binários enviados via cabos de rede a partir dos dispositivos da cabine de comando até o atuador propriamente dito por meio de forças mecânicas hidráulicas, pneumáticas ou por servomotores. O design dos dispositivos inclui, por exemplo, cores e formatos, os quais são vitais como interfaces úteis para os tripulantes técnicos para imediato reconhecimento e usabilidade.

Outros dispositivos são Bússola Magnética, Rádio de Alta Frequência “*High Frequency*” (HF) e Rádios de Frequência Muito Alta “*Very High Frequency*” (VHF), *transponder*, Sistema de Posicionamento Global “*Global Positioning System*” (GPS), Receptor Omnidirecional de Rádio “*Very Omnidirectional Radio*” (VOR), Localizador Automático de Direção “*Automatic Direction Finder*” (ADF), Sistema de Alarme de Proximidade de Terreno “*Ground Proximity Warning System*) (GPWS). Dispositivos como Radar Meteorológico são suplementares, entretanto vitais na aproximação para o pouso. A Figura 11 mostra funções dos dispositivos complementares e onde estão localizados.

A melhoria na interação com todos estes dispositivos gerenciados por complexos sistemas computacionais é muito importante para segurança da aviação. O tráfego padrão

de aeronaves na aproximação e pouso converge sequencialmente a um estreito cone o qual é um sério gargalo em todo processo de toque final na pista de pouso.

Artefato	Função	Localização
Compensador (trim)	Reduzir a pressão física nas superfícies de controle	Leme de Direção, Estabilizador Horizontal e Ailerons
Flapes	Aumentar área das asas em sustentação e arrasto aerodinâmico	Bordo de Fuga das Asas próximo à raiz
Spoilers	Freio aerodinâmico por distúrbio do fluxo de ar	Acima das Asas "Extradorso"
Slat	Redução da velocidade de estol	Bordo de Ataque das Asas
Ailerons	Superfície de controle de rolagem da aeronave	Bordo de Fuga das Asas próximo às extremidades
Leme de direção	Superfície de controle de direção	Seção Vertical do Estabilizador
Trem de pouso	Permite aeronave decolar e pousar	Abaixo das Asas "Intradorso" e Fuselagem

Figura 10: – Dispositivos da cabine de comando, funções correlacionadas e localização na aeronave

Artefato	Função	Localização
HF	Rádio de Comunicação em Alta Frequência	Painel de Instrumentos / Antena Externa
VHF	Rádio de Comunicação em Frequência Muito Alta	Painel de Instrumentos / Antena Externa
Bússola Magnética	Apontar Direção da Aeronave	Painel de Instrumentos / Antena Externa
Altímetro	Indicar Altitude em Relação ao Nível do Mar	Painel de Instrumentos / Antena Externa
Rádio Altímetro	Indicar Altura em Relação à Topografia do Terreno	Painel de Instrumentos / Emissor/Receptor Externo
Transponder	Identificar Aeronave e Altitude	Painel de Instrumentos / Antena Externa
GPS	Sistema de Posicionamento Geográfico	Painel de Instrumentos / Antena Externa
ADF	Localizador Automático de Direção	Painel de Instrumentos / Antena Externa
VOR	Radio Omnidirecional	Painel de Instrumentos / Antena Externa
ILS	Sistema de Pouso por Instrumento	Painel de Instrumentos / Antena Externa
GPWS	Sistema de Alerta por Proximidade de Terreno	Painel de Instrumentos / Antena Externa

Figura 11: Dispositivos complementares, funções correlatas e localização na aeronave

3. Referencial Teórico Metodológico

Em 1990 a aeronave Indian Airlines, voo 605, se acidentou, matando 98 pessoas. A revista Flight International Magazine reportou: “Isto indubitavelmente deriva de pobre entendimento entre o piloto e a máquina, e os construtores de aeronaves têm que fazer alguma coisa.” E a resposta da companhia construtora foi: “A companhia continua abordando o problema como incapacidade dos pilotos se adaptarem à automação, ao invés de reconhecer a necessidade de software com o qual o ser humano trabalhe sem conflitos” (Lee, 1992).

A Seção 3.1 apresenta estudos científicos da disciplina IHC que tem como objetivo lidar com esse complexo sistema presente nas aeronaves, formando os principais trabalhos relacionados a esta proposta. A Seção 3.2 apresenta o referencial de design da interação e design participativo e a Seção 3.3 apresenta a pesquisa em semiótica aplicada em IHC; estas seções detalham trabalhos anteriores que servem de embasamento teórico e metodológico da dissertação, bem como trabalhos relacionados.

3.1 IHC em Sistemas Críticos de Aeronaves

A IHM tem tido grande importância em aplicações computacionais em todos os segmentos da sociedade desenvolvida. Em particular a IHC, como disciplina, constitui teorias de amplo espectro nos métodos de operações críticas como fatores de satisfação subjetiva, de eficiência, de segurança, de retorno de investimento e de ergonomia física e cognitivas. Os métodos e teorias da IHC também lidam como a facilidade de acesso depende de um bom design de interface, sendo que deve ser subentendido o reconhecimento rápido e intuitivo dos dispositivos e mecanismos embarcados e redundantes em casos de eventual falha; com clareza para identificação e acessos para ação na realização das tarefas de condução com inerentes riscos sob controle.

A Figura 12 aborda as relações da disciplina IHC com suas interfaces nos diferentes aspectos do comportamento humano no ambiente da tecnologia. Tais disciplinas complementam entre si, formando um sistema complexo de teorias e métodos necessários

ao entendimento da interação do ser humano com dispositivos computacionais, ou via dispositivos computacionais, conforme relacionado por Preece e outros, (1994), IHC como resultado da multidisciplinaridade entre ciências exatas e aspectos humanos.

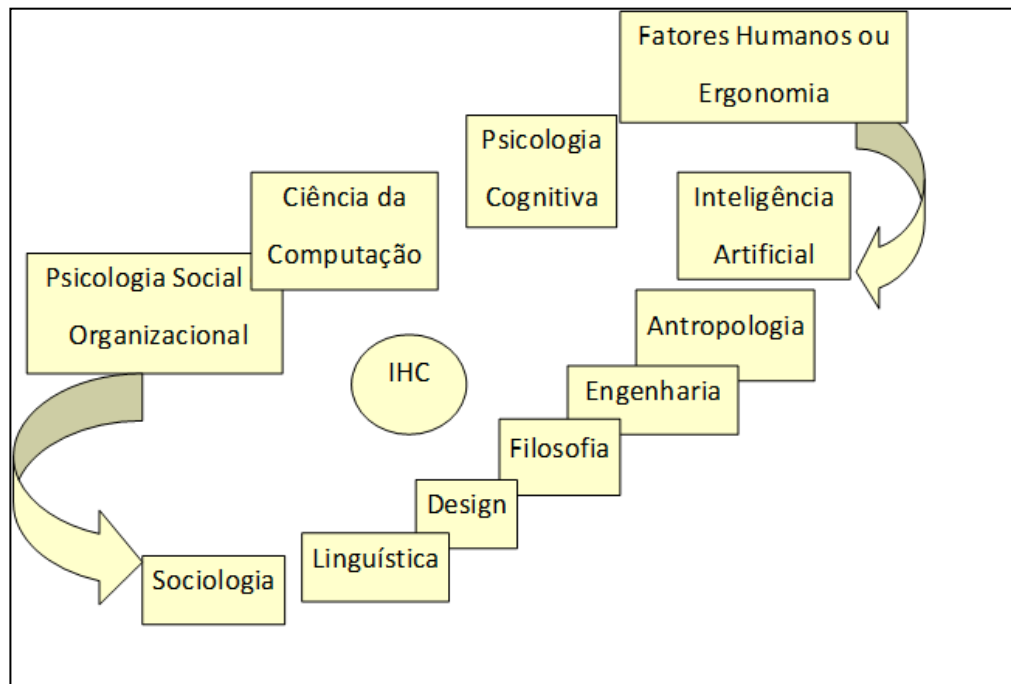


Figura 12: A Multi (Inter) (Trans) Disciplinaridade em IHC (Preece, 1994).

Diversos trabalhos da área da IHC focam a IHM em cabine de aeronaves, tais trabalhos usam uma ampla variedade de métodos. Por exemplo, Yingwei e outros (2010) discorrem sobre a análise do quadro de informações em uma IHM em cabine de aeronave baseada na teoria de reconhecimento de padrão difuso “*fuzzy pattern recognition theory*”. Neste trabalho os pesquisadores examinaram a interface de cabine de aeronaves e ações dos pilotos em comando, particularmente voltados aos aspectos do método de avaliação de ergonomia no sistema de informação.

Yngwei e outros (2010) também propõem um novo método de avaliação de interface baseado em modelos “*fuzzy*”. Tal método estuda com profundidade as interfaces no aspecto cognitivo, porém deixa de explorar as capacidades de aprendizado e de resposta de seres humanos altamente treinados e capacitados como os que assumem os cargos na tripulação técnica.

O sistema cognitivo da tripulação técnica é delimitado pela interação orientada pela correlação entre atividades e mecanismos na cabine de comando (Henriqson e outros

2010). O sistema cognitivo interage de forma a realizar a tarefa e é baseado em unidades responsáveis como parâmetros de voo e regras de segurança primordialmente caracterizada por uma coordenação própria oriunda de centenas de horas de dedicação no estudo, treinamento em condições reais, simulação de falhas em longo e demorado processo educacional bem como voos simulados em modernos simuladores de voo gerenciados por complexos sistemas computacionais certificadas por autoridades aeronáuticas.

Além dos aspectos apresentados por Henriqson e outros (2010), é importante mencionar, como a carga de trabalho entre os três elementos da cabine de comando (ou seja, o Comandante, o Primeiro Oficial e o sistema de automação) pode perturbar ou ainda tirar a atenção podendo causar um rompimento de coordenação com consequências imprevisíveis.

Em Geist e outros (2000), é descrita uma visão alternativa da ação de interação do ser humano como operador no ambiente de cabine de aeronaves. O estado primário de informação é estrito ao ambiente de cabine mencionado e trata da arquitetura computacional, o problema modelado no cenário escolhido, e os resultados básicos da aplicação. Ainda que o estudo detalhe as tecnologias de auxílio a tripulação técnica em cabine de comando, o estudo não aprofunda outros aspectos largamente abordados em IHC, tais como a usabilidade e a semântica e entendimento dos elementos de interface.

Já outros estudos, tais como o de Olson e Sarter (1998), destacam em primeiro plano a evolução da resposta em treinamento e a modificação do sistema de treinamento dos tripulantes. Os estudos dos pesquisadores mencionados levam a uma compreensão ampla decorrente do trabalho conjunto dos desenvolvedores e designers assim como grau de autoridade do homem sobre o sistema. Mas, de fato, o efeito das diferentes formas na coordenação homem-máquina em desempenho conjugado tem recebido pouca atenção.

A Interação no ambiente crítico da cabine de aeronaves não se restringe a aspectos cognitivos (individuais) e de treinamento como mencionado no presente trabalho. Ela extrapola quando levam-se em conta aspectos multidisciplinares tais como os de interação com ambiente ao redor, controle na administração de dados em conflito e acima de tudo preservação dos parâmetros mínimos para continuidade do voo como velocidade aerodinâmica, condições intangíveis como as meteorológicas não previstas, panes estruturais ou de motorização, distúrbios internos de cabine entre outros.

Segundo Filgueiras (1998), os erros humanos são responsáveis por um número es-
tarrecedor de incidentes na indústria e na aeronáutica. Sempre que a análise de um aci-
dente conclui por um erro humano, a tendência é reduzir a probabilidade desta ocorrência
pela substituição do homem por equipamentos extremamente confiáveis, aumentando-se
o grau de automação, até um limite não totalmente utópico da automação total das ativi-
dades humanas.

O alto investimento com a confiabilidade de hardware e software visa garantir
que, nas mais diversas condições de operação, estes equipamentos deverão atuar correta-
mente. Mesmo assim, o homem ainda se insere no processo para compensar as eventuais
falhas de projeto – agindo com sua criatividade e sua capacidade de solução de problemas
quando a automação não tiver sido suficiente.

O resultado desta política, que ficou evidente nos mais recentes estudos da FAA²¹
“*Federal Aviation Administration*” conforme citado por (Evans, 1998) sobre Fatores Hu-
manos, ressalta que embora os sistemas automáticos cumpram as funções programadas,
os erros humanos continuam acontecendo, desta vez associados ao desconhecimento da
situação real do processo e à incompatibilidade entre os comandos humanos e o estado do
sistema automático.

A questão que se coloca como de vital importância no projeto de sistemas críticos
é como integrar a ação humana e os sistemas automáticos, desenvolvendo uma interface
homem-computador que aumente a confiabilidade humana. A resposta acredita-se, está
em um método de desenvolvimento de interfaces que considere as características do erro
humano e mantenha estas considerações em foco durante o processo de desenvolvimento
pela aplicação de técnicas de análise da confiabilidade humana.

Em Filgueiras (1998) é proposto o APIS (Análise e Projeto de Interfaces de Segu-
rança) que se baseia em métodos da Engenharia de Usabilidade e em técnicas de identifi-
cação de objetos com foco na operação. O APIS contribui ao explorar aspectos fisiológi-
cos de rapidez de resposta após análise e avaliação em lapso temporal, mas não focou o
macro ambiente e suas inter-relações; tais como a análise das interpretações e significa-
dos, intenções e ações na operação.

Já Treteski (2008) apresenta estudos de “*Scan Flow*”, que por definição é uma se-
quência de varredura pelo olhar dos pilotos nos instrumentos no painel. Estes estudos

²¹ FAA Agência reguladora norte americana dos temas ligados à aviação civil.

abordam com propriedade os requisitos funcionais e de habilidades requeridas pelo voo por instrumentos IFR e o “*cross-check*” - verificação de itens listados cruzados é uma das habilidades que um piloto deve adquirir.

Um bom “*scan*” se refere à observação lógica e sistemática do painel de instrumentos, economizando tempo e reduzindo a carga de trabalho, pois o piloto olha para o instrumento certo de onde deve ser retirada a informação necessária para eventual ação daquele momento. Como o desenvolvimento de técnicas e habilidades de alocação de atenção tornaram-se fundamentais, questiona-se a existência de padrões reais para estas técnicas, bem como a correta definição das mesmas. Pode-se ainda questionar quais técnicas seriam as melhores e mais adequadas. As técnicas de instrução oferecidas atualmente podem também ser questionadas e as manobras básicas ensinadas aos alunos desde há muito tempo, podem também não trazer o resultado de proficiência desejado .

Ainda que de suma importância, o “*scan flow*” conforme proposto no trabalho de Treteski (2008) aborda apenas parcialmente os aspectos cognitivos e os descreve como tarefas repetitivas como se demandasse treinamento do tipo ação e reação. O ambiente de cabines de aeronaves com gerenciamento de funções e de manutenção de parâmetros de voo transcende os simples atos desta natureza e demandam intenso período de estudo e compreensão.

Um conceito chave estudado no campo da IHC é a consciência situacional. Ela pode ser entendida como a percepção dos elementos do ambiente no âmbito de tempo e espaço, a compreensão do seu significado e uma projeção de seu status em um futuro próximo (Endsley 1998).

Em uma cabine de aeronaves a consciência situacional refere-se ao estado da compreensão dos tripulantes do processo e dos aspectos relevantes de um ambiente dinâmico com a qual o ser humano está interagindo. A ótima percepção da situação exige conhecimento, por exemplo, dos parâmetros do processo corrente e valor padrão desses parâmetros, a diferença entre os valores correntes e valores padrão, o estado anterior do processo e do estado futuro previsto para o referido processo. A percepção da situação é mantida pela integração desta informação e é, portanto, fundamental quando o tripulante técnico é confrontado com uma situação complexa e em mudança.

Ela está diretamente relacionada ao desempenho do tripulante e é especialmente importante durante condições anormais quando o tripulante é obrigado a fazer diagnósti-

cos corretos de falhas e identificar situações e problemas não abrangidos por procedimentos normais de operação. Existem várias propostas sobre como analisar a percepção da situação e como projetar interfaces homem máquina para aperfeiçoar a percepção da situação para que a probabilidade de erro humano seja reduzida. A pesquisa mostrou que a percepção da situação é afetada por muitos fatores cognitivos, pela motivação e pela carga de trabalho. Em particular, tem sido sugerido que a forma como a informação sobre o ambiente dinâmico é representado em modelo mental do tripulante desempenha um papel importante na expectativa de certos eventos e, assim, uma atenção consciente e busca de informação.

Há também consenso que a situação de trabalho em ambientes de controle de aeronaves modernas complexas é caracterizada por alto conteúdo de informação, que, se não for gerida de forma adequada, pode contribuir para a excessiva carga de trabalho, portanto com erros na operação.

A percepção da situação também é um conceito importante para a próxima geração do Sistema de Transporte Aéreo (*NextGen*). Várias organizações federais norte-americanas estão trabalhando para desenvolver o *NextGen* para absorver o crescimento na densidade de tráfego aéreo, bem como para garantir que a viagem seja segura, eficiente e ambientalmente responsável. De acordo com Vu e outros (2012) o ser humano é o elemento mais importante do sistema de transporte aéreo e devem ser considerados em primeiro lugar no projeto das melhorias. Neste cenário, dois tripulantes técnicos de cabine de comando de aeronaves e representantes de órgão ATC foram convidados para executar tarefas altamente automatizadas em que foram observados redução da vigilância. Esta descoberta tem implicações diretas para a implementação de automação “*NextGen*”.

O “*NextGen*” está previsto para revolucionar a forma como o tráfego aéreo será gerido e para melhorar significativamente a capacidade do Sistema de Espaço Aéreo. Entretanto o sistema “*NextGen*” exige ampliação da capacidade da operação de aeroportos por implantação de pistas de pouso paralelas.

Chiappe e outros (2012) avaliaram com profundidade como o sistema de gestão do complexo tráfego aéreo requer pessoas que interajam com a tecnologia de forma simples e propuseram um sistema de observação automática fundamentadas nas operações da trajetória de voo que permitam que o sistema informatizado, possa controlar o avião assim como determine sua posição ao longo do tempo.

A vantagem seria uma melhoria em termos de número de decolagens e pousos por unidade de tempo. Eles também apontaram que a tecnologia necessária a ser implementada para o “*NextGen*” ainda exige muita interação humana e a mesma deve ser avaliada em seu impacto no agente operador quanto a carga de trabalho e desempenho e que há um grande espaço para melhorias.

Landry e Jacko (2012) analisaram vários estudos realizados por pilotos profissionais em simulador de voo, e o resultado mostrou nível muito baixo de não conformidades inseguras. Os resultados realizados são promissores, mas também geram preocupações devido à falta de consistência nos procedimentos e estudos adicionais nesta fase do voo devem ser realizados para fornecer evidências.

A necessidade de reduzir os acidentes e incidentes aéreos é fundamental na aviação geral, especificamente, aquelas atribuídas aos formadores de opinião do meio aeronáutico. Campbell (2013) afirma que o processo de aprendizagem e educação por meio da instrução em voo real e em voo simulado, e a relação de uma cultura de segurança positiva durante o processo de aprendizagem e da formação é de muita importância neste cenário e utiliza dispositivos simuladores de treinamento de aviação.

Seu estudo demonstrou ganhos efetivos em habilidades do piloto e instiga novos estudos nas questões relativas ao ambiente, tais como o ruído, a consciência situacional, dispositivos e suas precisões funcionais, bem como gestão dos recursos da cabine de comando (CRM), que deve ser incluída em trabalhos futuros.

Nesta dissertação argumentamos que a Semiótica pode fornecer teorias e métodos para analisar a interação dos tripulantes com os dispositivos e conscientização situacional na cabine. O argumento fundamental é que a análise da natureza, função e composição dos signos dentro da cabine de pilotagem é crucial para entendimento da percepção da situação, ao se concentrar em aspectos normativos da interação, por exemplo, o comportamento humano informal e formal em face aos dispositivos de cabine de pilotagem. Tais aspectos foram pouco explorados pela literatura de IHC em sistemas críticos de aeronaves, trabalhos como os discutidos nesta seção abordam aspectos cruciais entretanto não disciplinam a análise em um processo que leve em consideração aspectos semânticos, pragmáticos e sociais na interação com dispositivos computacionais. A visão sobre o potencial do uso da semiótica em IHC para sistemas críticos é compartilhada com o trabalho de Guimarães (2010) que será apresentado na seção 3.3 base referencial para esta dissertação.

3.2 Design da Interação (DI) e Design Participativo (DP)

Para Schulman (1994), design é antes de tudo um método criador, integrador e horizontal. O profissional designer tem uma abordagem e uma experiência multidisciplinar. Ele é o especialista de um trabalho específico para a análise e para a resolução de problemas ligados ao desenvolvimento de um novo produto.

É comum encontrarmos interfaces que são difíceis de usar, complexas, e até mesmo frustrantes em alguns casos. Apesar dos projetistas gastarem tempo para desenvolver essas interfaces e que seja improvável que eles façam isto propositadamente, os problemas com interfaces ocorrem muito frequentemente.

Quando consideramos um sistema interativo, o termo fatores humanos assume vários significados. Dentro do nível fundamental, deveríamos entender a percepção visual, a psicologia cognitiva da leitura, a memória humana e o raciocínio dedutivo e indutivo e em outro nível, deveríamos entender o usuário e seu comportamento.

Por fim, precisamos entender as tarefas executadas pelo software para o usuário e as tarefas que são exigidas do usuário quando da interação com o sistema na ação dos pilotos sobre o sistema. Aqui, estamos interessados, na importância da percepção humana para o desenvolvimento de interface humano computador. Conforme a Figura 13 se destaca a percepção “clássica” no contexto da Engenharia Cognitiva em seu sentido amplo sob a visão de Norman (1996), baseado no usuário como elemento central.

Os seres humanos percebem as coisas através de seus sentidos, isto é, visual, olfativo, auditivo, tato e paladar. Estes sentidos habilitam o usuário de um sistema interativo perceber a informação, armazená-la (em sua memória) e processar a informação usando o raciocínio dedutivo ou indutivo. A maioria da interação ocorre através do sentido da visão, como por exemplo: relatórios, gráficos, etc. Neste caso, o olho e o cérebro trabalham juntos a fim de receber e interpretar a informação visual baseada no tamanho, forma, cor, orientação e movimento.

Muitos elementos discretos de informação são apresentados simultaneamente para o homem absorver. Assim, uma especificação apropriada de comunicação visual é o elemento chave de uma interface com boa usabilidade.

Embora haja uma tendência para se utilizar manipulação/comunicação gráfica no projeto de interface, muito da informação visual ainda é apresentada na forma textual. A

leitura - o processo de extrair informação do texto - é a atividade chave na maioria das interfaces. Os seres humanos precisam decodificar os padrões visuais e recuperar o significado das palavras e frases. Neste caso, a velocidade do processo de leitura é controlada

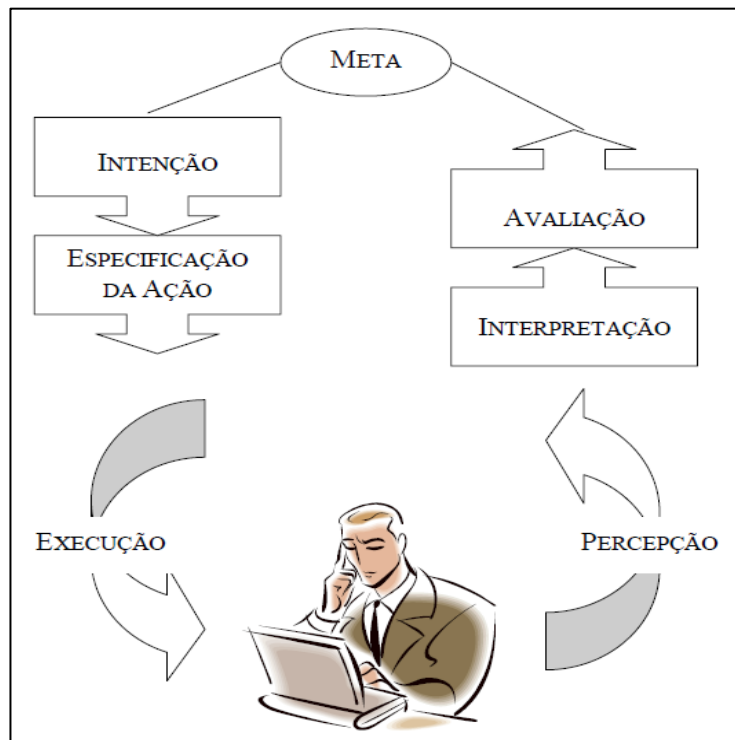


Figura 13: Os sete estágios da teoria de Norman adaptado de Design e Avaliação de Interfaces Humano-Computador (Rocha e Baranauskas, 2003)

pelo padrão de movimento do olho que escaneia o texto em varreduras do olho feitas em alta velocidade. Adicionalmente, o tipo de caractere fonte, o comprimento de linha do texto e cor (es) afetam a facilidade na qual o processo de leitura ocorre.

Quando a informação é extraída da interface, ela deve ser armazenada para ser recuperada (lembrada) e utilizada posteriormente. Além disso, o usuário precisa lembrar-se de comandos e sequências operacionais de uso. Tais informações são armazenadas na memória humana (que é um sistema complexo) composto de duas partes: a memória de curta duração que possui capacidade de armazenamento e tempo de recordação limitada e a memória de longa duração que possui capacidade de armazenamento e tempo de recordação maior e onde se tem o conhecimento do ser humano.

Assim, se o projetista de uma interface humano-computador especifica uma interface que faz solicitações indevidas dessas duas memórias, como resultante o desempenho do usuário do sistema será degradado. A maioria das pessoas não aplica raciocínio indu-

tivo ou dedutivo quando se depara com um problema. Ao invés, é comum aplicar um conjunto de heurísticas (procedimentos, regras, estratégias) baseadas no conhecimento de problemas similares. Tais heurísticas tendem a ser específicas do domínio.

Como consequência, uma interface humano-computador deve ser especificada de modo que habilite o usuário a desenvolver heurísticas para interação. Todavia, é importante observar que estas heurísticas deveriam permanecer consistentes em diferentes domínios de interação.

Hoje, existe a percepção que embora importante, o design de sistemas interativos complexos não pode estar restrito ao entendimento de heurísticas, mas sim situado em um ambiente (local e distribuído) de interação e comunicação, incluindo fatores pragmáticos e sociais tais como aspectos culturais e estéticos. Nesta dissertação, é buscado o “balanço” adequado entre: o foco fatores humanos (ao considerar estudos como o *scanflow*), o foco na pessoa em seu ambiente (ao considerar o DP e simulações) e o foco no pragmático e social (ao considerar os estudos da SO).

O DP teve início na Escandinávia na década de 70 e emprega várias técnicas para conduzir o design “com” o usuário, em vez de “para” o usuário. O DP enfatiza a importância da democracia no ambiente de trabalho para aprimorar seus métodos, a eficiência no processo de design (considerando o conhecimento do usuário), a qualidade dos sistemas, e tende a impulsionar as atividades de formação (Müller 2003). No DP estes objetivos são atingidos por meio da interação direta dos usuários com os designers durante todo o ciclo de desenvolvimento da aplicação computacional, atribuindo ao usuário algum controle sobre as decisões de design.

Embora esta dissertação tenha foco na atividade de avaliação de interfaces e não tem todas as atividades do processo de design e não empregue uma técnica de DP específica, pretende-se aqui utilizar o referencial teórico e adotar a filosofia do DP como maneira de aproximar os usuários das atividades de design. Em particular pretende-se levar um passo a diante em considerar opiniões e avaliações de pilotos na avaliação qualitativa de sistemas autômatos em cabine.

3.3 Semiótica em IHC

No século XX, Pierce e Saussure lançaram as bases de duas disciplinas dedicadas aos sinais: Semiótica e Semiologia. Sendo a semiótica de Pierce conhecida como semiótica triádica devido ao esquema Semiótico de Pierce (ou tríade de Peirce).

Na teoria Peirceana (Peirce, CP 2.228)²² “Um signo, ou representâmen, é aquilo que, sob certo aspecto ou modo, representa algo para alguém. Dirige-se a alguém, isto é, cria, na mente dessa pessoa, um signo equivalente, ou talvez um signo mais desenvolvido. Ao signo assim criado denomino interpretante do primeiro signo. O signo representa alguma coisa, seu objeto. Representa esse objeto não em todos os seus aspectos, mas com referência a um tipo de ideia que eu, por vezes denominei fundamento do representâmen. . .”

Para (Morris, 1938) a *Sintaxe* define a relação entre os signos em estruturas formais, o que o signo implica; a *Semântica* define relações dos signos aos objetos a que os signos se aplicam, o que o signo designa e denota; e a relação *Pragmática* define a relação entre os signos aos intérpretes, o que o signo expressa.

Semiótica em IHC tem sido estudada a mais de duas décadas. De fato, a Semiótica tem influenciado a IHC em muitos aspectos. De acordo com Nadin (1988) “se existe uma ciência da interface (interface computacional ou qualquer outro tipo), então esta ciência é a Semiótica, e a Semiótica (do panlogismo) estabelecida por Peirce parece ser apropriada a interfaces.” (traduzido de Nadin 1988, p. 272).

A Semiótica Computacional foi proposta por Andersen (1991), suas propostas são baseadas em duas das interpretações do esquema semiótico como esquema estruturalista e na teoria Peirceana. No centro de sua perspectiva está o indivíduo, considerado como o criador, o intérprete e a referência dos sinais. Ele usa a produção semiótica de outros para (re)produzir conhecimento comum.

Já Semiótica Organizacional (SO), que pode ser definida como o estudo de organizações utilizando conceitos e métodos da Semiótica (OSW, 1995). Entende-se como

²² Parte dos trabalhos de Charles Sanders Peirce, fundador de uma das vertentes da Semiótica, foram publicados, após sua morte, em uma coleção de oito volumes sob o título *Collected Papers of Charles Sanders Peirce* cujos parágrafos foram numerados. Nesta dissertação CP é abreviatura de "Collected Papers" e "2.228" significa o parágrafo de número 228 do volume 2.

organização qualquer meio de demande comportamento organizado, tal como uma cabine de comando.

A SO utiliza alguns métodos e dispositivos para modelar e entender o problema em foco. A Figura 14 descreve o *framework* semiótico adaptado inicialmente proposto por Stamper (1973) para analisar o uso dos signos em seis camadas, do mundo físico ao mundo social, onde os efeitos do uso dos signos são percebidos. Stamper (1973) subdividiu os três níveis da semiótica em seis níveis, adicionando o nível físico e empírico “abaixo” do sintático, e o nível social “acima” do pragmático. Estas camadas são analisadas com técnicas específicas como a análise de informações, modelo de morfologia, análise semântica e análise de normas.

O diferencial da Semiótica Organizacional é que ela busca melhorar a compreensão das relações dentro das organizações, pois leva em consideração o comportamento humano e considera o trabalho interno da organização, incluindo os sistemas de informação e suas interações com o ambiente, onde seu objetivo é encontrar novas maneiras de analisar, descrever e explicar a estrutura e o comportamento das organizações (Liu, 2000). Para isso acontecer também é necessário que tenha um analista capaz de ajudar os usuários a entender seus problemas na descrição de seus requisitos de informação, para chegarem numa solução técnica do problema. Trabalhos anteriores (Bonacin e outros 2004) abordam que o DP pode ser articulado com métodos da SO.

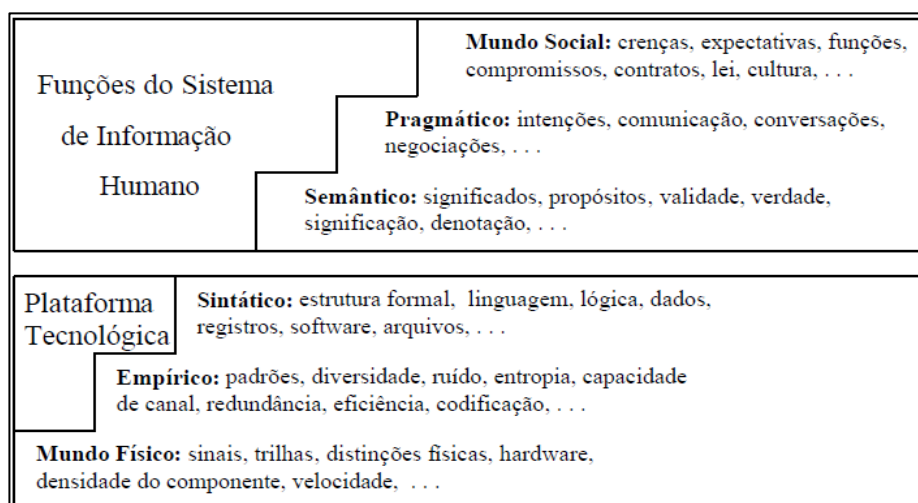


Figura 14: “*Framework*” Semiótico (adaptado de Stamper, 1973)

3.3.1 Métodos da Semiótica Organizacional

Nesta dissertação é considerado o conjunto de métodos conhecido como MEASUR (*Method for Eliciting, Analysing and Specifying User Requirements*) (Stamper, 1993), com maior foco nos dois últimos:

- PAM (*Problem Articulation Method*), para articulação de problemas, possibilitando delinear o problema em foco;
- SAM (*Semantic Analysis Method*), clarificar os significados da linguagem utilizada para definir o problema e sua solução em termos operacionais onde todos os estados significativos dos acontecimentos são tornados explícitos;
- NAM (*Norm Analysis Method*), aponta as autoridades e responsabilidades, e modela as normas que governam todas as atividades relevantes.

O SAM tem foco sobre os agentes e no seu padrão de comportamentos. Alguns conceitos básicos do SO – Semiótica Organizacional adotadas neste trabalho são baseados em Liu (2000) e Stamper (1993):

- "Um agente" é definido como algo (por exemplo, uma pessoa, um departamento ou uma organização), que tem um comportamento responsável. Os agentes são “*affordances*” que podem assumir a responsabilidade tanto por suas próprias ações ou de ações dos outros. Alguns exemplos no contexto deste trabalho são: um Comandante, um Primeiro Oficial, uma Autoridade Aeronáutica e um Controlador de Tráfego Aéreo “*ATCO*”;
- “*Affordance*”, o conceito originalmente introduzido por Gibson (1977), para expressar o comportamento de um organismo disponibilizado por uma estrutura combinada do organismo e do seu ambiente, foi ampliada por Stamper (1996) para incluir invariantes do mundo social; “*affordances*” sociais surgem de normas que compartilhamos com as pessoas ao nosso redor. Stamper argumenta que a realidade como nós conhecemos não foi construída individualmente, que foi criada pelo desenvolvimento cultural durante milênios. Por exemplo, um copo é um dispositivo humano cuja utilização não só é possível por causa de seu aspecto físico, mas também por causa de suas “*affordances*” sociais (crianças aprenderam a usá-lo pa-

ra beber, em vez de jogá-lo em alguém). Neste sentido, o manche não só existe e é utilizável por causa de seus aspectos físicos, mas também porque os tripulantes aprenderam a usá-lo de acordo com um conjunto de normas;

- "Papel" é o papel dos agentes de acordo com “*affordances*” que eles são responsáveis. Por exemplo, um "piloto" é um tripulante que é responsável por controlar a aeronave;
- "Uma dependência ontológica" é formada quando um “*affordance*” só é possível se algum(s) outro(s) também sejam possível. Dizemos que o *affordance* "A" é ontologicamente dependente da “*affordance*” "B" para dizer que "A" só existe enquanto "B", por exemplo: para que uma pessoa seja capaz de tropeçar, ele/ela deve primeiro andar; ou mesmo o “*affordance*” “decolar” só é possível enquanto existir o “*affordance*” "acelerar";
- "determinantes" variantes de qualidade e quantidade que diferenciam um exemplo de outro. Por exemplo, nível de voo, velocidade e razão de descida;

Os conceitos de Análise Semântica são representados por meio de diagramas de ontologias, que têm uma notação gráfica para representar agentes (círculos), “*affordances*” (retângulos), dependências ontológicas (linhas desenhadas da esquerda para a direita), papéis (entre parênteses), relações do todo e partes (ponto ao lado da linha) e determinantes (cerquilha #).

Além do SAM, a NAM é usada para descrever as relações entre uma utilização intencional dos signos e comportamento de agentes responsáveis, resultantes num contexto social. No nível social, as normas descrevem crenças, expectativas, compromissos, contratos, direito, cultura, bem como de negócios (Liu, 2000).

De acordo com Liu (2000) uma maneira de categorizar as normas é de acordo com as normas que "controlam" o comportamento humano (isto é, a tendência de se comportar de certa maneira). Várias normas podem ser identificadas, desta forma, cada um dos quais "regula" um determinado aspecto do comportamento humano. As normas identificadas no NAM podem ser classificadas em cinco tipos (adaptado de Stamper e outros (2000) e Liu, (2000)):

- Normas Perceptuais sob um aspecto são as mais básicas, elas representam: “Como as pessoas recebem os sinais do ambiente”. Dizem respeito às

formas em que dividem o mundo em fenômenos a que atribuem nomes. Nós só podemos representar normas explicitamente quando temos palavras para representar as percepções subjacentes. Na presente dissertação as normas perceptuais desempenham um papel importante, uma vez que tripulantes estão sempre lidando simultaneamente com vários tipos de dispositivos mecânicos, eletrônicos, eletromecânicos, hidráulicos e computacionais na cabine da aeronave localizados no painel superior, painel frontal, lateral da cabine e nas áreas centrais entre os assentos;

- Normas cognitivas nos falam das estruturas e relações de causa e efeito, elas representam: “Como as pessoas interpretam e compreendem o que é percebido”. Modelos de senso comum do mundo e expectativas sobre como os eventos no mundo estão ligados entre si guiam nossas vidas cotidianas, estes são os elementos cognitivos informais em nosso sistema de norma. Essas normas podem ser reconhecidas porque suas partes consequentes afetam nossas crenças. Na presente dissertação, as normas cognitivas são muito importantes, pois o reconhecimento dos tripulantes é o resultado de vários anos de dedicação em árduo estudo e treinamento, bem como milhares de horas de experiência de voo;
- Normas avaliativas são mais básicas do que as normas de percepção, visto de outro ponto de vista, elas representam "Como as pessoas atribuem crenças, valores e objetivos". Nossos sistemas de valor são em grande parte determinados por nossa cultura ou sub cultura. Percepções são geralmente criados para definir área limítrofe onde as avaliações mudam muito rapidamente. Na dissertação as normas avaliativas descrevem ações obrigatórias dos tripulantes de cabine e controladores de tráfego aéreo uma vez que são esperadas ações adequadas e corretas nos dispositivos de interface para atingir o objetivo da tarefa no voo da aeronave pelos tripulantes técnicos assim como pelos especialistas controladores no solo;
- Normas denotativas orientam a escolhas dos sinais para o significado, tais escolhas são culturalmente dependentes. Elas representam "Como as pessoas escolhem sinais para significar". No caso apresentado nesta dissertação as normas denotativas desempenham também um importante papel devido à necessidade de ações em questão de intervalo de tempo na ação dos tripulantes técnicos e dos controladores de tráfego aéreo.

- Normas comportamentais são como as pessoas se comportam em padrões convencionais. O comportamento das pessoas é afetado por convenções sociais, leis, procedimentos padrão dentre outros aspectos. Na cabine de aeronaves uma extensa descrição de dados de procedimentos padronizados afeta o aspecto comportamental dos tripulantes.

O exemplo a seguir ilustra uma descrição de norma comportamental:

Sempre que os tripulantes tem a liberação de descida pelo órgão ATC
se o voo está pronto para começar descida do nível de voo
então, a tripulação técnica
é obrigada a
efetuar um procedimento de cabine de pré descida

Este formalismo pode ser utilizado para representar normas em cabine de aeronaves no contexto organizacional, no entanto, vale a pena mencionar que as normas de comportamento não são compreendidas (a partir da perspectiva da SO) como um guia ou manual, pois eles estão ligados ao comportamento real esperado dos agentes na sociedade. Stamper (1973) enfatiza que as normas podem ser entendidas como um campo de força que induz com que os agentes se comportem de determinada maneira, pois ninguém pode manipular uma norma como manuseamos um livro

Em Liu (2000) estes métodos são apresentados em detalhes, assim como seu uso para modelagem de sistemas de informação. O uso destes métodos em IHC também vem sendo estudado a pelo menos uma década.

3.3.2 MEASUR em Sistemas Críticos

Considerando sistemas críticos, o PAM foi utilizado por Guimarães (2010). Guimarães (2010) trabalha o aspecto comunicação no sentido amplo. A Figura 15 apresenta modelo conhecido como cebola organizacional (Liu, 2000), instanciado e adaptado por Guimarães (2010) para o contexto de interfaces de sistemas críticos. Tal modelo apresenta como diferentes aspectos se relacionam neste contexto, no nível técnico, formal e informal; assim como a influência de entidades externas tais como governo, agências reguladores e necessidades da sociedade.

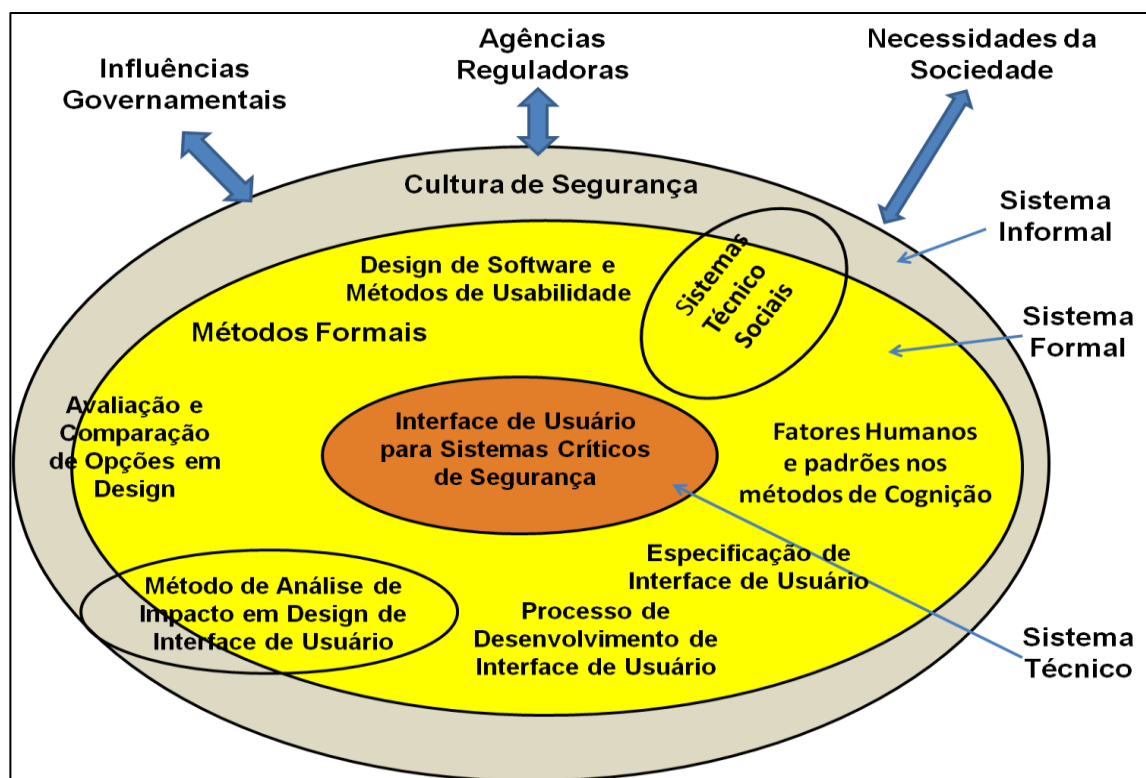


Figura 15: Modelo “Cebola” Organizacional Instanciado (de Guimarães, 2010).

Já a Figura 16 (também inspirada na Cebola Organizacional) apresenta as diversas partes interessadas denominados “agentes” (*Stakeholders*) envolvidas na operação da cabine de comando. Tais partes interessadas são organizadas em diferentes camadas, nas quais as mais próximas do centro representam contribuições diretas ao sistema em foco e evidencia a complexidade envolvida no problema desde o aspecto operacional, indústria da aviação como um todo, profissionais de diferentes especialidades, clientes usuários e sociedade.

O estudo apresentado por Guimarães (2010) apresenta contribuições, ao entendimento da comunicação entre os agentes envolvidos na operação da cabine, incluindo o entendimento organizacional e a comunicação “humano-computador-humano” em cabine. Tais estudos servem de ponto de partida para o desenvolvimento desta dissertação, onde se aborda aspectos Semânticos e Pragmáticos através dos métodos SAM e NAM, como os aspectos normativos da interação “humano-dispositivo automatizado” em tarefas pilotagem (decolagem e aproximação para pouso).

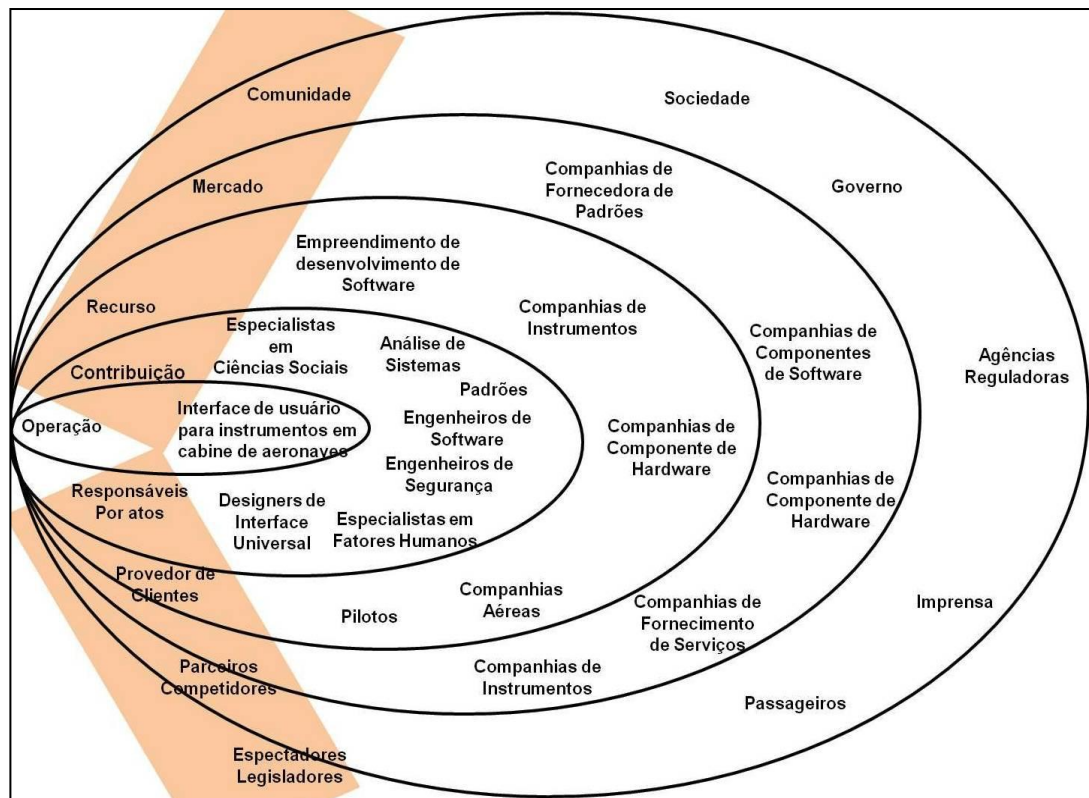


Figura 16: Interação e integração dos agentes envolvidos (adaptado de Guimarães 2010)

4. Concepção e Descrição do Processo Proposto

A partir do entendimento da multidisciplinaridade do assunto foi produzido um “Modelo Conceitual” (ou *Framework* Conceitual) para auxiliar o entendimento do problema e as dificuldades envolvidas em sua solução. A Seção 4.1 apresenta o “Modelo Conceitual” do problema e discute os aspectos relacionados a este modelo.

Com base nos aspectos conceituais discutidos na Seção 4.1, a Seção 4.2 apresenta um “Modelo Metodológico” (ou *Framework* Metodológico) que foi trabalhado no desenvolvimento de um processo para de avaliação de interface em cabine de aeronaves. A Seção 4.2 destaca como cada método das disciplinas envolvidas contribuiu na elaboração do processo que é descrito na Seção 4.3. A Figura 17 apresenta a visão geral da IHC no contexto da dissertação.

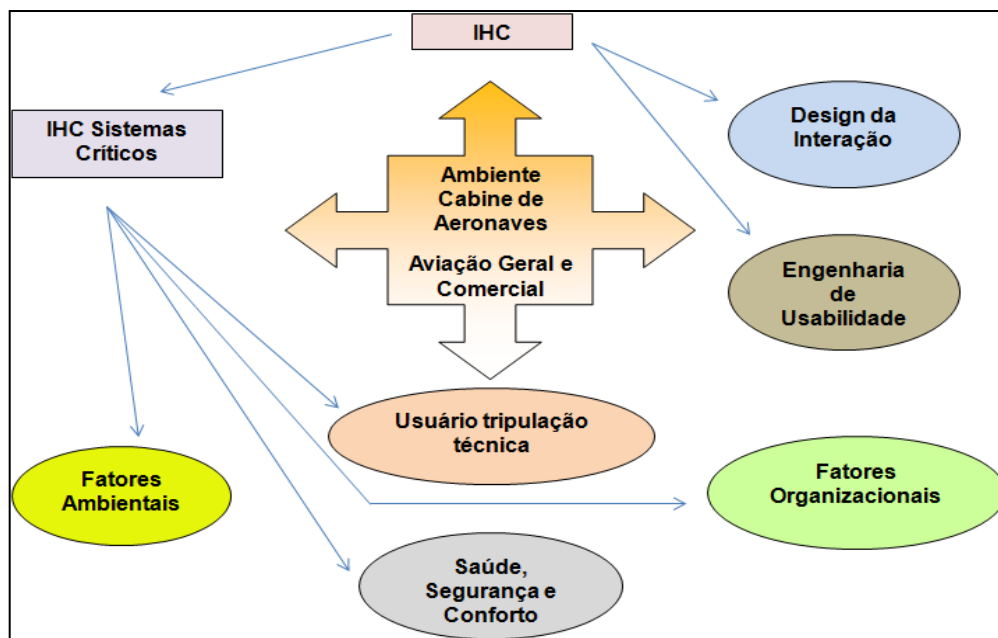


Figura 17: Visão Geral da IHC no contexto da proposta

4.1 Concepção de um Modelo Conceitual para Avaliação de Interfaces

Conforme destacado no Capítulo 3, a maioria dos artigos publicados menciona interface humano computador sob a ótica da tecnologia ou do treinamento. Entretanto estas técnicas de avaliação de interfaces não são plenamente capazes de lidar com aspectos fundamentais da interação entre a tripulação e os dispositivos computacionais; tal fato é

sugerido por relatórios oficiais de acidentes e incidentes aeronáuticos que revelam taxas de crescimento superiores às taxas de aumento da frota (Cenipa, 2012).

Para minimizar tal deficiência, a dissertação explora o problema em três dimensões essenciais inter-relacionadas. Conforme destacado na Figura 18, as três dimensões abordadas neste trabalho são:

1. *Dimensão de Estudos (ou de entendimento)*: esta dimensão ressalta a necessidade de conduzir estudos que incluem desde aspectos conceituais, tais como linhas filosóficas e modelos abstratos, até os aspectos tecnológicos como sistemas embarcados;
2. *Dimensão Humana*: esta dimensão ressalta a necessidade de lidar com aspectos humanos, que vão desde suas características físicas e sensoriais, até suas características cognitivas;
3. *Dimensão da Linguagem*: esta dimensão ressalta a necessidade de lidar com aspectos ligados à linguagem e comunicação. Com base no *framework* semiótico de Stamper (1993) é possível compreender parte desta dimensão desde a camada física até a social.

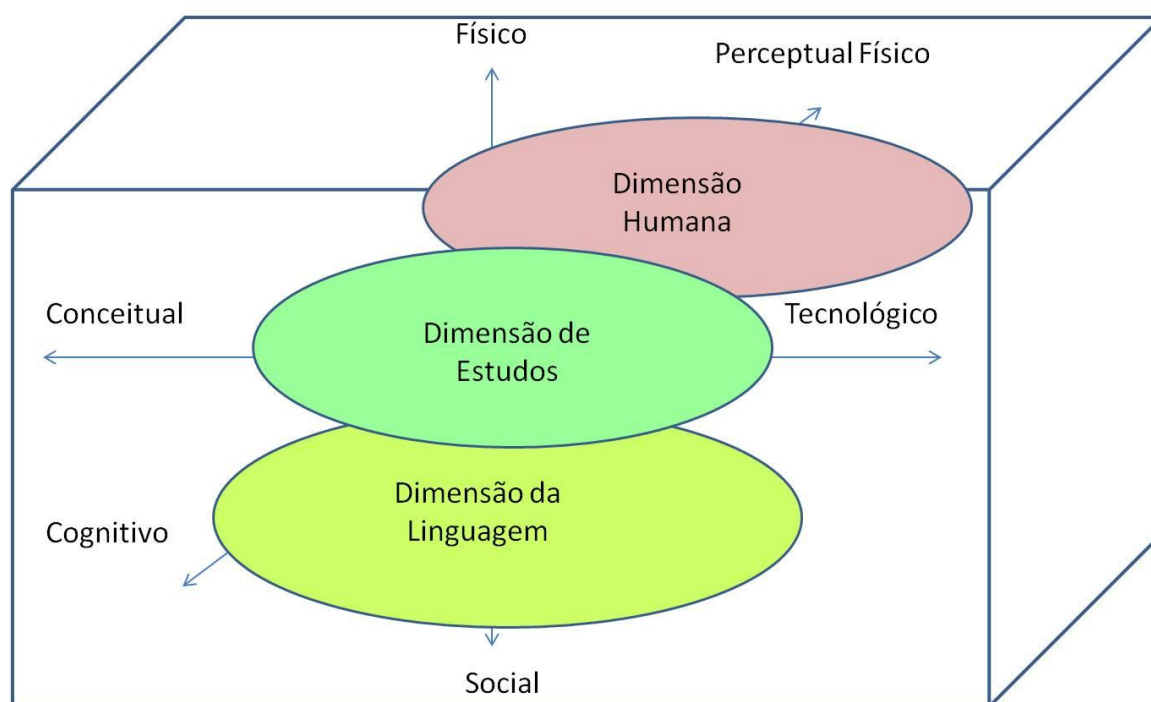


Figura 18: Interfaces em escala de posições relativas

4.1.1 Dimensão da Linguagem

A comunicação da tripulação com dispositivos autônomos (da dimensão da Linguagem) se dá em diversos níveis, incluindo, por exemplo:

- *Físico*: Como os dispositivos da cabine são fisicamente, incluindo como o status do sistema é fisicamente exibido à tripulação (e.g., luzes, mostradores, etc.) e como eles podem ser manipulados (e.g., botões, manetes, manche, telas de toque, etc.);
- *Empírico*: Como a largura de banda de comunicação, ruídos, códigos, etc.
- *Sintático*: Como a comunicação é estruturada, sequencia de procedimentos, varredura de instrumentos, leitura e repetição das listas de conferências mandatórias (*check-lists*);
- *Semântico*: Como o significado do que é apresentado à tripulação é interpretado, como a tripulação interpreta as ações a serem executadas;
- *Pragmático*: Como a intenção da tripulação ao realizar um procedimento, negociações, etc;
- *Social*: Como responsabilidade dos tripulantes, deveres, proibições legais (legislação) procedimentos, códigos de ética e conduta.

4.1.2 Dimensão de Estudos/Compreensão

Ao considerar o aspecto tecnológico (da dimensão de estudos) espera-se que métodos de avaliação de interface em cabine de aeronaves baseadas em Semiótica remetam aos ambientes de cabines de aeronaves modernas, com sistemas altamente integrados e de complexas funções automáticas, as quais representam diversas e extremas demandas sobre a tripulação técnica. Ou seja, sistemas que demandam uma intensa interpretação e manipulação dos elementos de interface (signos), por parte da tripulação técnica.

Fabricantes de aeronaves e organizações despendem grande energia e enormes recursos financeiros em pesquisa e desenvolvimento de sistemas que auxiliam tripulantes nas tomadas de decisão, tanto quanto possível. Estes objetivos tentam ser alcançados por meio da automação e do estabelecimento de procedimentos padrão e listas de verificação para cobrir falhas antecipadas ou previstas ou emergências.

Até o presente momento, a automação, em certas circunstâncias tem levado a inabilidade, que é considerada uma das principais causas de deficiências severas sobre a interação entre a tripulação de cabine e sistemas da aeronave. Do ponto de vista conceitual (da dimensão de estudos) a SO, DP e DI juntos se baseiam na premissa que tal inabilidade (que é consequência do aspecto tecnológico) só poderá ser corretamente tratada ao considerar o ser humano como elemento central no processo de design, e trazer a tripulação técnica em atividades participativas capazes de expressar suas habilidades e inabilidades.

4.1.3 Dimensão Humana

Ao considerar o aspecto cognitivo (da dimensão humana), é ressaltado que o ambiente em cabine de aeronaves demanda estreita cooperação entre a tripulação técnica e o sistema autônomo que cria um “modelo mental” de operação e que precisa ser claro, disponível e imediatamente assimilado sob demandas rígidas e estritas, ou ainda demandas facilmente executáveis e que estejam sob absoluto domínio e preferências nas tomadas de decisão pelos tripulantes técnicos no comando da aeronave. Neste sentido, sistemas automatizados não podem tomar qualquer ação até total e explícito consentimento dos tripulantes técnicos que estão a cargo da missão na cabine de comando da aeronave.

Os fatores humanos estão primeiramente relacionados às atividades consentidas aos usuários do sistema e não podem ser restritos a uma relação de princípios físicos do local como formato, cores e fluxo de informações (aspecto físico da dimensão humana), mas, sobretudo se refere à filosofia do conjunto homem máquina com prioridade ao ser humano (*i.e.*, o aspecto cognitivo da dimensão humana). Suponha um sistema no qual a tripulação seja apenas executora com um perfeito painel de instrumentos permitindo total compreensão e interpretação dos dados e parâmetros, entretanto, sem nenhuma possibilidade de mudança de ações e com permanentes correções dos sistemas eletrônicos invalidando atividades dos tripulantes.

Sistemas programados como esse não devem ser considerados adequados aos fatores humanos do ponto de vista de design. Os tripulantes não devem ter uma segunda função porque acima de tudo são considerados responsáveis do ponto de vista legal e psicológico como responsáveis pelo voo e devem, acima de tudo, manter a total autoridade sobre os sistemas computacionais e dispositivos eletromecânicos embarcados. Felizmente

a tripulação técnica mantém o controle dos parâmetros de voo com informações advindas dos displays no painel como velocidade aerodinâmica, altitude, atitude como, por exemplo, movimento de ascensão, desejado voo reto horizontal ou descida.

Todavia, há claras tendências para se abortar estes privilégios e atualmente alguns sistemas já são programados com objetivo de eliminar ações dos tripulantes em certas circunstâncias como exemplo proteção ao sistema de propulsão ou do voo. O objetivo da comunidade nos fatores humanos é melhorar o valor associado a estes sistemas, e não entrar em um debate sobre o balanço relativo à segurança resultante dessas soluções (como hábito, sabemos quantos acidentes / incidentes estes sistemas têm causado, mas ignoramos aspectos de quantos incidentes / acidentes os sistemas têm contribuído para evitar). No entanto, até onde podemos ir nessa direção com equipes atuantes de forma eficiente e responsável no ambiente aeronáutico e mantendo a satisfatória ética com os fatores humanos? Temos que reconhecer que o fator humano não tem soluções para um crescimento infinito na complexidade dos sistemas. Portanto, se queremos que a tripulação permaneça no comando, ou teremos que limitar o aumento do desempenho humano-máquina até que a pesquisa mostre resultados eficientes preservando a autoridade dos seres humanos, ou aceitamos projetar sistemas, por exemplo, feito com dois mecanismos. O primeiro mecanismo é controlado por equipes. Dentro deste mecanismo, as equipes estão treinadas para compreender e operar o sistema. Eles compartilham a responsabilidade total, ter autoridade total e pode ser responsabilizada por consequências inaceitáveis de seus erros.

Por outro lado, o segundo mecanismo de maneira independente do primeiro mecanismo, entra em gestão automática completamente guiada por parâmetros computacionais normatizados, aprovados e validados pelas autoridades aeronáuticas. Em tal caso, as equipes técnicas de cabine passam a ser apenas passageiros como todos os outros no interior da aeronave. Fatores humanos não são causa, exceto para a transição de um mecanismo para o outro. Por último, a ergonomia e fatores humanos só se adaptam ao primeiro mecanismo. Esta dissertação objetiva relatar ambos e ambíguos cenários e pretende buscar o equilíbrio dos recursos computacionais e a capacidade humana para assumir o controle do voo com segurança até o destino.

4.2 Concepção de um Modelo Metodológico para avaliação de interfaces

Com o objetivo de explorar as dimensões apresentadas no “Modelo Conceitual” (seção anterior) foram utilizados e adaptados Métodos da SO (i.e., PAM, SAM e NAM), DP e DI. Cada método deve ser capaz de lidar com um conjunto de aspectos ligados a cada dimensão do problema em questão. Pelo entendimento do problema em múltiplas dimensões através do “Modelo Conceitual”, espera-se obter um processo de avaliação consistente que englobe métodos que lidam com aspectos pouco explorados nas avaliações de interfaces atuais. Portanto, é considerado que se corretamente articulados, os métodos da SO, DP e DI podem propiciar avaliação mais criteriosa da interface.

Por exemplo, espera-se que com o SAM seja possível lidar com aspectos que incluem a semântica na dimensão de linguagem, padrões comportamentais na dimensão humana e *affordances* na dimensão de estudo (entendimento). Nossa hipótese, neste caso, é que a semiótica e a teoria de “*affordances*” podem auxiliar no entendimento dos padrões de comportamento possíveis graças à combinação dos dispositivos (cabines aeronáuticas altamente automatizadas) e o ser humano (tripulações). Conforme dito anteriormente, SAM se baseia na teoria de Gibson (1977), conceito de “*affordances*” expandido por Stamper no método de análise semântica. O objetivo é identificar as “*affordances*”, assim como as dependências ontológicas e outros aspectos importantes do contexto da cabine de comando da aeronave. O foco da pesquisa é a demonstração dos processos de avaliação e a análise da capacidade do ser humano em tomar o controle do equipamento, conforme necessário. Isto leva a uma análise cuidadosa da interação entre pilotos e os sistemas automatizados de acordo com os padrões de comportamento esperados.

Figura 19 apresenta a interação em sistemas críticos no ambiente de cabine de aeronaves como aspecto central e relaciona-a com os assuntos que demanda um amparo metodológico para a solução do problema.

Cada área investigada e pode gerar contribuições específicas a cada assunto destacado nesta figura, que por sua vez serão empregados na construção do processo de avaliação de interfaces.

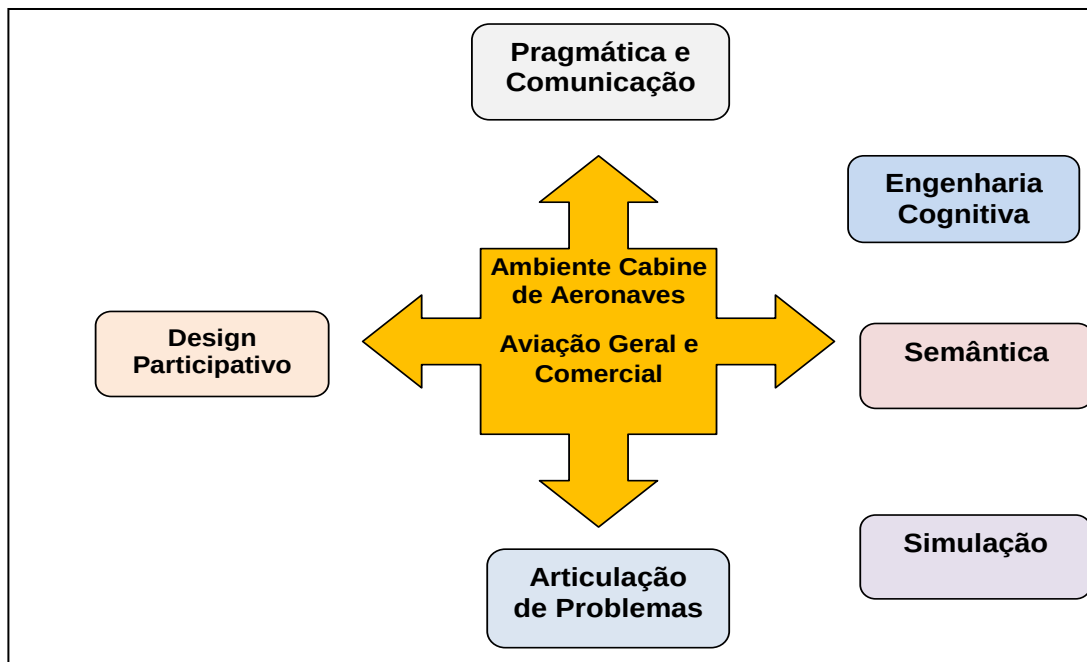


Figura 19: Interação em sistemas críticos e assuntos abordados nesta dissertação.

A Figura 20 descreve exemplos de técnicas e métodos advindos de cada área de estudo e que contribuem para os assuntos que contribuirão para formação do processo proposto. Por exemplo, em DP o método de avaliação participativa irá contribuir para estabelecer a dinâmica das atividades envolvendo designers, engenheiros e projetistas, usuários pilotos e mecânicos de aeronaves. Para lidar com a pragmática e comunicação é proposto o NAM, para descrições semânticas o SAM, e para articulação de problemas o PAM.

A Figura 20 ainda destaca a operacionalização da simulação via ambientes virtuais e simulação em cabine real em solo. Ainda a Figura 20 destaca que aspectos como cognição são tratados através de métodos de engenharia cognitiva como, por exemplo, o “*scan flow*”. Finalizando, a figura descreve a simulação física presencial em cabine de aeronaves no solo e voo virtual em simuladores de voo: Coleta de dados de pilotos experientes em ambiente real de cabine e em laboratório e pela engenharia cognitiva que é a avaliação por método de “*scan flow*” de pilotos.

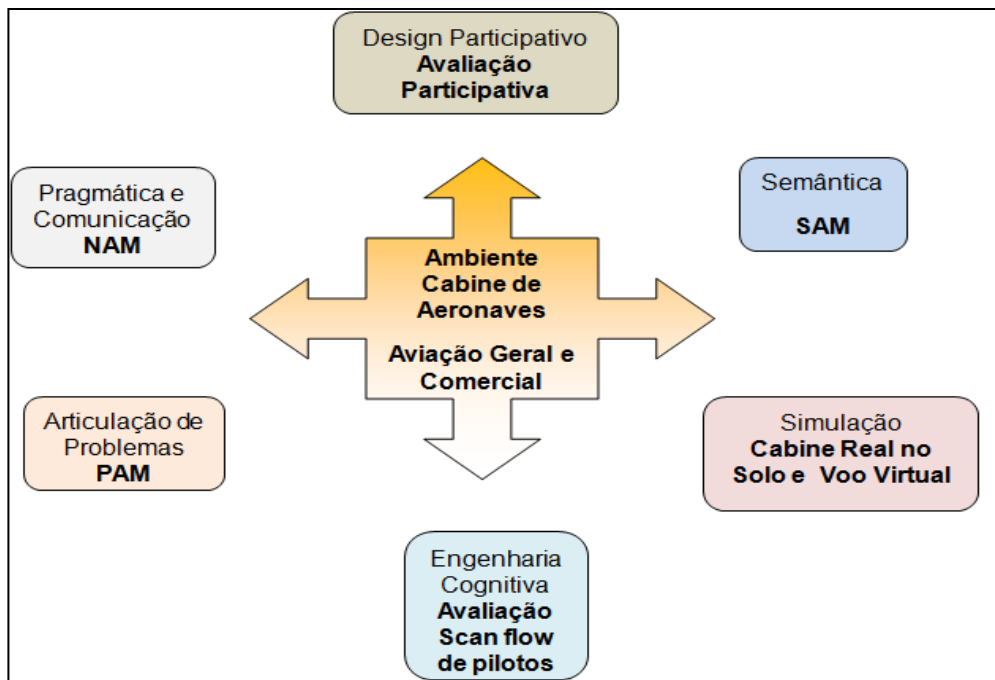


Figura 20: Lista de Técnicas e Métodos e Suas Contribuições.

4.3 Descrição Macro do Processo de Avaliação Proposto

O SCoEM “*Semiotic Cockpit Evaluation Method*” foi, no contexto deste trabalho de mestrado, primeiramente proposto por Moreira e Bonacin (2013), como estudos preliminares, com três pilotos no procedimento de decolagem. Posteriormente o SCoEM foi adaptado e aperfeiçoado em um estudo mais detalhado da fase de aproximação de pouso, conforme processo iterativo destacado na Figura 3. O SCoEM busca sistematizar o emprego dos métodos descritos na última seção.

A Figura 21 descreve a visão geral do SCoEM que fundamenta-se em uma visão da SO que a cabine de aeronave é um sistema social organizado. Como resultado, temos uma lista onde cada ‘*affordance*’ e respectivas normas são avaliadas em conjunto com os artefatos que apoiam ou tornam possíveis as ações dos agentes. O SCoEM não impõe ou sugere métodos para verificar individualmente cada recurso do artefato, mas tem a intenção de elicitar e organizar sistematicamente o uso dos métodos existentes. As linhas tracejadas na Figura 20 delimitam as três fases que podem ser descritas como se segue:

1. *Modelagem participativa do Diagrama de Ontologia.* Durante esta fase, especialistas em IHC trabalharam com especialistas com domínio na análise e modela-

gem de *affordances*, de dependências ontológicas e de outros conceitos do SAM. Esta fase é composta por três atividades:

- 1.1. Definição do artefato (s) e tarefa(s) / procedimento(s) a ser avaliado(s);
 - 1.2. Descrição do contexto, incluindo procedimentos, tarefas artefatos e regras (e.g, guias do fabricante podem ser usados nesta atividade);
 - 1.3. Aplicação do SAM, incluindo a geração de *affordances* candidatos, agrupamento candidatos e mapeamento de ontologias, como descrito por Liu (2000). As atividades de repetição 1.2 e 1.3 são executadas de forma iterativa até que o diagrama de ontologia seja validado por especialistas de domínio;
2. *Análise e Modelagem Participativa de Normas*. Durante esta fase, especialistas em IHC trabalham com especialistas do domínio (por exemplo, pilotos e instrutores) na análise de todos os tipos de normas, sendo primeiramente nesta fase modeladas as normas comportamentais que guiam a interpretação de outras normas. Esta fase é composta por duas atividades:
- 2.1. A primeira atividade é a descrição detalhada em linguagem natural de todos os elementos relacionados a um “*affordance*”, de uma maneira que possa detectar as normas associadas a eles. Essas descrições incluem os aspectos formais, bem como os aspectos relacionados com a informal pragmática e contexto social. Nesta etapa é detalhado (em texto livre) e discutido como as normas são executadas na cabine, mas não inclui a modelagem das normas;
 - 2.2. A segunda atividade é a aplicação do NAM, as normas são associadas com os “*affordances*” detectados na última fase. Estas duas atividades são realizadas de forma iterativa, isto é em ciclos repetidos até validar de todas as normas com especialistas;
3. *Avaliação Participativa da Interação*. Durante esta fase “*affordances*” e normas são analisados para obter as perguntas a serem consideradas para a avaliação com os especialistas do domínio (i.e) pilotos e técnico de controle de tráfego aéreo. Estas questões são então verificadas usando outros métodos de avaliação da interação em cabine de comando de aeronaves; tipicamente estudos de laboratório-

rio e de simulação podem ser aplicados nesta fase; ou seja, o SCoEM não estabelece um método específico a ser aplicado, ele apenas disciplina a sua aplicação. Esta fase é composta por duas atividades:

3.1. Na primeira atividade os “*affordances*” e outros conceitos da SAM são contrastados com os dispositivos que são objetos de análise. Ou seja, quais são os artefatos e dispositivos e como eles tornam possíveis (junto com os pilotos) os *affordances* especificados;

3.2. Na segunda atividade as normas são contrastadas com os dispositivos. O raciocínio é o de avaliar todos os mecanismos e as condições necessárias para realizar as ações corretas, utilizando os dispositivos da cabine de comando de acordo com as normas identificadas. Para tanto, um conjunto de questões a serem respondidas é derivada das normas. Suponha que a avaliação de um dispositivo que detecta automaticamente "manter posição" nas pistas de taxiamento do aeroporto, alguns exemplos de perguntas são:

- i. O sinal de alerta é visível no dispositivo? (isto é, de acordo com as normas perceptuais).
- ii. O piloto pode entender corretamente o dispositivo de alerta? (isto é, de acordo com as normas cognitivas).
- iii. Como os pilotos julgam o valor deste tipo de dispositivo? É importante? (ou seja, as normas avaliativas).
- iv. Qual é o comportamento esperado do piloto usando o aparelho? Pode o dispositivo apoiá-lo corretamente? (isto é, de acordo com as normas de comportamento).
- v. As cores, formas e outros aspectos são devidamente utilizados nos designs de interação com dispositivos? (isto é, de acordo com as normas denotativas)

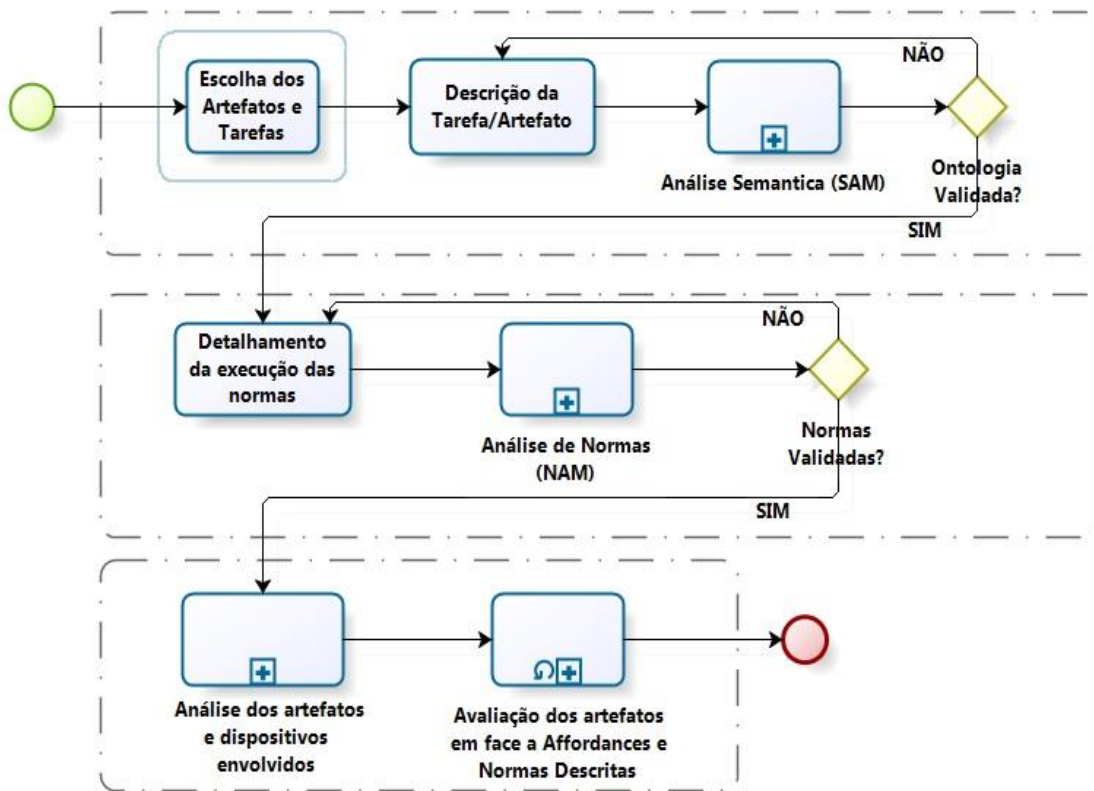


Figura 21: SCoEm (Moreira e Bonacin, 2013)

5. Aplicação do Processo

Seguindo o princípios de DP, neste trabalho o SCoEM, incluindo o SAM e NAM, foi realizado com especialistas do domínio (pilotos)²³ e modelos (*i.e.*, diagramas de ontologia e normas) foram validados em oficinas em grupo. O diagrama de ontologia foi modelado com um especialista do domínio e apresentado a outros especialistas para a discussão. Depois disso, cada norma foi apresentada e explicada em uma oficina e possíveis mudanças nas normas foram discutidas e executadas. Durante as oficinas, o comportamento dos tripulantes em voo e suas crenças e valores bem como a percepção foram profundamente pesquisadas e plotadas no processo de simulação de voo. A atenção do trabalho teve foco nos aspectos sociais, principalmente nos fenômenos psicossociais e nos aspectos de engenharia de usabilidade direcionadas a proposta de análise Semiótica de interação com dispositivos computacionais durante as fases de decolagem (seção 5.1) em um primeiro momento e aproximação e pouso de aeronaves (seção 5.2) em um estudo mais detalhado.

5.1 Aplicação da Avaliação de Interface no Estudo da Decolagem – “*take-off*”

A Figura 21 apresenta detalhes da aeronave de instrução básica que foi utilizado neste primeiro estudo de caso. Na parte esquerda da Figura 22 foram numerados de 1 a 12 os instrumentos de interface mais importantes, atuadores e outros dispositivos necessários, aqui denominados como artefatos internos. Na parte direita da foto foram numerados de 13 a 16 artefatos denominados externos.

O estudo foi realizado com três pilotos convidados para compor o grupo focal I, com diferentes perfis: (1) um Comandante Máster instrutor de linha aérea, (2) um Piloto Profissional Agrícola e (3) um Piloto Privado. Todos três pilotos haviam voado este modelo de aeronave de instrução Cessna 152 por muitas centenas horas. Este modelo de aeronave é intensivamente utilizado em instrução primária nos cursos básicos de aviação como piloto privado ou ainda como instrução avançada em voos por instrumentos nas categorias piloto privado com proficiência para voo por instrumentos (IFR) ou pilotos comerciais na fase de instrução.

²³ Observação do Autor: Pilotos convidados, com diferentes perfis profissionais para o estudo são assíduos frequentadores do Aeroclube de Atibaia e entusiastas da aviação, cujos encontros chamados de “papos de hangar” que permitem constantes trocas de ideias e conhecimento, sem restrição de idade, sexo ou hierarquia sendo sempre miscigenados com pilotos profissionais e pilotos que praticam a atividade por esporte ou diversão.

A proposta de estudo do SCoEM iniciou com a descrição das tarefas de decolagem. Um diagrama ontológico foi elaborado em conjunto com os pilotos. E posteriormente as normas ligadas a decolagem foram modeladas e validadas.



Figura 22: Dispositivos Internos e Externos de Aeronave de Instrução – Foto Fonte Autor

A figura 23 apresenta etapas de atividades do grupo focal I com discussão de temas relativos a interação Piloto versus equipamentos diversos da aeronave de instrução envolvidos na fase inicial de voo denominado decolagem.

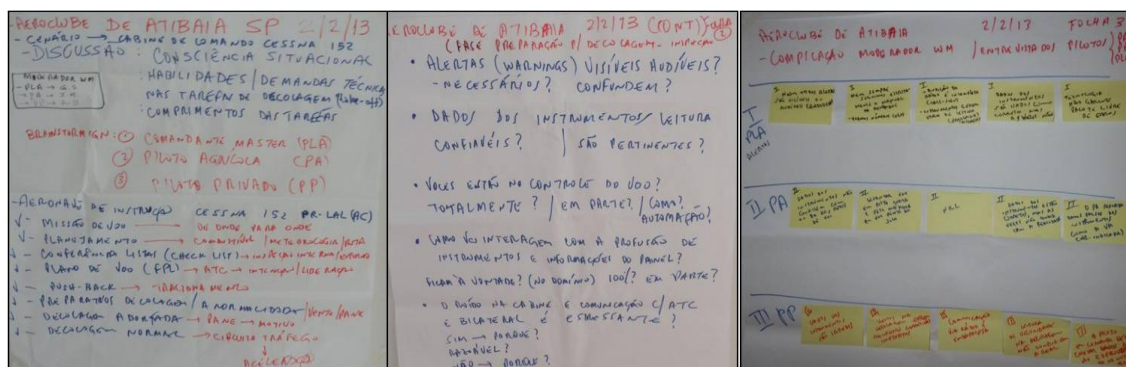


Figura 23: Seleção de questões e discussões do grupo focal I (Foto do Autor)

A Figura 24 apresenta o diagrama ontológico com “*affordances*” primordiais envolvidos nas tarefas de decolagem (alguns aspectos foram omitidos com propósito de facilidade de compreensão). O diagrama descreve, por exemplo, que a decolagem (lado direito do diagrama) é parte do Voo, que por sua vez é dependente ontologicamente da Aceleração.

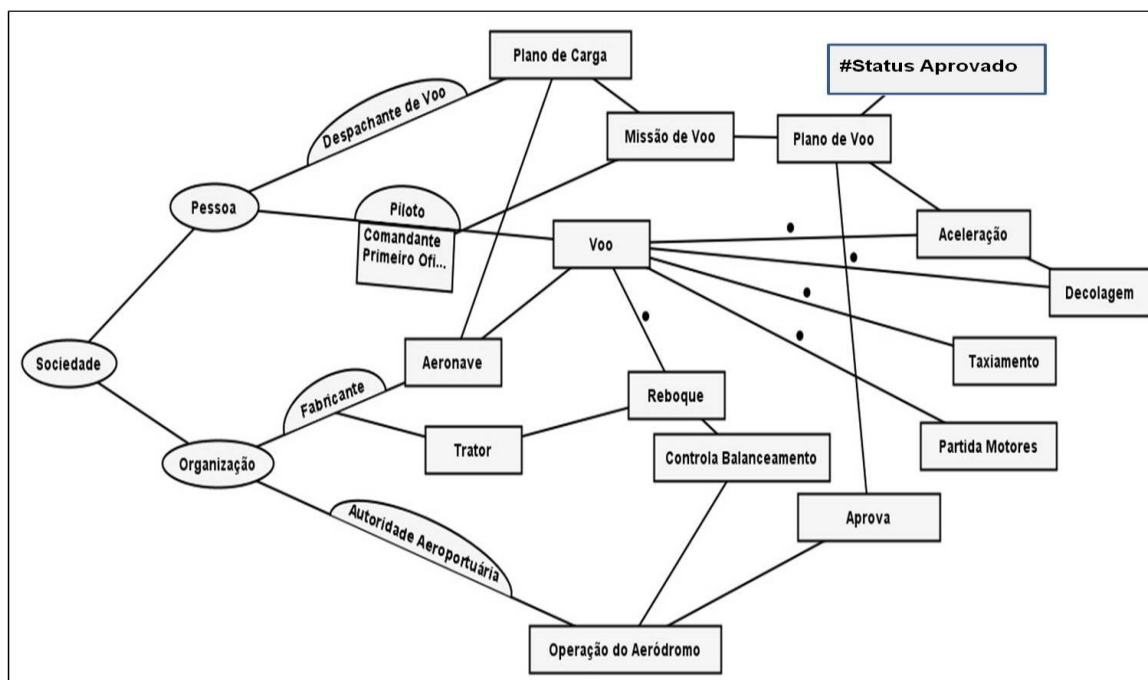


Figura 24: Quadro ontológico simplificado da decolagem

Após isto, para cada “*affordance*” um conjunto de normas foi elicitado junto aos pilotos. Para o “*affordance*” decolagem (foco desta fase do estudo) 20 normas comportamentais descrevem o comportamento mínimo esperado dos pilotos durante a decolagem. As normas apresentadas na Tabela 5 são exemplos de normas comportamentais que o piloto cumpre durante a aceleração e decolagem.

Tabela 5: Normas Determinantes Comportamentais da Decolagem

No.	Ação	Norma
1	Missão do Voo	Sempre que a missão de voo é discutida e preenchida pelo operador e tripulantes técnicos. se os tripulantes técnicos receberam dados de peso da aeronave (número de passageiros, bagagens e carga) então , a tripulação técnica é obrigada a efetuar cálculos de peso e balanceamento
1.1	Planejamento do voo	Sempre que a missão de voo é compreendido e preenchido pelo operador e tripulantes técnicos. se os tripulantes técnicos realizaram os cálculos de peso e balanceamento então , a tripulação técnica. é obrigada a efetuar um Plano de Voo para as autoridades do aeroporto

1.2	Planejamento voo parte 2	Sempre que o Plano de Voo foi aceito pelas autoridades aeronáuticas se é um voo noturno, ou diurno com restrição de visibilidade através das regras de voo por instrumento (IFR) então , a tripulação técnica é obrigada a efetuar a submissão de plano de voo IFR de acordo com habilitações e licenças dos tripulantes técnicos e certificação da aeronave.
1.3	Conferência “check-lists” de pré voo	Sempre que o Plano de Voo foi aceito pelas autoridades aeronáuticas se os dados de voo foram configurados no computador central então , a tripulação técnica é obrigada a efetuar a liberação para conferência “check-lists” das atividades de pré-voo
1.4	Execução de plano de voo	Sempre que o Plano de Voo foi aceito pelas autoridades aeronáuticas se a conferência “check-lists” das atividades de pré voo foi liberada então , a tripulação técnica é obrigada a efetuar a execução do plano de voo exatamente como foi apresentado
1.5	Tracionamento “push-back”	Sempre que a aeronave está finalizada para decolagem se está estacionada nas pontes de acesso ou em área remota então , o Comandante é obrigado a efetuar a solicitação de reboque “push-back”
2	Preparativos decolagem	Sempre que a aeronave está finalizada para decolagem se a aeronave está na pista de decolagem então , o Primeiro Oficial é obrigado efetuar configuração e preparar para decolagem
2.1	Anormalidades na decolagem	Sempre que a aeronave estiver decolando com velocidade inferior a V1 se ocorrer falha crítica então , a tripulação técnica é obrigada efetuar operação de abortagem de decolagem
2.1.1	Anormalidades na decolagem (abortagem)	Sempre que a aeronave estiver decolando com velocidade superior a V1 se ocorrer falha crítica então , a tripulação técnica é obrigada efetuar continuidade da operação de decolagem e retornar para pouso
2.1.2	Decolagem com anormalidade (emergência)	Sempre que o Primeiro Oficial informar V1 e depois V2 se ocorrer falha crítica de motor então , a tripulação técnica é obrigada efetuar continuidade no objetivo de desempenho de razão e ângulo de subida
2.1.3	Decolagem abortada	Sempre que aeronave decolada se aeronave não alça voo então , a tripulação técnica é obrigada efetuar a desaceleração e livrar a pista de pouso informando autoridades aeronáuticas sua intenção
2.1.4	Decolagem abortada – tesoura de vento	Sempre que aeronave iniciou a decolagem se aeronave desviou-se do eixo da pista então , a tripulação técnica é obrigada efetuar a desaceleração, inclinar asas para baixo em relação a direção do vento, pousar imediatamente e aplicar freios, livrar a pista de pouso informando autoridades aeronáuticas sua intenção

2.1.5	Decolagem abortada – obstáculo inesperado	Sempre que aeronave iniciou a corrida de decolagem se aeronave encontra obstáculo não esperado então , a tripulação técnica é obrigada efetuar a desaceleração, desviar do obstáculo se possível, pousar imediatamente e aplicar freios, livrar a pista de pouso informando autoridades aeronáuticas sua intenção
2.1.6	Decolagem abortada – falta de potência	Sempre que aeronave ainda permanece na corrida de decolagem se aeronave não atinge a velocidade de decolagem então , a tripulação técnica é obrigada efetuar a desaceleração, aplicar freios, livrar a pista de pouso informando autoridades aeronáuticas sua intenção
2.1.7	Decolagem abortada – falha	Sempre que aeronave ainda permanece na corrida de decolagem se aeronave percorreu mais do que metade do comprimento da pista então , a tripulação técnica é obrigada efetuar a desaceleração, aplicar freios, livrar a pista de pouso informando autoridades aeronáuticas sua intenção.
3	Decolagem padrão	Sempre que aeronave decolou se aeronave segue em voo então , a tripulação técnica é obrigada efetuar comunicação com autoridades aeronáuticas que está livrando o circuito de tráfego do aeródromo
4	Decolagem padrão – abandono do circuito de tráfego	Sempre que aeronave deixou o circuito de tráfego se aeronave segue em direção ao destino informado então , a tripulação técnica é obrigada efetuar comunicação com autoridades aeronáuticas de sua posição atual, tempo estimado até o próximo ponto georeferenciado “waypoint”, tempo para destino, combustível remanescente etc.

A partir das normas comportamentais questões foram elaboradas e expressam aspectos relacionados às normas perceptuais, cognitivas, denotativas e avaliativas. As seguintes questões são relacionadas às normas previamente apresentadas:

- São os alertas visíveis e audíveis?
- Vocês se sentem confortáveis com os dados provenientes dos instrumentos?
- Você está sempre no controle do voo?
- Como você interage com o padrão difuso do painel de instrumentos?
- O ruído na cabine da aeronave e no mínimo comunicação bilateral é atividade estressante?

A Tabela 6 apresenta o resumo das respostas dos pilotos a estas questões. As linhas representam a numeração em que os pilotos foram identificados conforme descrito

acima e nas colunas às impressões perceptuais, cognitivas, denotativas e avaliativas, assim como observações que os mesmos julgaram importante.

Tabela 6: Resposta dos Pilotos no Estudo da Decolagem

Síntese das Respostas dos Pilotos					
Piloto	Perceptual	Cognitivo	Denotativo	Avaliativo	Observações
1	1-Nem todos alertas e avisos são visíveis 2- O som do rádio é inaudível	1-Nós sempre seguimos estritamente as diretrizes do manual e listas de conferência “ <i>checklist</i> ” da aeronave 2-Nós voamos apenas “números computados” cegos	1-O som do rádio não é ruim mas o indicador da chamada “ <i>callsign</i> ” não é totalmente compreendido 2-Os dados dos instrumentos são falsos por erro de paralaxe de leitura	1- Os dados registrados no instrumento são corretos, mas às vezes isso não é verdadeiro	O piloto profissional reconhece que o máximo em tecnologia não garante um pacote livre de erros
2	Os dados lidos nos instrumentos não condizem com os dados reais de voo	Pesada carga precisa alçar voo por meio de aceleração e voo próximo ao solo	Não reportado	1- Os dados registrados no instrumento são corretos, mas às vezes isso não é verdadeiro	O piloto profissional reporta grande quantidade de falsos dados vindos dos instrumentos como velocidade do ar
3	Os dados lidos nos instrumentos não condizem com os dados reais de voo	Ventos cruzados requerem imediata ação corretiva na manobra de decolagem	Comunicação bilateral via rádio é embaraçosa	A leitura de velocidade na decolagem não corresponde com a velocidade real	O piloto deve coletar dados disponíveis de voo e decidir em ir ou não ir

5.2 Aplicação do Processo no Estudo da Aproximação

No estudo de caso da aproximação uma nova iteração com o SCoEM foi realizada. Como na primeira iteração, no estudo da aproximação a modelagem do diagrama de ontologia (primeira fase) e normas (segunda fase) foi realizada em cooperação com especialistas (neste caso pilotos e um controlador). Além disto, as tarefas/atividades da terceira fase do SCoEM foram distribuídas entre o grupos de especialista em uma pesquisa qualitativa com entrevistas com a técnica de “*focus group*”/grupo focal, via investigação contextual, de pesquisa por entrevista, pesquisa de campo, observação e simulação em solo. Como sugerido no passo 3 do SCoEM, a partir das normas de comportamento três temas de discussão principais foram elaborados, esses tópicos expressam aspectos relacionados com as normas perceptivas, cognitivas, denotativas e avaliativas. Estes temas

foram escolhidos de uma lista de vários temas possíveis, elencados em “*brainstorming*”, através do consenso do grupo sobre sua importância e de modo a contrapor e estudar as normas identificadas. As questões determinantes relacionadas a esses temas são as seguintes:

- 1 Os avisos e alertas são visíveis e audíveis durante a fase de aproximação para pouso?
- 2 Vocês se sentem confortáveis com o painel de instrumentos e dados da razão de descida até o toque na pista de pouso?
- 3 Vocês (tripulação) estão sempre no controle do voo desde o início da descida para a aproximação até a etapa final do pouso?

Toda a discussão com especialistas foram devidamente gravadas e transcritas em texto. Os dados foram analisados, resumidos e validados com os pilotos, e finalmente tabulados de acordo com os tipos de normas.

5.2.1 Estudo da aproximação e pouso: Contexto e participantes

A pesquisa de campo das ideias centrais da dissertação foi realizada em paralelo com um seminário de Segurança de Voo, intitulado "I Seminário de Segurança de Voo Contato Radar-Universidade Anhembi Morumbi São Paulo Brasil" 25 de Junho de 2013. Mais de 50 pilotos e especialistas do segmento de aviação ouviram as normas atualizadas e dirigidas aos voos controlados em uma área congestionada terminal de aeroporto declarado pelas autoridades de voo como Área de Controle de Aproximação– “APP” e Área Terminal “TWR”. O diagrama de ontologias e as normas foram apresentadas e discutidas “em plenária” a este grupo (de 50 pilotos) durante o seminário.

A discussão com um grupo de trabalho com seis pilotos selecionados ocorreu após o seminário através de um grupo focal denominado II. A seleção dos pilotos levou em consideração os seus perfis de modo a privilegiar a constituição de um grupo com diferentes atuações e níveis de experiência. O perfil dos pilotos, incluindo as suas habilitações, licenças e postos de trabalho, sexo, idade, horas de voo registradas e modelos de aeronaves voando atualmente, são descritos da seguinte forma:

- (1) Instrutor de linha aérea, Comandante Máster²⁴, sexo masculino, 54 anos de idade, 8000 horas de voo registradas em documentação oficial, atualmente voando aeronave Boeing 777 em destinos internacionais.
- (2) Piloto Profissional de Agricultura, sexo masculino, 39 anos de idade, 2000 horas de voo registradas em documentação oficial, atualmente voando aeronaves de aplicação de herbicidas e fertilizantes Ipanema Embraer e aeronave Pawnee da Cessna Industries.
- (3) Piloto Privado, sexo masculino, 60 anos de idade, com mais de 2000 horas de voo registradas em documentação oficial, atualmente voando diversas aeronaves de Aeroclubes nos modelos Cessna 152, Cessna 172 e aeronave própria Zenair Stol 750.
- (4) Comandante de linha aérea, sexo masculino, 35 anos de idade, 2800 horas de voo registradas em documentação oficial, voando atualmente Airbus A-319 e A-320.
- (5) Primeiro Oficial de linha aérea, sexo masculino, 29 anos de idade, 1300 horas de voo registradas em documentação oficial, atualmente voando Airbus A-319 e A-320.
- (6) Piloto Comercial Estudante, sexo masculino, 23 anos de idade, 35 horas de voo registradas em documentação oficial, atualmente voando aeronaves monomotoras como Cessnas e multimotoras como Sêneca Embraer.
- (7) Controlador de Tráfego Aéreo (ATCO) Técnico Civil²⁵, sexo masculino, 45 de idade, 2800 horas registradas no órgão “ATC” em documentação oficial, atualmente com base operacional em Guarulhos – Aeroporto Internacional André Franco Montoro (SBGR).

Figura 25 apresenta quadro de atividades do grupo focal II

²⁴ Comandante Máster: Tripulante técnico responsável pelo voo e com comprovada experiência em rotas internacionais de longo alcance.

²⁵ Membros do controle de tráfego aéreo “ATC” são designados “ATCO” e são militares da aeronáutica ou técnicos civis bem treinados e responsáveis pela aplicação e manutenção das regras do ar. (i.e.) prover apoio e orientação para aeronaves em transito de forma segura, mais econômica possível, e no menor espaço de tempo hábil por meio de comunicação via radio, via pacote de dados (ACARS) e dados de cobertura meteorológica.

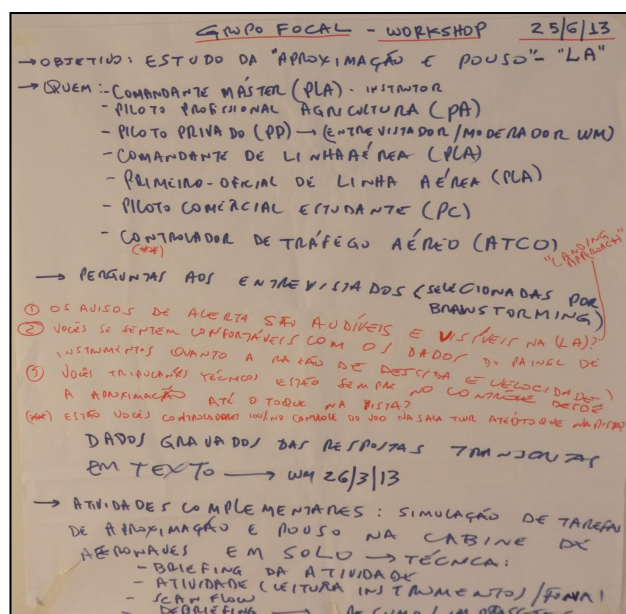


Figura 25 Quadro de atividades do grupo focal II (Foto do autor)

A Figura 26 apresenta um conjunto de recursos computacionais como radar meteorológico a direita, e telas de radar com recebimento de sinais provenientes de “transponder”²⁶ de aeronaves em voo, utilizado tipicamente por um ATCO nas salas ATC.



Figura 26: Recursos do ATC (Fotos do Autor)

A técnica com o grupo focal foi complementada com simulação (com os seis pilotos) em ambiente real com práticas de cabine de aeronave no solo com intuito de estimular discussões com os especialistas. A Figura 27 apresenta fotos da reunião do grupo focal realizada no Aeroclube de Atibaia, cabines de diferentes aeronaves de treinamento no solo, na qual o instrutor simula por meio de listas de conferência “check-lists” diversas tarefas relativas a estudo das cartas aéreas e dos parâmetros de voo como atitude da aeronave, alertas, recursos de navegação e comunicação bilateral com outras aeronaves e com

²⁶ Transponder: Equipamento obrigatório em aeronaves que voam em espaços aéreos controlados com cobertura radar e corredores visuais de voos. Transponder emite sinais de rádio frequência em faixas específicas de acordo com os códigos computados informados por ATC. Estes sinais são captados pelos radares em solo ou captados por outras aeronaves e indicam altitude e direção da mesma em tempo real.

controladores de voo.

Instruções iniciais e discussões após as simulações foram realizadas entre os instrutores e pilotos com objetivo de manter o agudo senso de localização de dispositivos, sequencias rápidas e lógicas com manutenção simultânea das ações e movimentos com mínimo nível de stress quanto possível. Este tipo de treinamento é particularmente útil nos cursos em aeronaves no solo “*ground-school*” para pilotos que constantemente trocam de modelo de aeronave, cujas localizações de centenas de artefatos e dispositivos nas cabines de aeronaves não são necessariamente os mesmos em termos de similaridade de cores, formatos, funções, etc.

A Tabela 7 resume as tarefas do grupo focal em termos de tempo dedicado e registrado por atividades. Esta tabela inclui práticas de modelação participativa, validação com pilotos, seminário e análise de dados, conforme apresentado no Anexo I.



Figura 27: Reunião do grupo focal e simulação em diferentes modelos de aeronaves de instrução no solo realizada com pilotos (Fotos do Autor)

Tabela 7: Horas dedicadas por Atividade/Prática

Atividades / Práticas	Tempo (Horas)
Modelagem de Diagrama de Ontologia Participatória	12
Validação da Modelação do Diagrama de Ontologia	2
Descrição da Norma Participatória	30
Validação das Normas com Pilotos (total)	3
Tempo de duração do Seminário	5
Reunião do grupo focal de trabalho “ <i>Focus Group</i> ”	2
Período de tempo para compilação de dados	25
Período de tempo para rodar planilhas	5
Período de tempo para validação de dados	10
Período de tempo em simulação em aeronaves no solo.	3
Etapas de revisão de processos	200
Total	297

5.2.2 Estudo da Aproximação e Pouso: Resultados da Análise Semântica e de Normas

A Figura 28 representa versão simplificada de um diagrama de ontologia construído durante o estudo. O principal objetivo desta versão foi ser um meio de comunicação e conceituação no domínio dos especialistas. Foi elicitado um conjunto de “*affordances*” e a relação entre eles foram refinadas em normas que direcionaram as práticas. Os principais agentes envolvidos foram na tarefa de aproximação e pousos são:

- *Sociedade*: Como agente raiz, significa que todos agentes e “*affordances*” são dependentes existencialmente/ontologicamente da sociedade;
- *Pessoa*: Pessoa é também agente central em muitas situações, em nosso contexto estamos particularmente interessados na pessoa com a função de *Piloto*. *Piloto* pode ser entendido como pessoa responsável pelo voo. O Comandante e o Primeiro Oficial são pilotos.
- *Organização*: O agente *Organização* tem também três funções: *Fabricante* que é responsável pela produção da aeronave, “*ATC*” *Agente/Autoridade* que é responsável pelo *Controle de Tráfego Aéreo* e a agência reguladora “*FR*” que é a organização responsável pelo “*affordance*” *Regulamentos de Aeroportos*.

A Figura 28 também representa principais dependências ontológicas e “*affordances*” das tarefas de descida e pouso:

- *Regulamentos de Aeroportos*: Como anteriormente mencionado, o Regulamento de Aeroportos é um “*affordance*” Agente “*FR*”. Isto inclui todas as normas regulamentadoras do aeroporto, assim como normas informais e culturalmente dependentes.
- *Aeronave*: É um “*affordance*” do fabricante, ele é dependente do fabricante produzir e também como manter funcionando. Segundo o diagrama (Figura 2) artefatos sensores, para pouso, atuadores de cabine é parte da aeronave. As Figuras 29 e 30 apresentam os principais componentes da aeronave envolvidas no estudo sob o foco: artefatos sensores (Antenas, Gerador de Vácuo, Sensores Tubo de Pitot “*Venturi*”, Portas Estáticas etc.). A Figura 31 apresenta artefatos para pouso: Trens de pouso e faróis de pouso; artefatos atuadores (Compensadores “*Trim Tab*”, Flapes, Slats, Freios Aerodinâmicos “*Spoilers*”, Winglets, Elevadores Horizontais (Profundores), Motores e Reversos. As Figuras 32 e 33 apresentam a aeronave com instrumentos analógicos e sistemas de navegação e comunicação digitais “*Nav/Comm*” e aeronave com instrumentos digitais “*Glass Cockpit*” respectivamente. Apresentam assim os artefatos da cabine de comando: *ILS (Sistema de Pouso por Instrumento)* Variômetro, Velocímetro, Horizonte Artificial, Rádio VHF, Piloto Automático, Manete de Potência, e GPS (Sistema Geográfico de Posicionamento, Altímetro e instrumentos dos motores). As Normas descrevem como os artefatos de fato são utilizados;
- *Voo*. O voo é ontologicamente dependente do piloto e da aeronave, i.e., não é possível ocorrer o Voo sem o piloto (no sentido amplo) e sem a aeronave. Os principais determinantes focados no voo são: *Nível de Voo, Velocidade, Peso, angulo de inclinação, angulo de rolagem e razão entre inclinação e taxa de rolagem*. O diagrama de ontologias também descreve taxiamento e descida (Razão de descida e configuração de descida são determinantes) como parte do voo. A *aproximação para pouso* é parte da *descida* é foco do estudo (trajetória do plano descendente é determinante da aproximação e pouso). O toque na pista de pouso é parte da aproximação e pouso e são associadas com cada parte do Voo. Elas incluem simultaneamente a ambos os procedimentos formais e perceptuais, comportamentais e aspectos cognitivos;
- *Autoriza*. Este é um “*affordance*” da Agência/Autoridade Aeronáutica - ATC

que tem a responsabilidade de dar instruções e liberações no sentido de garantir fluxo seguro do tráfego aéreo, durante o voo pode ocorrer mais de uma autorização.

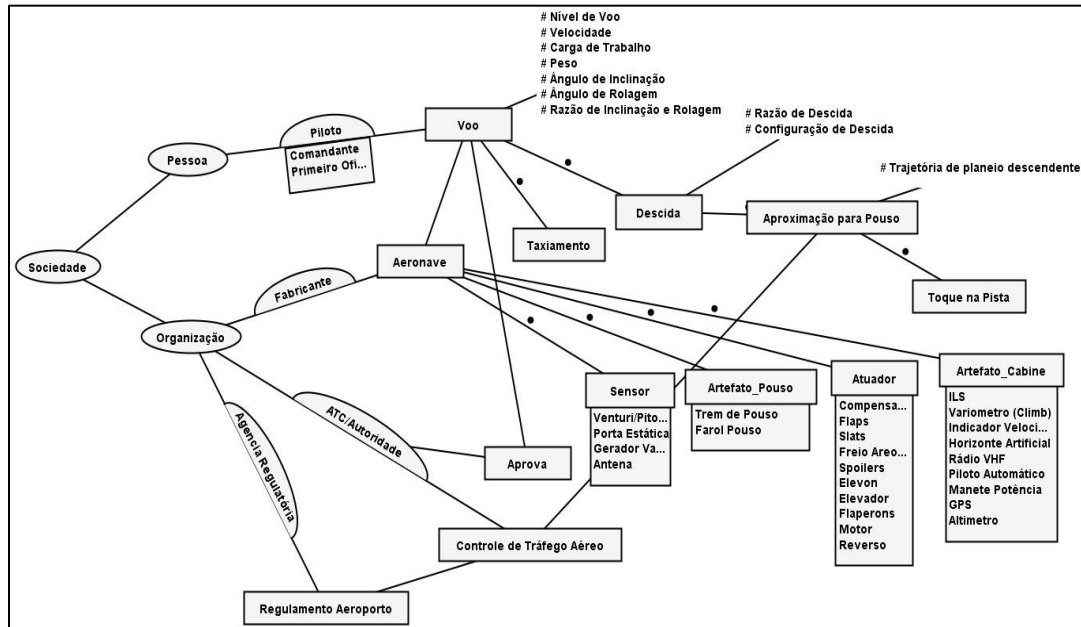


Figura 28: Quadro de Ontologia da Aproximação e Pouso

Localização das Antenas Fuselagem	Localização das Antenas Dorso Inferior
1-TCAS- Sistema Anti-Colisão / GPS	1- Comunicação Via Fone Passageiros
2- VHF Esquerdo	2- TCAS- Sistema Anti-Colisão / GPS
3- ADF Esquerdo	3- Emissor de Sinal Rádio Altimetro / GWPS
4- ADF Direito	4- Receptor de Sinal Rádio Altimetro
5- ACARS	5- DME Esquerdo
6- Comunicação por Voz - Tripulação	6-Receptor NDB
7- VHF Central + ACARS	7- DME Redundante
8-HF	
9- VOR	
10- VHF Direito	
11- Rastreamento de GlideSlope / "Auto Landing"	
12- Radar Meteorológico	

Figura 29: Principais componentes envolvidos no estudo - Antenas adaptado fonte web:

<http://cdn.avioesemusicas.com/wp-content/uploads/2013/08/777-antenna-1.jpg>

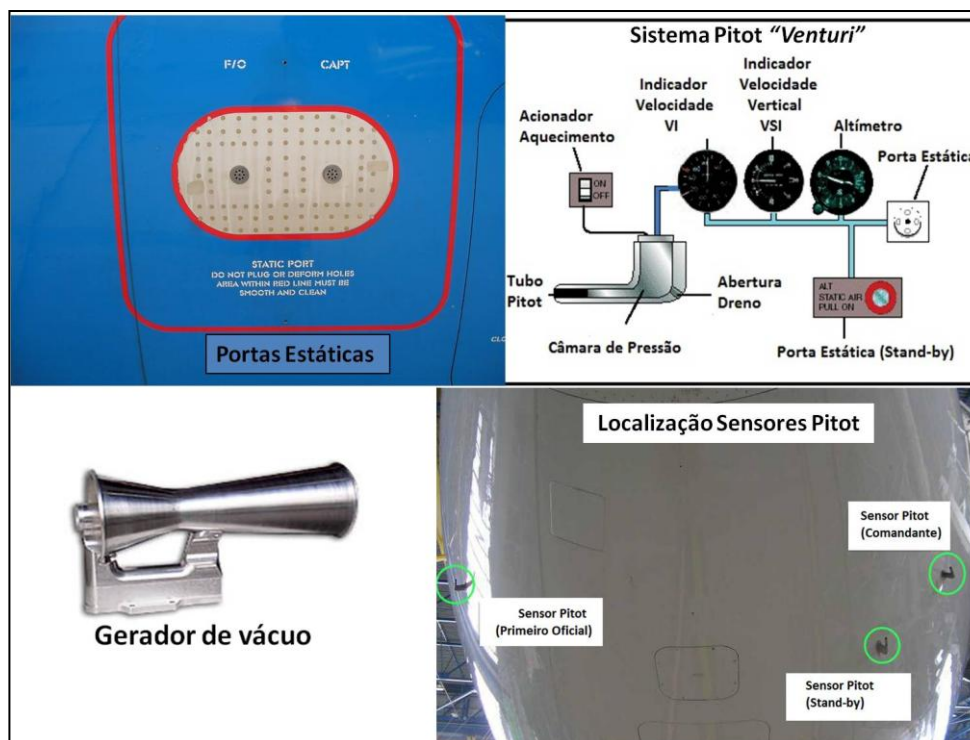
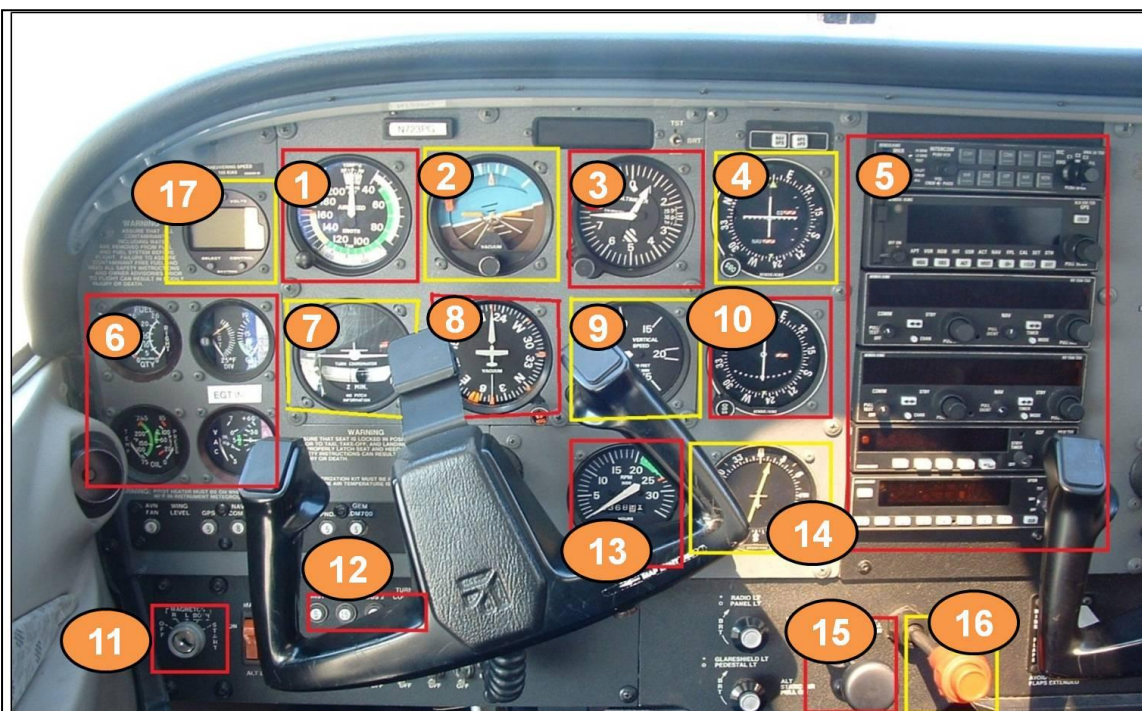


Figura 30: Gerador de vácuo, portas estáticas e sensores tubos de Pitot adaptado de fonte web:2-
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Faa_pitot_static_system.JPG



Figura 31: Artefatos atuadores externos adaptado fonte web, a esquerda:
http://s3.amazonaws.com/rapgenius/filepicker%2FjDPepkMLTcGWT2K88rAg_plane.jpg
 a direita: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File: Boeing_737-200_thrust_reverser.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Boeing_737-200_thrust_reverser.jpg)



Componentes e Conjuntos de Instrumentos de Cabine Analógicos e Digitais Nav/Comm

- 1- Velocímetro "Airspeed"
- 2- Horizonte Artificial
- 3- Altímetro
- 4- Indicador VOR
- 5- Rádios e Transponder (Sistemas Digitais Nav/Comm)
- 6- Instrumentos de Motor
- 7- Indicador de Curva e Derrapagem
- 8- Giro Direcional HSI
- 9- Variômetro "Climb"
- 10 - VOR 2
- 11- Chave de Ignição
- 12- Disjuntores "Circuit-Breakers"
- 13- Tacômetro
- 14- ADF
- 15- Manete de Potência
- 16- Manete de Mistura
- 17- Relógio / Cronômetro

Figura 32: Dispositivos da cabine de comando – Instrumentos analógicos e digitais "Nav/Comm"
 adaptado fonte web: <http://www.cap-ny153.org/aircraftinstrumentation.htm>



Figura 33: Dispositivos da cabine de comando – Instrumentos "Glass-Cockpit" adaptado fonte web: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/44/Boeing_787-8_N787BA_cockpit.jpg

A Tabela 8 representa 28 normas comportamentais determinantes relacionadas à aproximação para pouso. Estas normas comportamentais detalham o comportamento mínimo esperado nas principais ações a serem desempenhadas pelos pilotos em um voo seguro. As normas foram inicialmente modeladas com o piloto (número 3), com manuais e procedimentos. Conforme estabelecido pelo SCoEM, foi solicitado ao Piloto a descrição das tarefas, estas descrições foram complementadas com manuais e procedimento. A mo-

delagem inicial foi realizada em linguagem natural sendo então traduzida para descrições formais e validadas individualmente. Após isto as normas foram avaliadas no seminário.

As normas foram divididas em três grupos: (1) de transição para descida, (2) de aproximação estabilizada, e (3) de solo. Cada norma apresentada na Tabela 2 pode ser potencialmente refinada em normas mais específicas; por exemplo, a norma 3.1 pode derivar dezenas de normas que descrevem o comportamento dos pilotos durante o taxiamento. O nível de abstração das normas apresentadas na Tabela 2 foi determinado no domínio dos especialistas como guia para as práticas subsequentes.

Tabela 8: Normas comportamentais determinantes da Aproximação e Pouso

No.	Ação	Norma
1	Aproximação e Pouso	
1.1	Transição de nível de voo de cruzeiro para descida	Sempre que é aeronave de carga, passageiros ou ambos? se o voo aproxima 130 a 100 milhas náuticas do aeroporto de destino então a tripulação técnica é obrigada efetuar contato via radio com Controle de Tráfego Aéreo para liberar descida
1.2	Atividades dos tripulantes técnicos na pré descida	Sempre que os tripulantes técnicos tem a autorização da descida pelo ATC se o voo está pronto para iniciar o nível de voo de descida então a tripulação técnica é obrigada efetuar a realização de procedimentos de pré descida na cabine
1.3	Procedimentos de velocidade de voo	Sempre que a aeronave após conferências “ <i>checklist</i> ” permanece voando na velocidade de nível de cruzeiro se a tripulação técnica obteve a liberação de ATC para descida então a tripulação técnica é obrigada efetuar a realização de ajustes nos procedimentos de velocidade de descida
1.4	Configuração de descida	Sempre que a aeronave após conferências “ <i>checklist</i> ” permanece voando fora dos procedimentos de planeio descendente se a tripulação técnica configurou o perfil de razão de descida então a tripulação técnica é obrigada efetuar reajustamento de velocidade para a velocidade de descida do procedimento
1.5	Descida – Flapes	Sempre que se os Flapes não estão corretamente posicionados então a tripulação técnica é obrigada efetuar a configuração de posicionamento dos Flapes de acordo com o manual de operação da aeronave
1.6	DescidaTarefas	Sempre que a tripulação técnica está realizando configuração de voo descendente se a aeronave não foi conferida então a tripulação técnica é obrigada efetuar a realização de conferência de descida “ <i>check-list</i> ”
2.	Aproximação Estabilizada	

2.1	Liberação ATC	Sempre que a tripulação técnica obtém a liberação de ATC se a tripulação técnica não realizou o plano autorizado de aproximação e pouso então a tripulação técnica é obrigada efetuar retorno ao plano aprovado tão logo quanto possível
2.2	Configuração de Computador de Navegação FMS	Sempre que a aeronave está fora da altitude e direção se a tripulação técnica não realizou o plano aprovado de aproximação e pouso então a tripulação técnica é obrigada efetuar configuração do FMS sob estritas diretrizes do ATC
2.3.1	Tarefas complementares de previsões meteorológicas	Sempre que a tripulação técnica desempenha a trajetória descendente se a tripulação técnica não conferiu as condições meteorológicas então a tripulação técnica é obrigada efetuar escaneamento da trajetória via radar da aeronave
2.3.2	Tarefas complementares de previsões meteorológicas	Sempre que a tripulação técnica desempenha a trajetória descendente se a tripulação técnica não conferiu as condições meteorológicas então a tripulação técnica é obrigada efetuar escaneamento da trajetória de voo via ATIS “Serviço Automático de Informação Terminal”
2.3.3	Tarefas complementares de previsões meteorológicas	Sempre que a tripulação técnica desempenha a trajetória descendente se a tripulação técnica não conferiu as condições meteorológicas então a tripulação técnica é permitida efetuar dupla conferência da trajetória de voo com a equipe técnica de solo via ACARS – “Sistema de transmissão de dados”
2.4	Peso e Balanceamento para Pouso	Sempre que a aeronave inicia aproximação para pouso se a tripulação técnica não realizou procedimentos de peso e balanceamento para pouso então a tripulação técnica é obrigada efetuar imediatamente a realização procedimentos de peso e balanceamento por adequado bombeamento de combustível e por compensar (trimar) aeronave
2.5	Pontos georeferenciados obrigatórios sob demanda ATC	Sempre que a aeronave realizando aproximação para pouso se a tripulação técnica não revisou os pontos georeferenciados “waypoints” no padrão de voo então a tripulação técnica é obrigada efetuar imediatamente procedimentos obrigatórios no atual padrão de voo de acordo com do órgão ATC
2.6	Conferência dos instrumentos de pouso	Sempre que a aeronave realizando aproximação para pouso se a tripulação técnica não revisou a configuração do Sistema de Pouso por Instrumentos e direção então a tripulação técnica é obrigada efetuar imediatamente a realização de procedimentos ILS para conferir duplamente a direção
2.7	Velocidade e vento cruzado (través)	Sempre que a aeronave realizando aproximação para pouso se a tripulação técnica não revisou a velocidade atual e aconselhamentos de ventos cruzados (través) então a tripulação técnica é obrigada efetuar imediatamente realizar procedimentos para segura velocidade de aproximação

2.8	Funcionamento dos motores e Condições (Parâmetros Técnicos)	Sempre que a aeronave realizando aproximação para pouso se a tripulação técnica não revisou parâmetros de função dos motores então a tripulação técnica é obrigada efetuar imediatamente a realização de procedimentos para seguras funções dos motores
2.9	Configuração de Piloto Automático	Sempre que a aeronave realizando aproximação para pouso se a tripulação técnica não realizou configuração do Piloto Automático então a tripulação técnica é obrigada efetuar imediatamente a entrada de dados para o Piloto Automático
2.1 0	Tarefas suplementares na Aproximação para Pouso	Sempre que a aeronave realizando aproximação para pouso se a tripulação técnica não realizou conferências “ <i>check-lists</i> ” suplementares para pouso então a tripulação técnica é obrigada efetuar imediatamente a ligação de luzes e afivelar e apertar os cintos de segurança
2.1 1	Configuração de Altimetro e Rádio Altimetro	Sempre que a aeronave realizando aproximação para pouso se a tripulação técnica não realizou a configuração do altímetro e do rádio altímetro então a tripulação técnica é obrigada efetuar imediatamente o ajuste do altímetro sob informação ATC da pressão atmosférica local e ligar o rádio altímetro
2.1 2	Configuração final para Aproximação e Pouso	Sempre que a aeronave realizando aproximação para pouso se a tripulação técnica não realizou conferência “ <i>check-list</i> ” da aproximação para pouso final então é obrigada efetuar a conferência “ <i>check-list</i> ” apropriadamente
2.1 3	Aproximação para Pouso Final - Acionamento trens de pouso	Sempre que a aeronave realizando aproximação para pouso se a tripulação técnica não acionou os comando para acionamento dos trens de pouso então a tripulação técnica é obrigada efetuar o acionamento dos trens de pouso para baixo e conferir acendimento das luzes verdes
2.1 4	Informação de Trens de Pouso Baixados e Travados	Sempre que a aeronave realizando aproximação para pouso se a tripulação técnica acionou abaixamento dos trens de pouso então é obrigada efetuar chamada para Torre e informar Trens de Pouso Baixados e Travados
2.1 5	Emergência em trens de pouso	Sempre que a aeronave realizando aproximação para pouso se a tripulação técnica observar sinal de luz verde do abaixamento dos trens de pouso então a tripulação técnica é obrigada efetuar chamada para Torre e informar emergência no sistema de trens de pouso
2.1 6	Aproximação para Pouso Final	Sempre que a aeronave realizando aproximação para pouso com iminente toque se a tripulação técnica observar que o ponto de toque está fora do alvo então é obrigada efetuar cancelamento do pouso e informar a ATC a necessidade de abortar o pouso

2.17	Aproximação para Pouso Final	Sempre que a aeronave realizando aproximação para pouso com iminente toque se tripulação técnica observar que o ponto de toque está fora do alvo então a tripulação técnica é obrigada efetuar acionamento dos freios aerodinâmicos, reversos ligados, freios das rodas acionados
2.18	Toque na Pista de Pouso	Sempre que a aeronave toca a pista de pouso se a tripulação técnica observa a não desaceleração então a tripulação técnica é obrigada efetuar acionamento dos freios de emergência, aumento de aceleração dos motores mantendo mandatoriamente reversos acionados e acionamento dos freios em máxima escala
3.	Solo	
3.1	Taxiamento	Sempre que a aeronave está livrando a pista de pouso se a tripulação técnica não obteve instruções de direção para taxiamento então a tripulação técnica é obrigada efetuar imediatamente acionamento dos freios e solicitar localização da área de estacionamento
3.2	Estacionamento	Sempre que a aeronave estiver taxiando se a tripulação técnica obtém localização da área de estacionamento então a tripulação técnica é permitida efetuar taxiamento para a informada área de estacionamento

5.2.3 Estudo da Aproximação: Tabulação qualitativa dos resultados

Cada norma comportamental apresentada na Tabela 8 foi confrontada com artefatos da cabine de comando no seminário durante a simulação, entrevistas com pilotos e no grupo focal. Três questões (destacadas anteriormente) foram apresentadas para análise dos especialistas do domínio convidados: (1) São os alertas visíveis e audíveis durante a etapa de aproximação e pouso? (2) Vocês se sentem confortáveis com os dados provenientes dos instrumentos desde o início da descida até o toque com a pista?, E (3) Estão vocês (tripulantes técnicos) sempre no controle do voo desde o início da descida até a aproximação para pouso?

As Tabelas 9, 10 e 11 apresentam respectivamente a síntese da discussão com pilotos para as questões. As linhas representam a numeração em que os pilotos foram identificados conforme descrito anteriormente e nas colunas a síntese das impressões perceptuais, cognitivas, denotativas e avaliativas, assim como observações que os mesmos julgaram importante. Cada célula é o resumo de resultados qualitativos dos dados transcritos da discussão; os “resultados” de (cada célula) foram (re)validados com os pilotos.

Tabela 9: Síntese dos Resultados das discussões sobre o primeiro tópico

Piloto	Perceptual	Cognitivo	Avaliativo	Denotativo	Observações
1	Nem todos os alertas e avisos são imediatamente correlacionados com os fatos reais dos voos.	Devido à fase de voo com maior carga de trabalho avisos e alertas são estressantes	Às vezes temos falsos alarmes e avisos	Nós sabemos exatamente de onde e quando alarmes e avisos vem	O piloto profissional reconhece que o máximo em tecnologia não garante um pacote livre de erros. Assim, os avisos e alertas podem auxiliar nas correções.
2	Alarmes e avisos são precisamente configurados para os parâmetros de voo e algumas vezes ocorrem sobreposição	Eu não dou muita atenção ao alarme de estol durante a aproximação para pouso desde que eu esteja sempre voando próximo ao solo	Às vezes alarmes e avisos são falsos	Na baixa velocidade de aproximação e pouso os alertas e avisos não são confiáveis	O piloto profissional relatou uma série de dados falsos oriundos dos instrumentos que geram avisos errados e alertas, como velocidade real do ar durante a fase de aproximação para pouso.
3	Os alertas e avisos do Sistema de Geoposicionamento (GPS) mostram locais sombreados em perigosas aproximações de terreno	Ventos cruzados requerem imediata ação corretiva na manobra de aproximação para o pouso	O alarme de estol é inútil quando você está próximo ao ponto de toque	A leitura no instrumento da velocidade na aproximação para pouso não corresponde com a velocidade real	O piloto deve coletar dados da etapa de voo disponível e decidir pousar ou abortá-lo através da abortagem
4	A aproximação para pouso é um período atarefado, estressante e muito agravada por sons e alertas visuais no cabine de comando	Os geradores de avisos e alertas são bem posicionados	Avisos e alertas são às vezes redundantes	Tesouras de vento ao nível da pista não podem ser informado e alertado	A aeronave deve atender certos critérios de aproximação para ser capaz de pousar em segurança. Este é um resultado de uma aproximação para pouso estabilizado.
5	Quando a aproximação para pouso está corretamente discutida, todos os avisos e alertas são bem compreendidos	A tarefa de aproximação para pouso requer todos os recursos disponíveis, incluindo alertas de anúncios de advertência.	Alertas e avisos podem causar sobreposição de informações	Alarme de estol associado à proximidade do terreno é altamente irritante.	Atualmente modernas aeronaves permitem tripulantes monitorarem a aproximação de pouso adequadamente

6	Apesar da etapa de voo ser bem discutida com instrutor a aproximação para pouso não é totalmente compreendida no momento	Os sons de alerta e sinais luminosos são totalmente estressantes	Avisos e alertas podem ser desligados pelo instrutor para evitar atos incompatíveis dos alunos	A baixa velocidade durante a aproximação para pouso causa inválidos alertas e avisos	Não Reportado
---	--	--	--	--	---------------

Tabela 10: Síntese dos Resultados das discussões sobre o segundo tópico

Piloto	Perceptual	Cognitivo	Avaliativo	Denotativo	Observações
1	Palavra secreta: Aproximação estabilizada garante ao menos 50% de um suave toque	Em um dia nublado e com ventos os dados de voo são fundamentais para uma correta aproximação para pouso	A verificação cruzada “crosscheck” do painel de instrumentos compensa erros de paralaxe	Os dados do painel de instrumentos de voo devem ser verificados	Em movimentados aeroportos há expectativa de fadiga e perda de atenção por causa da carga de trabalho
2	Em um voo regular em condições visuais não importa muito os dados do painel de instrumentos para a aproximação para pouso	Na maioria das vezes o avião está vazio e leve demais para o pouso o que exige muita atenção nas configurações de pouso	Um experiente piloto de agricultura usualmente adiciona dados externos como sinais de ventos nas árvores como auxílio na etapa de pouso	Ventos de través não podem ser detectados nos instrumentos de bordo	Aeronaves agrícolas na maior parte das vezes pousam em pistas curtas e sujas que são geralmente perigosas
3	Os dados oriundos dos instrumentos do painel de controle não são totalmente confiáveis	Aeronaves leves são difíceis de serem mantidas em correta aproximação para pouso	A biruta da pista de pouso informa melhor a direção e intensidade do vento que instrumentos do painel a bordo	Ventos de través não podem ser detectados nos instrumentos de bordo	A ausência de sistema anti colisão no painel transforma a aproximação para pista de pouso em uma colisão potencial no ar devido a ao convergente tráfego
4	Uma vez que voamos com dados computacionais dos instrumentos é obrigatório aceitá-los e os programar de acordo com o manual de operação da aeronave	A menos que as informações do ATC para desviar para outra pista, tripulantes se sentem em situação controlada para uma aproximação de pouso adequado e seguro.	Seguimos rigorosamente as Regras de Voo por Instrumentos ou seja, se os dados não estiverem corretos, não estamos prontos para o pouso	Seguimos rigorosamente as regras de Voo por Instrumentos ou seja de os dados de localização não estiverem corretos, não estamos prontos para o pouso	Colisão com aves na área do aeroporto é uma questão de segurança se não for devidamente tratado pelas autoridades do aeroporto e da cidade

5	Se corretamente discutidos na aproximação para pouso, dados do painel de instrumentos são aceitáveis	A ação de arremetida é sempre praticada e deve ser naturalmente realizada quando necessário	A verificação cruzada do painel de instrumentos permite tripulantes de monitorar continuamente a ação da aproximação para pouso	O painel de instrumento é redundante	Nós sempre realizamos o pilar das três regras aeronáuticas: voar a aeronave navegar e comunicar
6	Durante voos de instrução nós sentimos desconfortáveis com dados dos instrumentos do painel	O risco de estol durante a aproximação para pouso é muito grande devido à baixa velocidade requerida	O cruzamento de dados dos instrumentos frequentemente causa perda de atenção dos pilotos alunos	Dados dos instrumentos no painel não são confiáveis em baixas velocidades	A aproximação para pousos por instrumentos é uma difícil tarefa

Tabela 11: Síntese dos Resultados das discussões sobre o terceiro tópico

Piloto	Perceptual	Cognitivo	Avaliativo	Denotativo	Observações
1	Se nós tripulantes, não estamos sentindo que estamos no controle da situação, desligamos e reiniciamos o computador	Raramente não temos suficientes dados para voar a aeronave manualmente	Sob condições IMC (Condições Meteorológicas para Instrumentos) nós configuramos o computador para voar a aeronave	Se o computador toma a aeronave dos tripulantes técnicos, os mesmos devem confiar nos artefatos computacionais	Em determinadas circunstâncias a aeronave fica fora do controle dos tripulantes técnicos
2	Para a aeronave agrícola, a razão de descida e aproximação para pouso, às vezes está fora de controle e requer ações imediatas para corrigir adequadamente	O voo da aeronave desde a fase de descida até o toque na pista ocorre totalmente com referências visuais	A verificação cruzada do painel de instrumentos durante o pouso desvia muito o foco do tripulante	Raios de luz no por do sol ou no nascer do sol é um cenário perigoso, uma vez que momentaneamente cega tripulantes	Do ponto de vista de aeronave agrícola, a razão de descida e aproximação para pouso é uma tarefa difícil devido a baixo nível de recursos na pista
3	Às vezes, a descida e aproximação para pouso estão fora de controle devido a fatores externos como o vento em rajadas inesperadas	A interação com os tripulantes da aeronave e o meio externo lhes permitem controlar a fase de voo	O tripulante responsável pelo voo pode retomar, para um melhor desempenho a aproximação para pouso	Não encontrar a pista de pouso na aproximação final de destino é um problema perigoso e comum	Se o voo está fora de controle, por algum relevante motivo a palavra de ordem é: reiniciar o processo desde o início

4	Os parâmetros de voo definidos pelos engenheiros das fábricas para os computadores das aeronaves não pode simplesmente ser desligados	A regra de "ouro" é permanecer voando a aeronave e manter velocidade mínima para evitar a falta de sustentação	Se, por alguns motivos imprevisíveis "desconhecidos" o voo está fora de controle, tripulantes devem executar procedimentos de emergência	O voo está fora de controle quando os artefatos computacionais centrais mudam para modo "lei alternativa" para proteger os principais sistemas	Configurações de aeronaves modernas não permitem tripulantes realizar movimentos perigosos
5	Descida instruída e aproximação para pouso devem ser feitas passo a passo.	Monitoramento dos parâmetros é obrigatório	Conferências "Checklists" de emergência devem ser realizadas pelos tripulantes durante a aproximação para o pouso	Tripulantes técnicos devem manter mínimos parâmetros de voo	Modernas aeronaves, em algumas circunstâncias tiram autoridade dos tripulantes para mantê-la em funcionamento
6	Piloto aluno se sente inseguro durante a aproximação para pouso, devido a difícil etapa do voo	As informações da aeronave são suficientemente boas para manutenção do voo, porém o voo de descida, algumas vezes, fica fora do controle devido a uma falta de capacitação	A verificação cruzada dos instrumentos durante a aproximação para pouso é demorada	O instrutor deliberadamente desliga alguns artefatos, a fim de criar uma controlada situação "caótica" para o aluno piloto	Sem dúvida, a aproximação para o pouso é uma das tarefas mais difíceis para os tripulantes

Tabela 12 apresenta síntese da discussão com técnico controlador de voo para a seguinte questão: Vocês controladores estão totalmente sobre o controle de voo, no ambiente de trabalho na torre de controle, desde o início da descida, aproximação para pouso até o toque na pista e taxiamento até a área de estacionamento?

Tabela 12: Síntese dos Resultados das discussões com técnico especialista ATCO

ATCO	Perceptual	Cognitivo	Avaliativo	Denotativo	Observações
7	A sala de controle é um ambiente movimentado, bem organizado em que todas as pessoas sabem exatamente quando e o que fazer corretamente	A comunicação por rádio aliado ao radar permite ATC priorizar sequencialmente aeronaves nos movimentos de descida e aproximação para pouso até o toque na pista de pouso	Controlar vários aviões simultaneamente é enorme e difícil desafio	Tripulantes técnicos não podem ser deixados sem assistência	A maior satisfação dos especialistas ATC no final do turno de tarefas é registrar no diário de anotações o número de pássaros de metal conduzidos para o solo de forma segura

6. Meta-Análise e Discussão

Este capítulo apresenta uma meta-análise (*i.e.*, combinar em um resumo os resultados dos estudos ao confronta-los) dos resultados qualitativos sintetizados nas tabelas apresentadas no capítulo anterior.

É importante salientar que as técnicas de discussão de grupos focais enquanto método de seleção de temas e coletas de impressões para os experimentos carecem de assertividade, pois há influências do meio que podem apresentar resultados inexatos como, por exemplo: influência do moderador ou pesquisador no grupo e na leitura dos dados compilados, inexatidão também pode ser gerada pelo fenômeno psicológico comum a trabalhos em grupos denominado pensamento do grupo “*groupthink*” cujo espírito de coletividade fica acima das questões individuais em função do compreensível desejo humano de busca de harmonia, conformidade e complacência, podendo resultar em observações inverídicas e irracionais.

Muitos aspectos como os descritos no parágrafo anterior são inerentes em várias atividades em grupo, entretanto, foram utilizadas técnicas de dinâmica de grupo para minimizá-los. Estas técnicas consideram, por exemplo, o aprofundamento dos temas por “*brainstorming*” em iterações com réplicas e tréplicas para eliminar questões demasiadamente simples e intuitivas, evitar compartilhamento e concentrar nas questões pertinentes ao experimento. Os grupos focais I e II foram compostos por profissionais de excelência em suas funções como tripulantes técnicos e como especialista controlador de tráfego aéreo além de entusiastas dos assuntos aviação e tecnologia; portanto reduzindo o nível de incertezas da pesquisa.

Em relação ao primeiro estudo de caso (decolagem), descrito na Tabela 6, destacam-se aqui os seguintes aspectos e correlações relevantes:

- O primeiro piloto ressalta que segue estritamente as listas de conferencias e que "voa apenas números", por outro lado, destaca que os dados/números não são livre de erros, reforçando a importância da consciência situacional;
- O segundo piloto, habituado a equipamentos menos automatizados e confiáveis, reforça que os dados não são sempre confiáveis e a necessidade de perceber (de acordo com seus sentidos) o estado real do voo. Ao avaliar os resultados do primeiro e segundo piloto, ao mesmo tempo observa-se a in-

fluência da tecnologia no voo, onde temos resultados dispares (enquanto um guia-se em primeiro momento por instrumentos e outro não) e a necessidade do humano estar "no comando" da situação, onde se observa um ponto em comum;

- O terceiro piloto destaca ainda o processo decisório (decidir entre decolar ou não) indo assim além dos problemas perceptuais da situação do voo. Isto revela a necessidade de traduzir os elementos em intervenções/ações concretas que devem ser tomadas pelos pilotos. Tais resultados complementam os anteriores ao ressaltarem o ser humano com base em suas habilidades, experiências e percepções como último elemento decisório sobre as ações.

Na meta-análise dos resultados apresentados no segundo estudo relatado no último capítulo (Tabelas 9-11), destacam-se aqui alguns dos principais aspectos considerados importantes e possíveis implicações em pesquisas futuras:

- Muitos resultados da Tabela 9 (*e.g.*, células Piloto 1 – Perceptual, Piloto 2 – Cognitivo, Piloto 3 – Avaliativo, Piloto 4 – Denotativa, entre outras) indicam que há “falta de interação sensível ao contexto com pilotos”. Massivos alarmes competindo entre si causam sobreposição de informações, falsos alertas, estresse, distração e falta de atenção. Após horas de treinamento intensivo e horas de voo, pilotos aprendem a identificar situação real por ignorar os falsos alertas e com foco nos aspectos importantes. Entretanto, há concordância geral entre os participantes que a fase de aproximação para pouso continua sendo um momento estressante. Estes aspectos podem levar a novas pesquisas, por exemplo: Como determinar o que é importante e confiável, e como apresentar os relevantes dados, sem impedir que os pilotos visualizem dados potencialmente suplementares;
- A Tabela 10 apresenta leve divergência entre resultados obtidos dos pilotos. Enquanto pilotos de grandes aeronaves (pilotos 1, 4 e 5 concordam que os dados dos instrumentos do painel são imperativos e obrigatórios em muitas situações), pilotos de aeronaves pequenas (pilotos 2 e 3) apontam que dados externos (*i.e.*, não presentes nos instrumentos) são os maiores fatores a serem

considerados durante a aproximação para pouso. Adicionalmente o aluno de piloto comercial (piloto 6) aponta que o painel de instrumentos pode causar perda de atenção (*i.e.*, o painel pode esgotar a atenção do piloto). Os resultados mostram a influência do nível de automação e familiaridade com a automação da aeronave nas tarefas de pilotagem. Em geral, nota-se a divisão da atenção entre o painel e parâmetros externos. Isso pode apontar para novas pesquisas para fornecer interfaces que demandem um equilíbrio adequado do foco sobre os dados e informações do painel e externos de acordo com o nível de automação e condições do voo.

- Na Tabela 11 os pilotos 1, 4, 5 e 6 apontaram influência do sistema automatizado sobrepondo o controle dos tripulantes com objetivo de prevenir situações perigosas. Todos os pilotos apontaram situações em que o controle do voo está "sob risco" e indicam procedimentos pontuais a serem seguidos nestas situações. De certa forma, até mesmo os pilotos de aviões altamente automatizados relatam possibilidades de situações em que devem ser realizados estes procedimentos. Isto sugere a necessidade de soluções alternativas, que pode considerar a execução de procedimentos padronizados de segurança assistidos, o equilíbrio entre um procedimento de segurança totalmente dirigido e o controle pelos pilotos deve ser considerado.
- Na Tabela 12 o especialista ATCO expressa dificuldade de controlar simultâneas aproximações para pouso, quando julga que os tripulantes técnicos não podem ficar deixados sem assistência. Pesquisa sobre artefatos adicionais para comunicação alinhados com equipamentos de aproximação por instrumentos pode ampliar a capacidade do órgão ATC de lidar com simultâneas aproximações para pousos.

De forma geral, os resultados elencaram aspectos importantes a serem considerados durante o processo de avaliação de cabines com especialistas em práticas em *workshop / oficinas*. O uso integrado em um processo (o SCoEM) de técnicas da SO, de engenharia cognitiva e simulação articulados em práticas participativas trouxe a discussão articulada com especialistas de aspectos que incluem as dimensões da linguagem (*i.e.*,

Tecnológico ao Conceitual), compreensão (*i.e.*, Físico ao Social) e humana (*i.e.*, Perceptual ao Cognitivo).

Embora a interdisciplinaridade principalmente em relação à tecnologia aeroespacial e fatores humanos no design e avaliação de cabines ainda encontra-se como um desafio de pesquisa em longo prazo; espera-se, ter contribuído com um passo em direção a um processo capaz de organizar diferentes atividades de caráter interdisciplinar e complementares. A análise semântica, por exemplo, revela os padrões de comportamento que são detalhados por normas comportamentais, que por sua vez levantam questões a serem tratadas em estudos mais detalhados nos quais se contrapõem os dispositivos físicos com elementos perceptuais, cognitivos, avaliativos e denotativos. Tais questões instigam o uso de técnicas de avaliações (por exemplo, simulação e *scanflow*) que embora presentes na literatura há algum tempo, ainda não foram explorados em processos de maneira a articular e contrapor os aspectos citados anteriormente.

Durante os estudos de caso a principal limitação identificada na aplicação do processo diz respeito à granularidade dos resultados, por exemplo, a resposta “nem todos os alertas e avisos são visíveis” (Tabela 6) não diz muito a respeito de “Por que eles (os alertas) não são visíveis?”. Uma investigação mais aprofundada através de métodos da IHC é necessária para responder a esta pergunta, assim como muitas outras. Para tanto, é necessário investigar meios para definir qual é a melhor técnica a ser aplicada em cada caso, isto é, sempre que for necessário refinar os resultados identificados nos estudos relatados nesta dissertação.

Por outro lado, apesar desta limitação (granularidade), o SCoEM mostrou suas potencialidades na articulação de forma sistemática e bem fundamentada de técnicas e métodos para elicitar e analisar problemas em múltiplas perspectivas com base nos *affordances* e normas que detalham os padrões de comportamento esperado dos pilotos. A modelagem participativa, ainda, pode ser um caminho para formalizar e sistematizar opiniões dos pilotos, enquanto outros métodos presentes na literatura, como os apresentados na Seção 3.1, poderão garantir o refinamento e buscas por respostas para os aspectos levantados nesta dissertação.

Ainda, é necessário ressaltar que a necessidade de pesquisar a relação do método SCoEM com processos de design que resultem no aprimoramento de artefatos computacionais em cabines. O design e desenvolvimento de dispositivos e artefatos de cabines seguem métodos rigorosos com testes necessários para garantir seu correto funcionamen-

to; entretanto ainda carecem (em face ao número de incidentes e acidentes) de métodos que considerem aspectos organizacionais e humanos demandando por pesquisas e investimentos em longo prazo. Além disto, ressalta a necessidade de investigações adicionais sobre as influências dos aspectos sociais e culturais nos resultados obtidos.

7. Conclusão

Na busca pela diminuição nos atuais níveis de incidentes e acidentes aeronáuticos, autoridades militares e civis, instituições acadêmicas, institutos de pesquisa e indústria estão em constante procura por novas tecnologias que possam ser incorporadas aos atuais sistemas de operação aérea como automação; também como aprofundados estudos na compreensão dos fatores contribuintes aos acidentes e como evitá-los. A presente dissertação está alinhada com estes preceitos de segurança operacional ao considerar fatores humanos na interação com dispositivos computacionais como fator contribuinte determinante.

O uso de métodos da SO alinhados com a participação direta do piloto nas atividades trazem novas perspectivas à avaliação da comunicação humano-máquina em cabine. Tais métodos ainda inexplorados neste contexto (interação humano-máquina em cabine) podem potencialmente avaliar aspectos ligados à semântica e a pragmática na comunicação. Certamente, esta dissertação não esgota o assunto, nem tão pouco atesta segurança absoluta nos procedimentos de cabine, mas contribui para o avanço em direção a soluções tecnológicas mais confiáveis.

Muitos relatórios de incidentes e acidentes corroboram com a importância dos fatores humanos na segurança de voo. A interação com os artefatos na cabine tem uma regra central na segurança de voo. Neste contexto, há muitos estudos da disciplina IHC com foco na pesquisa de sistemas críticos, em particular na interação dos tripulantes técnicos com dispositivos computacionais presentes na cabine de aeronaves de forma a buscar a interação eficiente e livre de erros.

O projeto de cabines de aeronaves exige métodos de avaliação rigorosos e inovadores devido seu aspecto crítico para a segurança de voo. Esta dissertação propôs, com base no estado da arte o SCoEM, um modelo participativo baseado em conceitos semióticos.

Nesta dissertação, foi apresentados também estudos da interação dos tripulantes técnicos na cabine de aeronaves nas fases de preparação do voo, decolagem e posteriormente aproximação para o pouso e pouso propriamente dito. O estudo faz uso de teorias e métodos da SO para estruturar a elicitação das principais dificuldades/questões de interação nas fases de decolagem e aproximação para pouso. Diagramas de ontologia descre-

vem panoramas da decolagem e da aproximação para pouso em termos de “*affordances*” e dependências ontológicas.

O documento também apresenta um conjunto de normas modeladas em detalhes de comportamento dos pilotos esperados durante as fases de voo descritas. Estas normas foram empregadas em práticas com os pilotos. Os resultados qualitativos dessas práticas foram analisados, sintetizados e tabulados. A meta-análise dos resultados aponta os principais aspectos a serem considerados em pesquisas futuras.

Destaca-se a seguir (Seção 7.1) os principais avanços obtidos ao retomar a questão de pesquisa norteadora deste trabalho: *Como constituir processos para a avaliação capazes de identificar potenciais problemas de interação humano computador na cabine considerando aspectos semânticos e pragmáticos?* A seção 7.2 apresenta os principais trabalhos futuros a serem desenvolvidos com base nas limitações do método, escopo deste trabalho e descoberta de novas demandas por pesquisa. Por fim, a seção 7.3 faz as considerações finais deste trabalho com caráter científico e pessoal.

7.1 Contribuições da Pesquisa

Estudos preliminares direcionados às etapas de preparação do voo e decolagem com três pilotos com diferentes perfis técnicos (i.e., instrutor, piloto agrícola e piloto privado) demonstraram as potencialidades do SCoEM para permitir que os designers, projetistas e engenheiros de aeronaves encontrem equilibrada interface automatizada, ergonomicamente projetada aliada à ferramenta Semiótica que contribua na compreensão e das rigorosas regras das exigências do voo. Tal estudo serviu para a avaliação inicial do processo e ajustes como forma a completar o primeiro ciclo de pesquisa conforme proposto na Figura 3. Este ciclo serviu para visualizar as potencialidades, para refinamento do processo e para o planejamento dos estudos em uma próxima iteração.

Por outro lado, aproximação para o pouso é uma das fases mais críticas e exige intensa interação entre a tripulação técnica e dispositivos da cabine de comando de aeronaves, resultando em um rico e complexo cenário de domínio da IHC. Foi nesta fase que a dissertação focou o estudo mais detalhado, onde os artefatos da SO foram apresentados em workshop com 50 participantes, e as questões derivadas deles discutidas em grupo focal com 6 pilotos de diferentes perfis técnicos (i.e., instrutor, piloto profissional de atividade agrícola, piloto privado, comandante, primeiro piloto e estudante) e um controlador de tráfego aéreo.

Como principais contribuições destacam-se a seguir:

- Avanço no conhecimento e pioneirismo no uso de técnicas da SO, alinhadas ao DP, na avaliação da interação entre humanos e dispositivos computacionais em cabine, em especial em tarefas ligadas a pilotagem;
- Processo de análise com foco nos aspectos semânticos e pragmáticos, tal processo fica como contribuição a literatura na área como instigador de novas pesquisas que levam em consideração tais aspectos;
- Compreensão mais aprofundada, através dos estudos de caso, da influência dos aspectos semânticos e pragmáticos na interação com dispositivos computacionais em cabine de comando de aeronaves. Espera-se com isto, apontar a necessidade de melhorias no processo atualmente existentes;
- Apontamentos para trabalho futuros e complementares para o aprofundamento na pesquisa, conforme destacado na próxima seção.

7.2 Trabalhos Futuros

Resultados da meta-análise destacam como principal limitação do SCoEM a granularidade dos resultados obtidos. Tal limitação em conjunto com atividades, estudos complementares e mais aprofundados direcionam os próximos passos da pesquisa apresentada neste trabalho. Com a convicção da inexistência de um processo 100% completo para detecção de problemas de interação em cabine, assim como a impossibilidade de formar um corpo de conhecimento completo que envolva todas as atividades relacionadas pilotagem e design de artefatos de cabine destaca-se a necessidade de evoluir na pesquisa conjunta em um processo contínuo de formulação de hipóteses, estudos empíricos e refutação.

Em função disto, destacam-se como principais trabalhos futuros as seguintes atividades (próximos passos):

- Aprofundamento dos estudos em novos ciclos (iterações) conforme proposto pela Figura 3. Estes novos estudos podem contemplar novas atividades de simulação e novas fases do voo, mas também outras formas de análise, como por exemplo, a análise participativa (com pilotos) de vídeos reais de pilotagem que detalhem a interação com dispositivos computacionais e dificuldades e o estudo

em laboratório através de técnicas e experimentos que capturem a tomada de decisão em função da interação com artefatos computacionais;

- Simulação com artefatos alternativos de evidenciem resposta a estímulos sonoros e visuais em cabine, como meio a determinar parâmetros de comparação e evidenciar hipóteses sobre problemas de design nos artefatos atuais existentes em análise;
- Ligar, em longo prazo, os resultados da análise com propostas de design alternativos concretos e implementáveis;
- E finalmente, gerar processo de design integrado de maneira a considerar aspectos semânticos e pragmáticos na concepção e desenvolvimento de dispositivos e artefatos mais apropriados, e conseqüentemente mais seguros.

7.3 Considerações Finais

Em linhas gerais, devo salientar que reflexões e aprendizados advindos deste trabalho têm contribuído para o aprimoramento pessoal e profissional, tanto como pesquisador e educador, quanto usuário de tecnologias computacionais embarcadas em aeronaves.

Ainda que não atue como profissional do segmento aeroespacial, afirmo que a produção massiva de aeronaves popularizou significativamente a aviação geral e experimental, tornando possível o sonho de ter e pilotar sua própria aeronave, caso em que me incluo.

O estudo das complexas interfaces em cabines de aeronaves, sejam pequenas ou não, tem me tomado muita atenção e preocupação, pois acidentes aeronáuticos com causas e fatores contribuintes na automação apresentam números alarmantes, os quais me influenciaram decididamente a aprofundar o assunto em um nível que o mestrado em Ciência da Computação possibilita.

Em breve, pessoas comuns embarcarão em aeronaves autopropulsadas e chegarão a seu destino de forma rápida e econômica, tocando apenas alguns botões como, por exemplo, “me leve a tal lugar”. Isto será possível graças ao gerenciamento dos sistemas por complexos dispositivos computacionais, nos quais a tripulação técnica será totalmente dispensável. Entretanto, essa tripulação técnica continuará indispensável na modelação

e programação dos referidos sistemas computacionais com índices de falhas que tendem a zero, por redundância e monitoração em tempo real dos sistemas.

Tal avanço tem sido possível nas fases de testes e simulações graças ao crescente desenvolvimento tecnológico de hardware miniaturizado e de baixo custo, associado a avançado software. Tudo isso conectado a satélites de posicionamento georeferenciado de precisão milimétrica, tornando o sistema altamente confiável e mantendo aeronaves em distância segura de colisão entre elas e obstáculos.

Enquanto esse momento não chega, profissionais da aviação, incluindo projetistas, designers, engenheiros aeronáuticos e profissionais da computação, têm despendido enormes esforços para tornar o voo mais seguro, mais econômico e confortável – avanços que ficam evidenciados na expressiva queda do número de acidentes ou incidentes por distância voada ao longo do tempo, desde os primórdios da aviação.

Por fim, deixo como mensagem a importância do estudo e permanente compreensão dos fatores humanos relacionados aos aspectos da IHC e dos sistemas computacionais em ambiente crítico de cabine de aeronaves, que não devem jamais ser relegados a segundo plano nos projetos de implementação da automação computacional embarcada e dos recursos computacionais de apoio em solo, em cujo epicentro sempre estarão seres humanos, desempenhando funções essenciais e sendo elemento central do sistema.

Seres humanos são responsáveis pela concepção e gestão do sistema, pelo monitoramento de seu desempenho e pela intervenção quando necessária, de modo a assegurar resultados almejados, tanto na implementação quanto na operação ou manutenção, sendo imprescindível considerar questões relacionadas aos recursos humanos, sobretudo no que se refere aos tripulantes técnicos e controladores de tráfego aéreo.

Referências Bibliográficas

Andersen P. B. (1992) Computer Semiotics. *Scandinavian Journal of Information Systems*. Vol. 4: 1992, 3-30. Fonte página web:

<http://imv.au.dk/~pba/Homepagematerial/publicationfolder/Computersemiotics.pdf> -

Bonacin, R., Baranauskas, M. C. C., Liu, K. (2004) Interface Design for the Changing Organisation: an Organisational Semiotics Approach. In: Kecheng Liu. (Ed.). (Org.). *Virtual, Distributed and Flexible Organisations*. The Netherlands: Springer, p. 237-255.

Campbell, S., A. (2013) Safety Culture: An Examination of the Relationship between a Safety Management System and Pilot Judgment Using Simulation in Aeronautics S. Yamamoto (Ed.): *HIMI/HCII 2013*, Part II, LNCS 8017, pp. 453-459.

Cenipa (2012) *Relatório Oficial Acidentes no Brasil Aviação Civil Aeronaves Brasileiras e Estrangeiras*. Fonte página web: http://www.cenipa.aer.mil.br/cenipa/Anexos/article/18/2013%2003%2015%20aviacao_civil.pdf

Cenipa (2013) *História do Cenipa*. Fonte página web: - <http://www.cenipa.aer.mil.br/cenipa/index.php/o-cenipa/historico>

Chiappe, D., Vu, K., L., Strybel, T., (2012) Situation Awareness in the NextGen Air Traffic Management System, *International Journal of Human-Computer Interaction*, Chapter 28:2, 140-151

Endsley, M. R. (1998) Situation Awareness In Aviation Systems. In D. J. Garland, J. A. Wise, & V. D. Hopkin (Eds.), *Human factors in aviation systems* (pp. 257-276). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum

Evans, B. (1998) Cockpit automation: The Good, the Bad, and the Ugly; *Avionics Magazine*, May 1998 pg 34-38.

FAA, Federal Aviation Administration Flight U.S. (2008) *Aviation Instructor's Handbook* –DOT-FAA-H 8083-9A Chapter 8-20 Fonte página web:
https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/aviation_instructors_handbook/media/FAA-H-8083-9A.pdf

Filgueiras, L. V. L. (1998) APIS: Método para Desenvolvimento de Interfaces Homem – Computador em Sistemas de Segurança visando a Confiabilidade Humana Depto. De Engenharia da Computação e Sistemas Digitais *I Simpósio de fatores Humanos em Sistemas Computacionais*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento. de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais; IEEE Reliability Society Human Reliability Committee.

Geist, J. and Kumar, G. P., and Narayanan, S., and Hoagland, D., and Martin E. (2000) Modeling Human Operators in constructive simultaneous through agents. *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, IEEE, v. 2, Pages 1075-1080.

Gibson, J.J. (1977). The theory of affordances. In R. Shaw & J. Bransford (eds.), *Perceiving, Acting and Knowing*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Guimarães S. M. (2010) *Sistemas Críticos sob a Perspectiva do design de Interação e Comunicação*. Tese de Doutorado Universidade Estadual de Campinas Unicamp. Instituto de Computação.

Henriqueson, E. e Saurin, T. A., Bergstron, J. N. (2010) A coordenação como um fenômeno cognitivo distribuído e situado em cockpits de aeronaves. *Aviation in Focus* (Porto Alegre), v. 1, n. 1, p. 58 – 76 ago/dez.

Landry, S. and Jacko J., (2012) Pilot Procedure-Following Behavior During Closely Spaced Parallel Approaches. *International Journal of Human-Computer Interaction*, Volume 28, Issue 2, DOI 10.1080/10447318.2012.634766.

Lee L. (1992). *The Day the Phones Stopped: How People Get Hurt When Computers Go Wrong*. New York: Primus Donald I. Fine, Inc. Page 42.

Liu K. (2000) *Semiotics in information systems engineering*, Cambridge University Press.

Midkiff, A., H., Hansman R. J., Reynolds, T.,G. (2004) Air Carrier Flight Operations Report No. ICAT-2004-3 *MIT International Center for Air Transportation Department of Aeronautics & Astronautics*, Massachusetts Institute of Technology. Chapter 3-13 Page 34.

Moreira, W., Bonacin, R. (2013) A Semiotic Based Method for Evaluating Automated Cockpit Interfaces, R., *HCII 2013* S. Yamamoto (Ed.): HIMI/HCII 2013, Part II, LNCS 8017, pp. 530-539.

Morris, C. W. (1938) Foundations of the theory of signs, *International Encyclopedia of Unified Science*, University of Chicago Press, 1 (2).

Müller, M.J., (2003) Participatory Design: The Third Space in HCI. In: Mahway, N. J.. *Handbook of HCI*. New York: Lawrence Erlbaum.

Nadin M. (1988) Interface design: A semiotic paradigm, *Semiotica, Journal of the International Association for Semiotic Studies*, 69-3/4, 269-302, Berlin: Mouton de Gruyter.

Norman, D. A. (1990). Commentary: Human error and the design of computer systems. *ACM Communications*, 1990, 33, 4-7 ACM.

Norman, D.A. e Draper, S.W. (eds.) (1986) *User Centered System Design: New Perspectives on Human-Computer Interaction* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associate Publishers.

Olson, W. A, and Sarter, B. N., (1998) As Long as I'm in Control: Pilot Preferences for and Experiences with Different Approaches to Automation Management Institute of Aviation. *Fourth Annual Symposium on Human Interaction with Complex Systems*. IEEE Computer Society Press.

OSW (1995), The circulation document. *Organizational Semiotics Workshop*. Enschede apud Liu, K. (2000), *Semiotics in Information Systems Engineering*, Cambridge University Press, Cambridge.

Peirce, C.S., (1974) *The Collected Papers of Charles Sanders Peirce*. 8 Vols. Edited by Charles Hartshorne, Paul Weiss and Arthur Burks. Cambridge, Massachusetts; Harvard University Press.

Perrow, C. (1984). *Normal Accidents: Living With High Risk Technologies*. (Revised edition, 1999) Princeton, NJ: Princeton University Press.

Preece, J.; Rogers, Y.; Sharp, H.; Benyon, D.; Holland, S. & Carey, T. (1994). *Human-Computer Interaction*. Addison Wesley, 0-201-62769-8, Reading, MA

Rocha, H. V. e Baranauskas, M. C. C. (2003) *Design e Avaliação de Interfaces Humano-Computador*. 2. ed. Campinas: Emopi Editora e Gráfica,. v. 1. 244p .

Santi, S. (2009) Fatores Humanos Como Causas Contribuintes Para Acidentes e Incidentes Aeronáuticos na Aviação Geral. Monografia de Especialização. Publicação

E.TA- 004^a/2009. Centro de Formação de Recursos Humanos em Transportes. Universidade de Brasília DF.

Saussure, F. (2004) *Curso de linguística geral*. 26^a. ed. São Paulo: Pensamento - Cultrix.

Schulmann, D. (1994) *O desenho industrial*. Tradução Maria Carolina F. de Castilho Pires. Campinas Editora Papirus,.

Stamper, R. K. (1973) *Information in Business and Administrative Systems*, John Wiley & Sons (ed.).

Stamper, R.K., (1993) Social Norms in requirements analysis – an outline of MEASUR, in Jirotko, M., Goguen, J. and Bickerton, M. (eds.), *Requirements Engineering, Technical and Social Aspects*. Academic Press, New York.

Stamper, R.; Liu, K.; Hafkamp, M. e Ades, Y. (2000) Understanding the Roles of Signs and Norms in Organisations - A semiotic approach to information systems design. *Journal of Behaviour & Information Technology*, vol. 19 (1), pp 15-27

Treteski, T. (2009) Pilotagem Ergonomia Cognitiva: Um estudo exploratório do “Scan flow” de Pilotos. *Revista da Graduação*, Vol. 2, No 1, PUC RS.

Vicente, K. (2005) *Homens e Máquinas: Como a tecnologia pode revolucionar a vida cotidiana*. 1 ed. Rio de Janeiro: Ediouro, 1 vol. ISBN 85-00-01689-2.

Vu, K.,L., Stribel, T., Z., Battiste, V., Lachter, J., Dao, V.,A., Brandt, S., Liqda,S., Johnson, W., (2012) - Pilot Performance in Trajectory-Based Operations Under Concepts of Operation That Vary Separation Responsibility Across Pilots, Air Traffic Controllers,

and Automation. *International Journal of Human-Computer Interaction*, Volume 28, Issue 2, Pages 107 – 118. DOI 10.1080/10447318.2012.634761.

Yingwei, Z. and Damin, Z., Lei Z. (2010) Study on Ergonomics Evaluation Method of the Cockpit Display System. IEEE 11th International Conf. Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design (CAIDCD), IEEE, Pages 17-19.

Anexo I: Experimentos com especialistas de domínio

As atividades de experimentos com especialistas de domínio em campo para levantamento de dados e validação de hipóteses foram divididas em duas etapas:

1. Fase da preparação do voo e decolagem (*take-off*).
2. Fase do voo para aproximação e pouso (*landing approach*).

Estas atividades foram realizadas em oficinas (*workshops*) e grupos focais (*focus group*) com diferentes profissionais, aqui denominados especialistas de domínio (pilotos de aeronaves e especialista de Controle de Tráfego Aéreo ATCO).

-Reunião do Grupo Focal “*workshop*” – Aeroclube de Atibaia 02/02/2013

Nesta primeira etapa foram selecionadas questões obtidas de ideias aleatórias por “*brainstorming*”, coordenadas pelo moderador e posteriormente selecionadas com intuito de realçar aspectos do ambiente crítico da IHC. Cada tarefa foi explicada e discutida por técnica de “*briefing*”, e posterior rediscussão por “*debriefing*” antes de sua tabulação nos casos de conclusões contraditórias ou ambivalentes, para a devida validação do processo.

Primeira fase: Estudo de aspectos técnicos relevantes discutidos na preparação do voo e decolagem. Na Figura 1 destaque das cartas aéreas o diagrama de ontologia inicial com os fatores envolvidos no voo como missão, tipo de aeronave etc.



Figura 1: Cartas aéreas e diagrama de ontologia da missão do voo. Foto do Autor

Na Figura 2 explanações do moderador pesquisador referentes a tarefas a serem avaliadas e diagrama de ontologia.



Figura 2: Moderador/pesquisador na apresentação das tarefas a serem avaliadas. Foto do Autor

A Figura 3 apresenta relação das funções dos especialistas do domínio quais sejam:

- Piloto 1: Comandante de Linha Aérea Máster e Instrutor de Voo (PLA)
- Piloto 2: Piloto Agrícola (PA)

- Piloto 3: Piloto Privado (PP)

Ambiente de estudo: Cabine de comando de aeronave de instrução Cessna 152, cuja escolha foi propositadamente delimitada ao modelo básico para restrição aos artefactos básicos para melhor avaliação comportamental e precisão dos resultados.

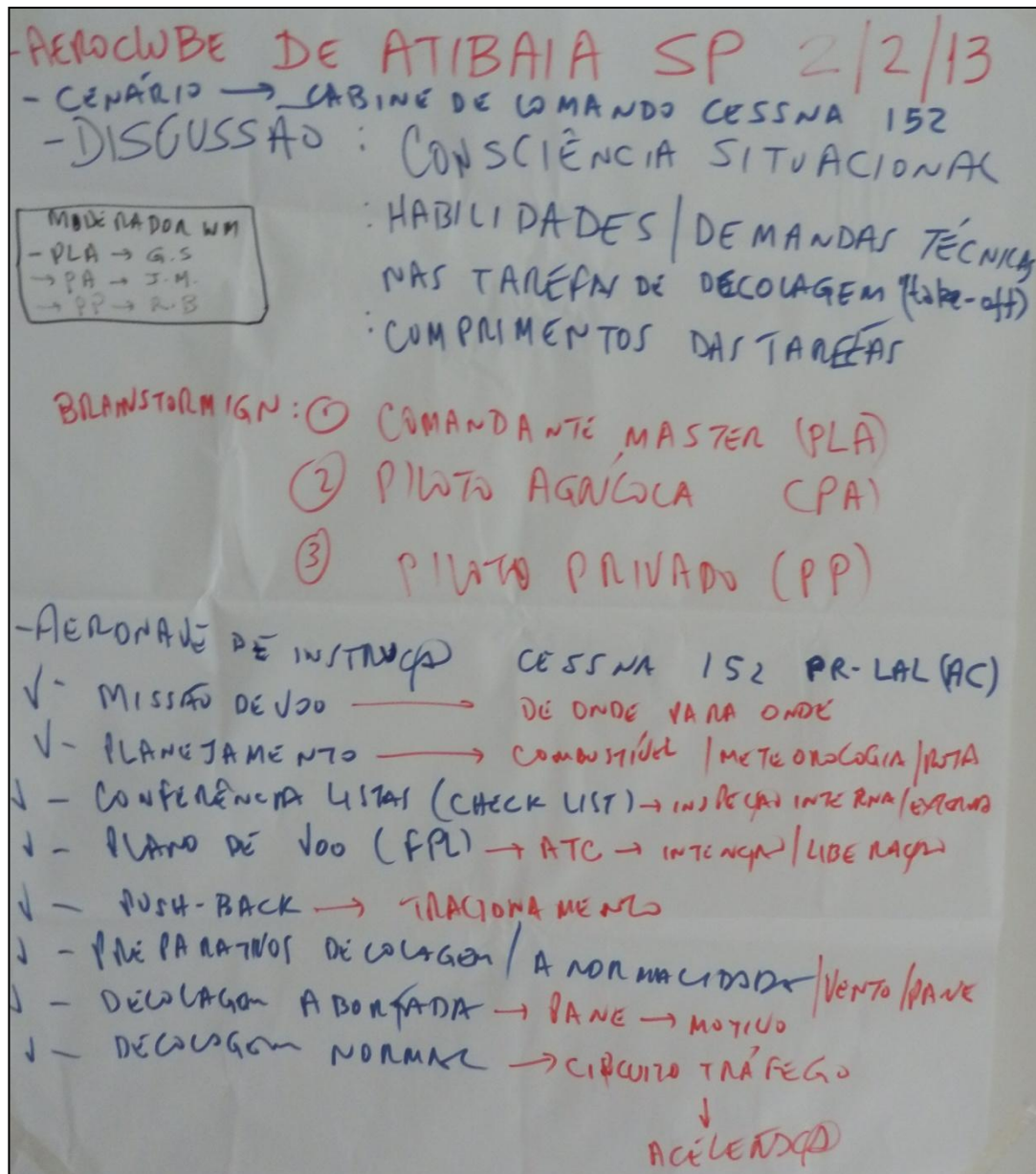


Figura 3: Relação dos especialistas do domínio (pilotos) e questões selecionadas a aeronave selecionada. Foto do Autor

Na Figura 4, questões relativas à preparação de voo e decolagem.

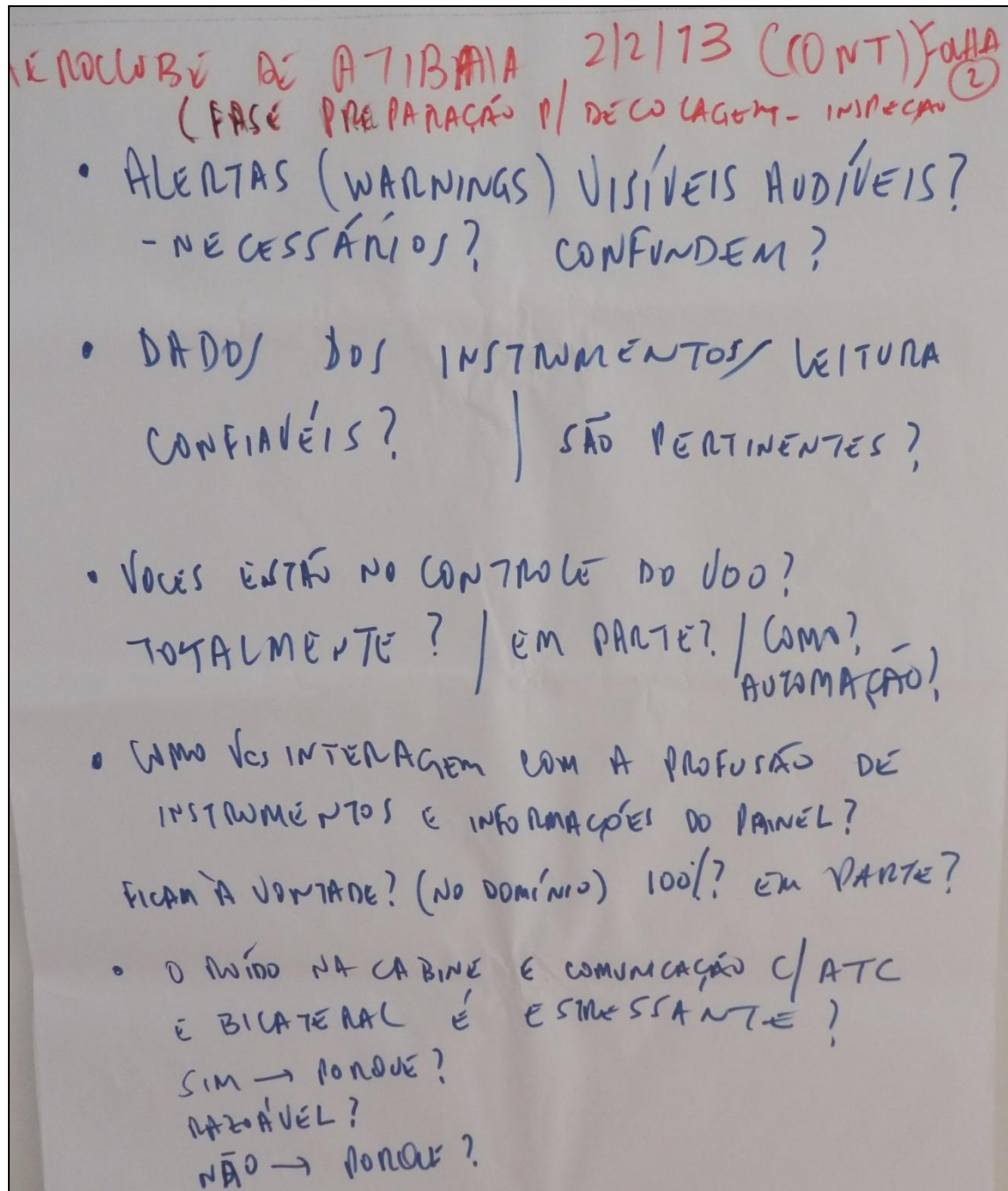


Figura 4: Seleção de questões na preparação de voo e decolagem. Foto do Autor

Ao término de cada sessão foram discutidos aspectos importantes das questões selecionadas e devidamente registradas. A Figura 5 apresenta coleta de dados das questões propostas.

- São os alertas visíveis e audíveis?
- Você se sente confortável com os dados provenientes dos instrumentos?
- Está você sempre no controle do voo?
- Como você interage com o padrão difuso do painel de instrumentos?
- O ruído na cabine da aeronave e no mínimo comunicação bilateral é atividade estressante?

Tabela 1: Resposta dos Pilotos no Estudo da Decolagem

Síntese das Respostas dos Pilotos					
Piloto	Perceptual	Cognitivo	Denotativo	Avaliativo	Observações
1	1-Nem todos alertas e avisos são visíveis 2- O som do rádio é inaudível	1-Nós sempre seguimos estritamente as diretrizes do manual e listas de conferência “ <i>checklist</i> ” da aeronave 2-Nós voamos apenas “números computados” cegos	1-O som do rádio não é ruim mas o indicador da chamada “ <i>callsign</i> ” não é totalmente compreendido 2-Os dados dos instrumentos são falsos por erro de paralaxe de leitura	1- Os dados registrados no instrumento são corretos, mas às vezes isso não é verdadeiro	O piloto profissional reconhece que o máximo em tecnologia não garante um pacote livre de erros
2	Os dados lidos nos instrumentos não condizem com os dados reais de voo	Pesada carga precisa alçar voo por meio de aceleração e voo próximo ao solo	Não reportado	1- Os dados registrados no instrumento são corretos, mas às vezes isso não é verdadeiro	O piloto profissional reporta grande quantidade de falsos dados vindos dos instrumentos como velocidade do ar
3	Os dados lidos nos instrumentos não condizem com os dados reais de voo	Ventos cruzados requerem imediata ação corretiva na manobra de decolagem	Comunicação bilateral via rádio é embaraçosa	A leitura de velocidade na decolagem não corresponde com a velocidade real	O piloto deve coletar dados disponíveis de voo e decidir em ir ou não ir

-Fase do voo para aproximação e pouso “*Landing Approach*”:

Reunião do Grupo Focal e *workshop* – Universidade Anhembí Morumbi São Paulo

Foi executado oficina com um grupo focal utilizando-se técnica semelhante da primeira fase (i.e.) seleção de questionamentos, levantamento de hipóteses estudos de caso específicos da etapa, na data de 25 de Junho de 2013.

Esta segunda fase compreendeu o complexo estudo da avaliação comportamental sob a ótica da IHC na aproximação para o pouso (*Landing Approach*) em relação às atividades da etapa do voo, assim como da consciência situacional dos especialistas do domínio (Pilotos e Controlador de Tráfego Aéreo).

Questões selecionadas:

- 4 Os avisos e alertas são visíveis e audíveis durante a fase de aproximação para pouso?
- 5 Vocês se sentem confortáveis com o painel de instrumentos e dados da razão de descida até o toque na pista de pouso?
- 6 Vocês (tripulação) estão sempre no controle do voo desde o início do início da descida para a aproximação até a etapa final do pouso?

Questão para o membro ATCO:

Estão vocês controladores totalmente sobre o controle de voo, no ambiente de trabalho na torre de controle, desde o início da descida, aproximação para pouso até o toque na pista e taxiamento até a área de estacionamento?

Relação de especialistas do domínio:

Piloto 1: Comandante Máster (PLA)

Piloto 2: Piloto Profissional de Agricultura (PA)

Piloto 3: Piloto Privado (PP)

Piloto 4: Comandante de linha aérea (PLA)

Piloto 5: Primeiro Oficial de linha aérea (PLA)

Piloto 6: Piloto Comercial Estudante (PC)

Controlador de Tráfego Aéreo (ATCO)

A Figura 6 apresenta estudo comportamental dos tripulantes técnicos e de técnico ATCO na aproximação para pouso em sala de simulação. Os dados de cada especialista do domínio foram gravados e reportados conforme Tabela 2.

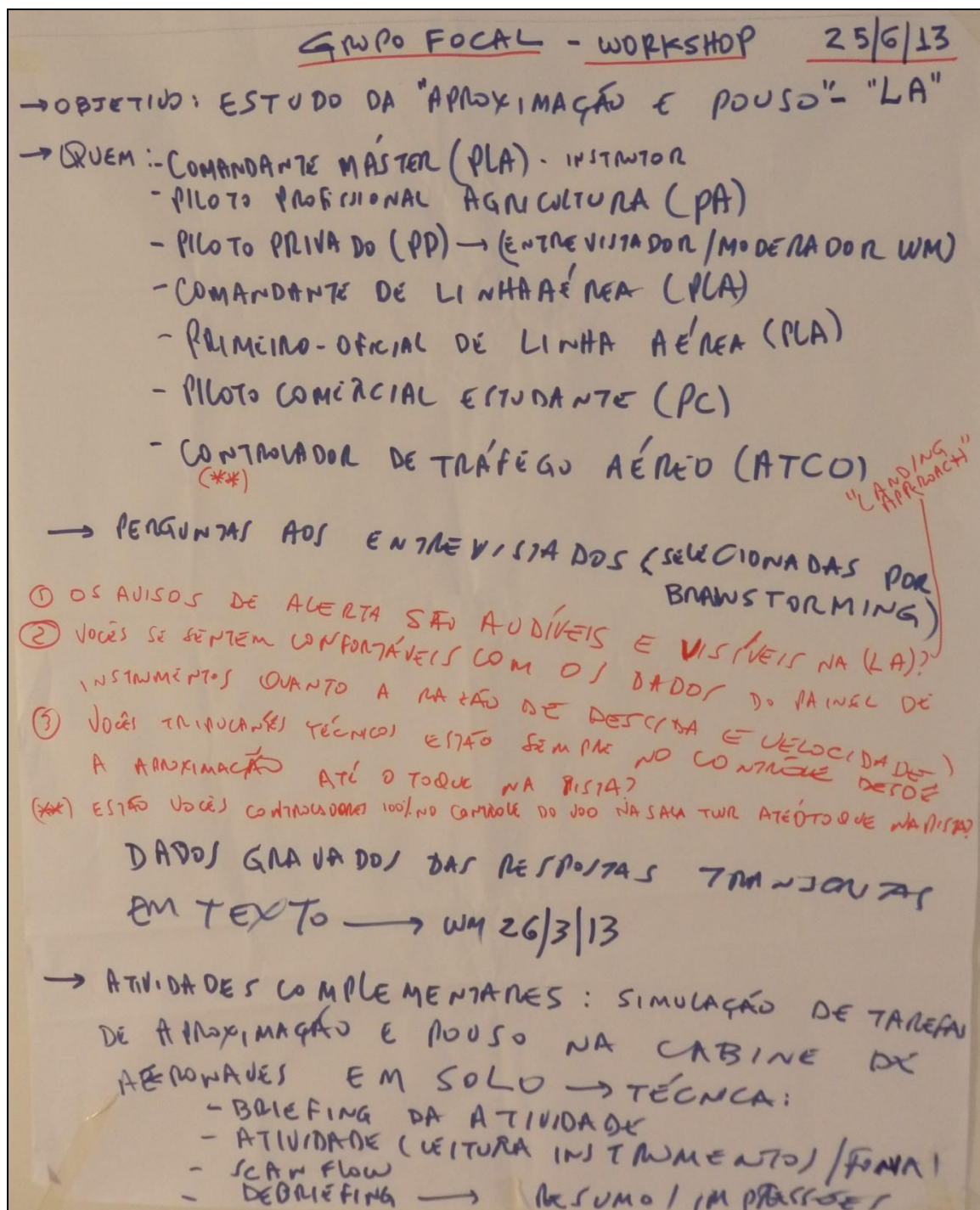


Figura 6: Estudo comportamental de pilotos na etapa de aproximação para pouso e atividades complementares. Foto do Autor

A Figura 7 apresenta atividades de leitura das listas de conferência “check-list” em cabine de comando. Simulação no solo em cabines reais de aeronaves por técnicas de “scan-flow” e “cross-check”.



Figura 7: Simulação de atividades em ambiente real de cabine de aeronaves no solo. Fotos do Autor

Figura 8 representa ATCO na sala de controle ATC, com respectivos recursos leitura radar e dados meteorológicos.



Figura 8: ATCO na função controle de voo. Foto do Autor

Figura 9 representação de reunião de “debriefing” (discussão de fatos relevantes ocorridos) entre piloto moderador e piloto entrevistado (PLA) após simulação.



Figura 9: Reunião debate sobre fatos relevantes discutidos “*debriefing*”. Foto do Autor

Tabela 2 apresenta dados compilados de cada especialista do domínio, questão 1 dirigida aos pilotos: Os avisos e alertas são visíveis e audíveis durante a fase de aproximação para pouso?

Tabela 2: Resposta dos Pilotos no Estudo da Aproximação – Questão 1

Piloto	Perceptual	Cognitivo	Avaliativo	Denotativo	Observações
1	Nem todos os alertas e avisos são imediatamente correlacionados com os fatos reais dos voos.	Devido à fase de voo com maior carga de trabalho avisos e alertas são estressantes	Às vezes temos falsos alarmes e avisos	Nós sabemos exatamente de onde e quando alarmes e avisos vem	O piloto profissional reconhece que o máximo em tecnologia não garante um pacote livre de erros. Assim, os avisos e alertas podem auxiliar nas correções.
2	Alarmes e avisos são precisamente configurados para os parâmetros de voo e algumas vezes ocorrem sobreposição	Eu não dou muita atenção ao alarme de estol durante a aproximação para pouso desde que eu esteja sempre voando próximo ao solo	Às vezes alarmes e avisos são falsos	Na baixa velocidade de aproximação e pouso os alertas e avisos não são confiáveis	O piloto profissional relatou uma série de dados falsos oriundos dos instrumentos que geram avisos errados e alertas, como velocidade real do ar durante a fase de aproximação para pouso.

3	Os alertas e avisos do Sistema de Geoposicionamento (GPS) mostram locais sombreados em perigosas aproximações de terreno	Ventos cruzados requerem imediata ação corretiva na manobra de decolagem	O alarme de estol é inútil quando você está próximo ao ponto de toque	A leitura no instrumento da velocidade na aproximação para pouso não corresponde com a velocidade real	O piloto deve coletar dados da etapa de voo disponível e decidir pousar ou abortá-lo através da abortagem
4	A aproximação para pouso é um período atarefado, estressante e muito agravada por sons e alertas visuais no cabine de comando	Os geradores de avisos e alertas são bem posicionados	Avisos e alertas são às vezes redundantes	Tesouras de vento ao nível da pista não podem ser informadas e alertadas	A aeronave deve atender certos critérios de aproximação para ser capaz de pousar em segurança. Este é um resultado de uma aproximação para pouso estabilizado.
5	Quando a aproximação para pouso está corretamente discutida, todos os avisos e alertas são bem compreendidos	A tarefa de aproximação para pouso requer todos os recursos disponíveis, incluindo alertas de anúncios de advertência.	Alertas e avisos podem causar sobreposição de informações	Alarme de estol associado à proximidade do terreno é altamente irritante.	Atualmente modernas aeronaves permitem tripulantes monitorarem a aproximação de pouso adequadamente
6	Apesar da etapa de voo ser bem discutida com instrutor a aproximação para pouso não é totalmente compreendida no momento	Os sons de alerta e sinais luminosos são totalmente estressantes	Avisos e alertas podem ser desligados pelo instrutor para evitar atos incompatíveis dos alunos	A baixa velocidade durante a aproximação para pouso causa inválidos alertas e avisos	Não Reportado

A Tabela 3 apresenta a síntese dos resultados das discussões sobre questão 2: Vocês se sentem confortáveis com o painel de instrumentos e dados da razão de descida até o toque na pista de pouso?

Tabela 3: Resposta dos Pilotos no Estudo da Aproximação – Questão 2

Piloto	Perceptual	Cognitivo	Avaliativos	Denotativo	Observações
1	A palavra secreta: Uma aproximação estabilizada garante ao menos 50% de um suave toque	Em um dia nublado e com ventos os dados de voo são fundamentais para uma correta aproximação para pouso	A verificação cruzada “crosscheck” do painel de instrumentos compensa erros de paralaxe	Os dados do painel de instrumentos de voo devem ser verificados duplamente verificados	Em movimentados aeroportos há expectativa de fadiga e perda de atenção por causa da carga de trabalho

2	Em um voo regular em condições visuais não importa muito os dados do painel de instrumentos para a aproximação para pouso	Na maioria das vezes o avião está vazio e leve demais para o pouso o que exige muita atenção nas configurações de pouso	Um experiente piloto de agricultura usualmente adiciona dados externos como sinais de ventos nas árvores como auxílio na etapa de pouso	Ventos de través não podem ser detectados nos instrumentos de bordo	Aeronaves agrícolas na maior parte das vezes pousam em pistas curtas e sujas que são geralmente perigosas
3	Os dados oriundos dos instrumentos do painel de controle mão são totalmente confiáveis	Aeronaves leves são difíceis de serem mantidas em correta aproximação para pouso	A biruta da pista de pouso informa melhor a direção e intensidade do vento que instrumentos do painel a bordo	Ventos de través não podem ser detectados nos instrumentos de bordo	A ausência de sistema anti colisão no painel transforma a aproximação para pista de pouso em uma colisão potencial no ar devido a ao convergente tráfego
4	Uma vez que voamos dados computacionais dos instrumentos é mandatório aceitá-los e os programar de acordo com o manual de operação da aeronave	A menos que as informações do ATC para desviar para outra pista, tripulantes se sentem em situação controlada para uma aproximação de pouso adequado e seguro.	Seguimos rigorosamente as Regras de Voo por Instrumentos ou seja, se os dados não estiverem corretos, não estamos prontos para o pouso	Seguimos rigorosamente as regras de Voo por Instrumentos ou seja de os dados de localização não estiverem corretos, não estamos prontos para o pouso	Colisão com aves na área do aeroporto é uma questão de segurança se não for devidamente tratado pelas autoridades do aeroporto e da cidade
5	Se corretamente discutidos na aproximação para pouso, dados do painel de instrumentos são aceitáveis	A ação de arremetida é sempre praticada e deve ser naturalmente realizada quando necessário	A verificação cruzada do painel de instrumentos permite tripulantes de monitorar continuamente a ação da aproximação para pouso	O painel de instrumento é redundante	Nós sempre realizamos o pilar das três regras aeronáuticas: Voar a aeronave Navegar Comunicar
6	Durante voos de instrução nós sentimos desconfortáveis com dados dos instrumentos do painel	O risco de estol durante a aproximação para pouso é muito grande devido à baixa velocidade requerida	O cruzamento de dados dos instrumentos frequentemente causa perda de atenção dos pilotos alunos	Dados dos instrumentos no painel não são confiáveis em baixas velocidades	A aproximação para pousos por instrumentos é uma difícil tarefa

A Tabela 3 apresenta a síntese dos resultados das discussões sobre a questão 3: Vocês (tripulação) estão sempre no controle do voo desde o início do início da descida para a aproximação até a etapa final do pouso?

Tabela 4: Resposta dos Pilotos no Estudo da Aproximação – Questão 3

Piloto	Perceptual	Cognitivo	Avaliativos	Denotativo	Observações
1	Se nós tripulantes, não estamos sentindo que estamos no controle da situação, desligamos e reiniciamos o computador	Raramente não temos suficientes dados para voar a aeronave manualmente	Sob condições IMC (Condições Meteorológicas para Instrumentos) nós configuramos o computador para voar a aeronave	Se o computador toma a aeronave dos tripulantes técnicos, os mesmos devem confiar nos artefatos computacionais	Em determinadas circunstâncias a aeronave fica fora do controle dos tripulantes técnicos
2	Para a aeronave agrícola, a razão de descida e aproximação para pouso, às vezes está fora de controle e requer ações imediatas para corrigir adequadamente	O voo da aeronave desde a fase de descida até o toque na pista ocorre totalmente com referências visuais	A verificação cruzada do painel de instrumentos durante o pouso desvia muito o foco do tripulante	Raios de luz no por do sol ou no nascer do sol a é um cenário perigoso, uma vez que momentaneamente cega tripulantes	Do ponto de vista de aeronave agrícola, a razão de descida e aproximação para pouso é uma tarefa difícil devido a baixo nível de recursos na pista
3	Às vezes, a descida e aproximação para pouso estão fora de controle devido a fatores externos como o vento em rajadas inesperadas	A interação com os tripulantes da aeronave e o meio externo lhes permitem controlar a fase de voo	O tripulante responsável pelo voo pode retomar, para um melhor desempenho a aproximação para pouso	Não encontrar a pista de pouso na aproximação final de destino é um problema perigoso e comum	Se o voo está fora de controle, por algum relevante motivo a palavra de ordem é: reiniciar o processo desde o início
4	Os parâmetros de voo definidos pelos engenheiros das fábricas para os computadores das aeronaves não pode simplesmente ser desligados	A regra de "ouro" é permanecer voando a aeronave e manter velocidade mínima para evitar a falta de sustentação	Se, por alguns motivos imprevisíveis "desconhecidos" o voo está fora de controle, tripulantes devem executar procedimentos de emergência	O voo está fora de controle quando os artefatos computacionais centrais mudam para modo "lei alternativa" para proteger os principais sistemas	Configurações de aeronaves modernas não permitem tripulantes realizar movimentos perigosos

5	Descida instruída e aproximação para pouso devem ser feitas passo a passo.	Monitoramento dos parâmetros é mandatório	Conferências “ <i>Checklists</i> ” de emergência devem ser realizadas pelos tripulantes durante a aproximação para o pouso	Tripulantes técnicos devem manter mínimos parâmetros de voo	Modernas aeronaves, em algumas circunstâncias tiram autoridade dos tripulantes para mantê-las em funcionamento
6	Piloto aluno se sente inseguro durante a aproximação para pouso, devido a difícil etapa do voo	As informações da aeronave são suficientemente boas para manutenção do voo, porém o voo de descida, algumas vezes, fica fora do controle devido a uma falta de capacitação	A verificação cruzada dos instrumentos durante a aproximação para pouso é demorada	O instrutor deliberadamente desliga alguns artefatos, a fim de criar uma controlada situação “caótica” para o aluno piloto	Sem dúvida, a aproximação para o pouso é uma das tarefas mais difíceis para os tripulantes

A Tabela 5 apresenta a síntese dos resultados das discussões com técnico especialista ATCO: Estão vocês controladores totalmente sobre o controle de voo, no ambiente de trabalho na torre de controle, desde o início da descida, aproximação para pouso até o toque na pista e taxiamento até a área de estacionamento?

Tabela 5: Resposta do ATCO no Estudo da Aproximação

Especialista ATCO	Perceptual	Cognitivo	Avaliativos	Denotativo	Observações
7	A sala de controle é um ambiente movimentado, bem organizado em que todas as pessoas sabem exatamente quando e o que fazer corretamente	A comunicação por rádio aliado ao radar permite ATC priorizar sequencialmente aeronaves nos movimentos de descida e aproximação para pouso até o toque na pista de pouso	Controlar vários aviões ao simultaneamente é enorme e difícil desafio	Tripulantes técnicos não podem ser deixados sem assistência	A maior satisfação dos especialistas ATC no final do turno de tarefas é registrar no diário de anotações o número de pássaros de metal conduzidos para o solo de forma segura

A Tabela 6 resume as tarefas do grupo focal em termos de tempo dedicado e registrado por atividades. Esta tabela inclui práticas de modelação participativa, validação com pilotos, seminário e análise de dados.

Tabela 6: Horas dedicadas por Atividade/Prática

Atividades / Práticas	Tempo (Ho- ras)
Modelação de Diagrama de Ontologia Participatória	12
Validação da Modelação do Diagrama de Ontologia	2
Descrição da Norma Participatória	30
Validação das Normas com Pilotos (total)	3
Tempo de duração do Seminário	5
Reunião do grupo focal de trabalho “ <i>Focus Group</i> ”	2
Período de tempo para compilação de dados	25
Período de tempo para rodar planilhas	5
Período de tempo para validação de dados	10
Período de tempo em simulação em aeronaves no solo.	3
Etapas de revisão de processos	200
Total	297

Anexo II: Artigo HCII Las Vegas 2013

O anexo II apresenta artigo publicado e apresentado na “15th. *International Conference, HCI International 2013 Las Vegas, NV USA, July 21-26, 2013*”.

Section: Safety in Transport, Aviation and Industry.

Title: A Semiotic method for evaluating automated cockpit interfaces

Authors: Waldomiro Moreira and Rodrigo Bonacin

- Yamamoto (Ed.): HIMI/HCII 2013, Part II, LNCS 8017, pp. 530–539, 2013. © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013 – HCII Las Vegas 2013

- Apêndice 1- Consent to Publisher Springer Copyright
- Apêndice 2- Correspondências de Autorização de utilização HCII/Springer

Semiotic Based Method for Evaluating Automated Cockpit Interfaces

Waldomiro Moreira¹ and Rodrigo Bonacin^{1,2}

¹ FACCAMP, Rua Guatemala, 167, 13231-230, Campo Limpo Paulista, SP, Brazil

² Center for Information Technology Renato Archer - Rodovia Dom Pedro I, km 143,6, 13069-901, Campinas, SP, Brazil

moreirawaldomiro@gmail.com, rodrigo.bonacin@cti.gov.br

Abstract. Issues of Human-Machine Interaction in the aircraft's cockpit are well known as causes of events that collaborate with material and human losses. In this scenario, the design and evaluation of interfaces must follow rigorous methods. The objective of this work is to develop an evaluation method of Human Computer Interaction (HCI) within the cockpit in order to reduce erroneous actions. This method is based on theories and techniques from the Organizational Semiotics (OS) field. The feasibility of the proposed method was investigated in a case study in an aeronautical simulated scenario with the participation of three pilots. The intention is contribute to the advancement of knowledge in HCI cockpit environment, particularly in the understanding of human factors related to semantic, pragmatics and the situational awareness aspects of the interaction with computing devices, as well as creates a feasible method to evaluate these factors during the execution of the mission' tasks.

Keywords: Safety Systems, Interface Evaluation, Semiotics

1 Introduction

Cooperation between the human being at the aircraft cockpit and the cognitive assistant system creates a "mental mode" that must be clearly, steadily and readily assimilated. Under common fairly or stringent demands allows the expressed a strong preference of the human in the command of an aircraft for a management by consent approach where the automation system cannot take any action until the explicit consent from whose is in charge in the aircraft's cockpit mission.

The research for innovative evaluation methods imposes challengers to the Human Computer Interaction (HCI) studies. Such methods should consider alternatives for the evaluation of aspects unexplored in HCI. Multidisciplinary approaches, such as semiotics and human factors in HCI, may provide valuable insights to the advance of cockpit interface evaluation.

The human factors studies are first interested in the role and position given to the end user in the system. Human factors cannot be restricted to a list of local ergonomics principles, such as shapes, colors or information flow; it first refers to a philosophy of human-machine coupling, giving the central role to human. Suppose a system in which the crew should be a simple executor, with a perfect instrument panel allowing a total comprehension, but without any possibility to deviate from orders, and with a permanent and close electronic device overriding crew decisions. Such a system should no longer be considered as corresponding to a satisfactory human factors design. The crew cannot

have a second role because the members continue to be legally and psychologically responsible for the flight. They must keep the final authority for the system. Luckily, crews still have the authority with the aerodynamics flying parameters from the glass cockpits information such as speed, altitude and aircraft's attitude like pitch down or climbing or intended leveled flight. But the tendency of technique is clearly to cut down this privilege.

Nowadays, some limited systems already override the crew decision in certain circumstances (e.g., for flight or engine protections). The goal of the human factors community is to improve the value associated with these systems, not to enter into a debate on the safety balance resulting of these solutions (as usual, we know how many accidents/incidents these systems have caused, but we ignore how many incidents/accidents they have contributed to avoiding). However, how far can we go in this direction with crews remaining efficient and responsible in the flight loop and with a satisfactory ethics of human factors? We must acknowledge that a human factor has no solutions for an infinite growth of system complexity. Therefore, if we want the crew to remain in command, either we have to limit the increasing human-machine performance until the research comes up with efficient results preserving the authority of humans, or we accept designing systems, for example, made with two envelopes: (1) The first envelope is controlled by crews. Within this envelope, crews are fully trained to comprehend and operate the system. They share full responsibility, have full authority and can be blamed for unacceptable consequence of their errors. (2) The second envelope or outside of the first envelope, the system enters into full automatic management guided by standardized parameters approved and validated by aeronautics authorities. In such a case, the technical crews are just passengers as all the others in the interior of the fuselage. In such case, human factors are not concerned, except for the transition from one envelope to the other one. Last, ergonomics and human factors only tailor the first envelope.

This paper reports both and ambiguous scenarios that intend to reach the equity between the computational resources and the human capacity to take the fly control safely to the destiny. Our hypothesis is that semiotics and affordances theory can support us in understanding the patterns of behavior made possible by the combination of the artifact (automated cockpits) and the human being (crews). By understanding and modeling (in a chart) the affordances, relations and norms during a takeoff scenario, we expect to produce an initial proposal of a method that is used as basis for questioning systematically

how each affordance are possible by the combination of the crew and the automated system in each situation.

The paper describes a method to evaluate the issues of data integration and credibility via employing ontological model in the analysis of the interpretation of signs and the expected crews' behaviors in critical cockpit management. The evaluation method is based on Gibson's [1] affordances concept expanded by Stamper in the Semantic Analysis Method (SAM) and the Norm Analysis Method (NAM) [2]. The objective is to identify the affordances, as well as ontological dependencies and norms of the cockpit context. The core of this evaluation method proposal is the analysis of the capacity of the human being in taking the control of the machine artifact as necessary. This leads to a careful analysis of the interaction between pilots and the automated systems according to the expected patterns of behaviors.

A case study illustrates the application of the method in the analysis in a cockpit design. The analysis was performed in participatory sessions with three domain experts (experienced pilots) and points out the possibilities and the limitations of the evaluation method, as well as further research.

This paper is structured as follows: the second section presents the theoretical and methodological background; the third section presents the evaluation method; the fourth section presents the case study settings, including its context, and discusses its results, and the fifth section concludes the paper.

2 Background

This section presents key concepts, theories and methods adopted in this paper. The subsection 2.1 presents studies in situation awareness, and the subsection 2.2 introduces the OS field including SAM and NAM.

2.1 Aircraft Cockpit Situational Awareness

Situational awareness can be understood as the perception of the elements in the environment within a volume of time and space, the comprehension of their meaning and a projection of their status in the near future [3].

In a cockpit, Situational Awareness refers to the state of the crewman understanding of the process and relevant aspects of a dynamic environment in an aircraft cockpit with which a person is interacting. Optimum Situation Awareness requires knowledge of, for example, current process parameters and the normal value of those parameters, the

difference between current values and normal values, the past state of the process and the predicted future state of the process. Situation awareness is maintained by integration of this information and is thus critical when the operator is confronted with a complex and changing situation. It is directly related to operator performance and is especially important during abnormal conditions when the operator is required to make correct diagnoses of faults and to identify situations and problems not covered by normal operating procedures. There have been several proposals on how to analyze situation awareness and how to design human-machine interfaces to optimize situation awareness so that the probability of human error is reduced. Research has shown that situation awareness is affected by many cognitive factors, by motivation and by workload. In particular, it has been suggested that the way information about the dynamic environment is represented in the operator's mental model plays a significant role in anticipation of certain events and thus a conscious attention and search for information. There is also common agreement that the work situation in complex modern aircraft control environments is characterized by high information content, which, if not managed properly, may contribute to excessive workload and hence operator error.

Semiotics may provide theories and methods to analyze situation awareness in the cockpit. The key argument is that an analysis of the nature, role and composition of signs within the cockpit design is crucial to understand the situation awareness [4].

2.2 Organizational Semiotics

Semiotics, as the study of signs and meaning, has influenced many HCI theories and methods. According to Peirce's approach [5], a sign can be seen as having three functions: representation (the form that the sign takes, called the *representamen*), its referent (that to which the sign refers, called the *object*) and its meaning (the sense made of the sign in the operator's mental model, called the *interpretant*).

The OS discipline studies the nature, characteristics, function and effect of information and communication in the organizational contexts. Organization is considered a social system in which people behave in an organized manner by conforming to a certain system of norms [6], from this perspective a cockpit can be studied as organizations, once it is demand (very) organized behavior.

Among the methods employed by the OS community is a set of methods known as MEASUR (Methods for Eliciting, Analyzing, and Specifying Users' Requirements) [2]. The SAM is one of the MEASUR methods which focus on the agents and their pattern of behaviors. Some basic concepts of OS adopted in this work are based on Liu [6] and Stamper [7]:

- “An agent” is defined as something that has responsible behavior. Some examples in context of this paper are: a pilot, a co-pilot, an airport authority and a crewman.
- “Affordance”, the concept originally introduced by Gibson [1] to express the behavior of an organism made available by some combined structure of the organism and its environment, is extended by Stamper [8] to include invariants of the social world; social affordances arise from the norms we share with people around us. Stamper argues that reality as we know it was not constructed individually; it was created by cultural development during millennia. For example, a cup is a human artifact whose use is not only possible because of its physical aspect but also because of its social affordances (children have learned to use it for drinking, instead of throwing it at someone). In this sense, the yoke (control column) is not only possible/usable by its physical aspects but also because the pilots have learned to use it according to a set of norms.
- “Role-name” is the role of the agents according to the affordances that they are in charge. For example, a “pilot” is a crewman who is responsible for controlling the aircraft.
- “An ontological dependency” is formed when an affordance is possible only if certain other affordances are available. For example, the airplane “takeoff” is only possible if the airplane is in “acceleration”.

The concepts of Semantic Analysis are represented by means of ontology charts, which have a graphical notation to represent agents (circles), affordances (rectangles), ontological dependencies (lines drawn from left to right), role-names (parentheses) and whole-part relations (dot).

In addition to the SAM, the NAM is used to describe the relationships between an intentional use of signs and the resulting behavior of responsible agents in a social context. At the social level, norms describe beliefs, expectations, commitments, contract, law, culture, as well as business [4].

According to Liu [4], the norms identified in NAM can be classified according to the human behavior in five types: *perceptual norms* (how people receive signals from the environment), *cognitive norms* (how people interpret and understand what is perceived), *evaluative norms* (how people attribute beliefs, values and objectives), *behavioral norms* (how people behave in regular patterns), and *denotative norms* (how people choose signs for signifying). The following example illustrates a behavioral norm description (using the formalism presented by [4]) in the context of this paper:

```
whenever the airplane is taxiing
if there is an holding position marking
then the pilot
is obliged
to wait for a permission to proceed;
```

3 The Semiotic Cockpit Evaluation Method (SCoEM)

The idea of the SCoEM is to constitute a checklist where each affordance and norm is evaluated with the artifacts that support the agents' action. The SCoEM does not impose or suggest methods to individually check each artifact feature, but it aims to be a framework to systematically apply the existing methods. Figure 1 presents an overview of the method, where the dashed lines delimitate the three phases:

1. *Participatory Ontology Charting*. During this phase HCI specialists work with domain specialists in the analysis and modeling of the affordances, ontological dependencies and other SAM's concepts. This phase is composed by three activities: (1.a) definition of the artifact(s) and the task(s)/procedure(s) to be evaluated; (1.b) description of the context, including procedures, tasks, artifacts and rules (guidebooks and manufacturer can be used in this activity); (1.c) application of the SAM, including candidate affordance generation, candidate grouping and ontology charting as described by Liu [4]. The activities 1.b and 1.c repeat iteratively until the ontology chart be validated buy the domain specialists;
2. *Participatory Norm Modeling*. During this phase HCI specialists work with domain specialists (e.g., pilots and instructors) in the analysis and modeling of all kinds of norms. This phase is composed by two activities: (2.a) the first activity is the detailed description in natural language of all affordances, in a way that we can detect the norms associated to them. These descriptions include the formal aspects, as well as informal aspects related to the pragmatics and social context; and (2.b) the second activity is the application of the NAM, the norms are associated with the affordances detected in the last phase. These two activities are interactively performed until validate of all norms with specialists.
3. *Participatory Interface Evaluation*. During this phase affordances and norms are analyzed to elicit questions to be considered for evaluating with the domain specialists. Those questions are then verified using other HCI evaluation methods; typically, laboratory studies and simulation can be applied in this phase. This phase is composed by two activities: 3.a) in the first activity the affordances and other concepts from SAM are contrasted with the artifacts that are subject of the analysis; and 3.b) in the second activity the norms are contracted with the artifacts. The rationale is to evaluate all the artifacts and conditions necessary to perform the right actions according to the identified norms, for that a set of questions to be answered is derived from the norms. Suppose the evaluation of a device that automatically detects “holding position” in the airport taxiways, some examples of questions that arise from the norm described in the last section are: (1) Is the alert visible in the device? (i.e., perceptual norms), (2) Can the pilot properly understand the device alert? (i.e., cognitive norms), (3) How the pilots judge the value this type of device? Is it important? (i.e., Evaluative norms), (4) What is the expected behavior from the pilot using it the device? Can the device properly support it? (i.e., behavior norms), (5) Are the colors, shapes and other aspects properly used in the interface design? (i.e., denotative norms).

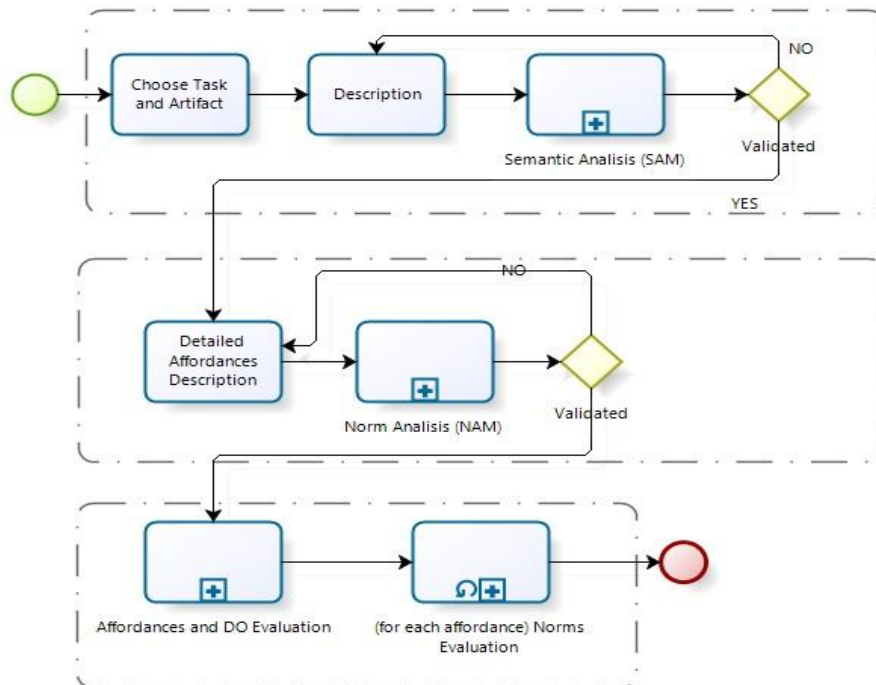


Fig. 1. Overview of the SCoEM

4 Case Study and Results Analysis

This study has been performed with three experienced pilots in a real aeronautical media in a grounded pilot's instruction aircraft cockpit. The focus was the takeoff itself.

4.1 Case Study Context, Scenario and Pilot's Profile

The take-off of the "heavier than the air" artifact is one of the toughest things to do for the crewman in the cockpit, since the entire mass must face the earth gravity law that stuck everything on the surface. To reach the take-off endeavor the lift comes from the brakes release and engines thrust.

However, before the take-off, the aircraft must be pushed-back and taxi to the in use runway dictated by the airport authorities through a movement on the ground under its own power, up to the take-off phase of flight in which an aircraft goes through a transition from moving along the ground to flying in the air. The entire process of take-off starts after a call-out between the first-officer and Airport Authority controller under strictly sequential Norm Procedures on which the engine thrust is performed through acceleration in well known critical phases that were well trained by the crewman for thousand hours in a real flights even thou in the simulators.

The counter-part of the clear and logical activities sequence often generate subjective variables in the cockpit, showing an increased mental demand on the crewman performance as the robustness of the prioritization and allocation in the aeronautical "must to do" hierarchy such as fly the aircraft, navigate it and communicate your actions and intentions. The cognitive process mostly linked to the intuitive value judgments interfere in that process flow.

Figure 2 shows a Cessna 152 that was analyzed in this case study. It is a well known aircraft with demonstrated qualities for training proposes. In the left part of Figure 2 there is the cockpit numbered from one to 10 the relevant interface instruments, knobs and the necessary handled devices.

The study was performed three with the pilots with different profiles: (1) an air-line instructor captain, (2) an agricultural professional pilot, and (3) a private pilot. All the pilots had already flown many hours in the Cessna 152.



Fig. 2. Cessna 152

4.2 Results and Discussion

As propose the SCoEM study started from a description of the take off task. An ontology chart was constructed interactively with the pilots. Figure 3 shows an ontology chart with the key affordances (some aspects was omitted for reading proposes) involved in the takeoff tasks. The chart describe for example, that the *TakeOff* (at the right part of the diagram) is part of the *Flight* and is ontologically dependent of the *Acceleration*.

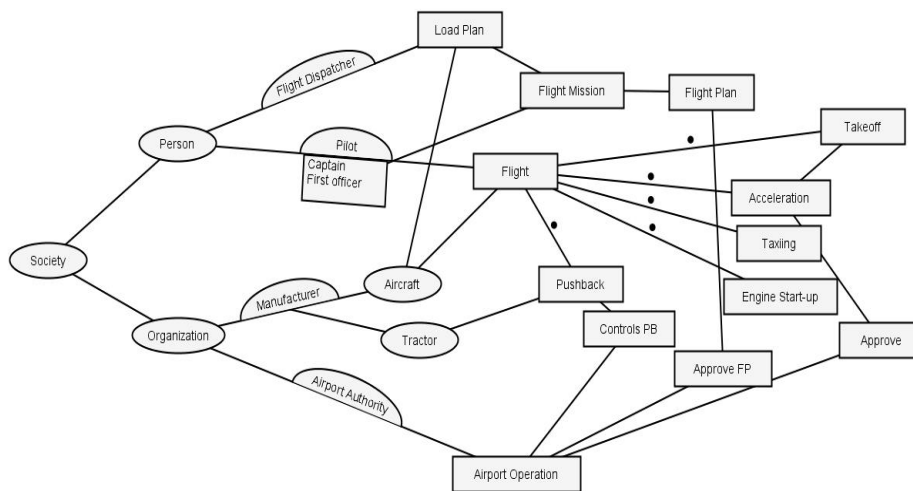


Fig. 3. Simplified takeoff ontology chart

After that, for each affordance a set of norm was elicited with the pilots. For example, 20 behavior norms describe the expected behavior of the pilots during the *Takeoff* affordance. The following norms are examples of behavior norms that the pilot follows during the *Acceleration*:

```

whenever the airplane taking off below V1
  if there is a critical failures
  then the pilot
    is obliged
    to abort the takeoff;
whenever the airplane taking off above V1
  if there is a critical failures
  then the pilot
    is obliged

```

to continues the takeoff and returns for landing;
whenever the aircraft is still running on the runway
if the aircraft's does not reach the take-off speed up
to the half of the runway length
then the pilot
is prohibited
to still trying the take-off maneuver since its air
speed data is unreliable

From the behavior norms a set of questions was elaborated, those questions expresses aspects related to the perceptual, cognitive, denotative and evaluative norms. For example, the following questions are related the behavior norms previous presented: (1) Are the warnings and alerts visible and audible?, (2) Do you feel comfortable with the instruments data?, (3) Are you always in the flight control?, (4) How you deal with the fuzzy dashboard pattern?, and (5) Cockpit noise and at least two ways radio communication is a stressful activity?

Table 1 presents a synthesis of the pilot's answers to these questions. The rows presents the pilot's numbers as described in the last sections, and the columns the perceptual, cognitive, denotative and evaluative aspects, as well as remarks that they judged important.

Table 1. – Pilot's Answers

Pilot	Pilot's Answers				
	Perceptual	Cognitive	Denotative	Evaluative	Remarks
1	1-Not all the alerts and warnings are visible 2- The radio sound is inaudible	1-We always strictly follow the aircraft's manual and checklist guidelines 2-We just fly blind "computers numbers"	1-Radio sound level is good but the call-sign is not quite understood 2-The figures from the instrument is false due to the parallax reading error	1-The informed instrument data is logged as correct, but sometimes that's not true	The professional pilot recognizes that the utmost embarked technology does not allow a free-error packet
2	The read instrument figures does not match with the real flight data	Heavy payload must be airborne through thrust and flying close to the ground	Not reported	1-The informed instrument data is logged as correct, but sometimes it is not true	The professional pilot reported a lot of false data came from the instruments such as real air speed
3	The read instrument figures does not match with the real flight data	Crosswind requires immediate corrective action at the takeoff maneuver	Two ways radio communication is embarrassing	The read take-off speed from the instrument does not match to the real speed	The pilot must collect the available flight data and decide to go on or not

In general, the results show important aspects to be taken in account during the cockpit evolution. The main limitation of the method concerns the granularity of the findings. For example, the answer “not all the alerts and warnings are visible” (Table 1) does not say too much about “why are they (the alerts) not visible?”. A deeper investigation using HCI methods is needed to answer this question. On the other hand, despite this limitation (granularity), the SCoEM shows its potentialities of providing a systematic and well grounded way to elicit aspects to be evaluated in multiples perspectives, aligned to the expected pilots’ behavior.

5 Conclusion

The Cockpit design demands rigorous and innovative evaluation methods due to it’s critically for flight safety. This paper proposes the SCoEM, a participatory method based on semiotic concepts. Preliminary studies with three pilots with different profiles shows the potentialities of the SCoEM for allowing the aircraft designers and engineers finding out a balanced, ergonomically engineered automated interface allied to the semiotic tool contributing to understand and surpass the stringent flight rules.

The proposed method is a helpful manner to reach those demands and the near future supplementary aligned methods will improve it substantially. As the next steps we propose to the research of how HCI methods, such as ergonomics and cognitive ergonomics methods could be used to provide a fine grained explanation for the elicited problems.

References

1. Gibson, J.J.: The Theory of Affordances. In: Shaw, R., Bransford, J. (eds.) *Perceiving, Acting, and Knowing* (1977).
2. Stamper, R., Social Norms in Requirements Analysis – an outline of MEASUR. In Jirotko, M., Goguen, J. and Bickerton, M. (eds.), *Requirements Engineering, Technical and Social Aspects*, Academic Press, New York (1993).
3. Endsley, M. R. Situation Awareness In Aviation Systems. In D. J. Garland, J. A. Wise, & V. D. Hopkin (Eds.), *Human factors in aviation systems* (pp. 257-276). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum (1998).
4. Hugo, J. The Semiotics of Control Room Situation Awareness, Fourth International Cyberspace Conference on Ergonomics, Virtual Conference, 15 Sep – 15 Oct (2005).
5. Peirce, C.S.: *Collected Papers*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts (1931–1958).
6. Liu, K.: *Semiotics in information systems engineering*. Cambridge University Press, Cambridge (2000).
7. Stamper, R. K. Organisational Semiotics: Informatics without the Computer? In *Information, Organisation and Technology: Studies in Organisational Semiotics*, eds. K. Liu, R. Clarke, P. B. Andersen and R. K. Stamper. Kluwer Academic Publishers (2001).
8. Stamper, R. Signs, “Information and Systems.” In *Signs of Work Semiotics Information Processing in Organisations*, ed. B. Holmqvist, et. al. NY: Walter de Gruyter (1996).

Title of the Book or Conference Name: HCI INTERNATIONAL 2013
Volume Editor(s): HCI INTERNATIONAL 2013
Title of the Contribution: Semiotic Based Method for Evaluating Automated Cockpit Interfaces
Author(s) Name(s): Waldomiro Moreira and Rodrigo Bonacin
Corresponding Author's Name, Address, Affiliation and Email: FACCAMP, Rua Guatemala 167, 13231-230
Campo Limpo Paulista SP Brazil moreirawaldomiro@gmail.com and rodrigo.bonacin@cti.gov.br
.

When the Author is more than one person the expression "Author" as used in this agreement will apply collectively unless otherwise indicated.

§ 1 Rights Granted

The copyright to this Contribution is transferred to Springer-Verlag GmbH Berlin Heidelberg (hereinafter called Springer-Verlag). The copyright transfer covers the sole right to store, reproduce, publish, disseminate, and sell throughout the world the said Contribution and parts thereof, as well as its translations in any foreign languages, in all forms and media of expression – such as in its electronic form (offline, online) – now known or developed in the future.

Springer will take, either in its own name or in that of Author, any necessary steps to protect these rights against infringement by third parties. It will have the copyright notice inserted into all editions of the Contribution according to the provisions of the Universal Copyright Convention (UCC) and dutifully take care of all formalities in this connection, either in its own name or in that of Author.

The parties acknowledge that there may be no basis for claim of copyright in the United States to a Contribution prepared by an officer or employee of the United States government as part of that person's official duties. If the Contribution was performed under U.S. Government contract, but Author is not a U.S. Government employee, Springer grants the U.S. Government royalty-free permission to reproduce all or part of the Contribution and to authorize others to do so for U.S. Government purposes.

§ 2 Rights Retained by Author

Author retains, in addition to uses permitted by law, the right to communicate the content of the Contribution to other scientists, to share the Contribution with them in manuscript form, to perform or present the Contribution or to use the content for non-commercial internal and educational purposes, provided that the Springer publication is mentioned as the original source of publication in any printed or electronic materials. Author retains the right to republish the Contribution in any collection consisting solely of Author's own works without charge but must ensure that the publication by Springer is properly credited and that the relevant copyright notice is repeated verbatim.

Author may self-archive an author-created version of his/her Contribution on his/her own website and/or in his/her institutional repository, as well as on a non-commercial archival repository such as ArXiv/CoRR and HAL, including his/her final version. Author may also deposit this version on his/her funder's or funder's designated repository at the funder's request or as a result of a legal obligation. Author may not use the publisher's PDF version, which is posted on www.springerlink.com, for the purpose of self-archiving or deposit. Furthermore, Author may only post his/her version provided acknowledgement is given to the original source of publication and a link is inserted to the published article on Springer's website. The link should be accompanied by the following text: "The original publication is available at www.springerlink.com". Author retains the right to use his/her Contribution for his/her further scientific career by including the final published paper in his/her dissertation or doctoral thesis provided acknowledgement is given to the original source of publication. Author also retains the right to use, without having to pay a fee and without having to inform the publisher, parts of the Contribution (e.g. illustrations) for inclusion in future work, and to publish a substantially revised version (at least 30% new content) elsewhere, provided that the original Springer Contribution is properly cited.

§ 3 Warranties

Author warrants that the Contribution is original except for such excerpts from copyrighted works (including illustrations, tables, animations and text quotations) as may be included with the permission of the copyright holder thereof, in which case(s) Author is required to obtain written permission to the extent necessary and to indicate the precise source. Springer has the right to permit others to use individual illustrations within the usual limits.

Author warrants that he/she has power to grant the rights in accordance with Clause "Rights Granted", that he/she has not assigned such rights to third parties, that the Contribution has not heretofore been published in whole or in part, contains no libelous statements and does not infringe on any copyright, trademark, patent, statutory rights or proprietary rights of others, including rights obtained through licenses; and that Author will indemnify Springer against any cost, expenses or damages for which Springer may become liable as a result of any breach of this warranty.

§ 4 Delivery of the Work and Publication

Author agrees to deliver to the responsible Volume Editor(s) (for conferences, usually one of the Program Chairs), on a date to be agreed upon, the manuscript created according to the Springer Instructions for Authors. Springer agrees to publish the said Contribution at its own cost and expense. After submission of the Consent to Publish form signed by the Corresponding Author, changes of authorship, or in the order of the authors listed, will not be accepted by Springer.

§ 5 Author's Discount

Author is entitled to purchase for his/her personal use (directly from Springer) books published by Springer at a discount of 33 1/3% off the list price as long as there is a contractual arrangement between Author and Springer. Resale of such copies or of free copies is not permitted.

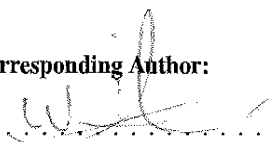
§ 6 Governing Law and Jurisdiction

This agreement shall be governed by, and shall be construed in accordance with, the laws of the Federal Republic of Germany. The courts of Berlin, Germany shall have the exclusive jurisdiction.

Corresponding Author signs for and accepts responsibility for releasing this material on behalf of any and all Co-Authors.

Signature of Corresponding Author:

Date: 02/27/2013



☐ I'm an employee of the US Government and transfer the rights to the extent transferable (Title 17 §105 U.S.C. applies)

31.01.2012
14:00

Apêndice 2- Correspondências de Autorização de utilização de artigo HCII/Springer

From: **HCII2013 Conference Administration** <administration@hcie2013.org>

Date: 2013/12/20

Subject: Re: [Ticket#2013121813000861] Permission to publish HCII 2013 paper

To: Waldomiro Moreira <moreirawaldomiro@gmail.com>

Cc: administration@hcie2013.org

Dear Waldomiro Moreira,

Thank you for your email, which we forwarded to Springer - please find below their response:

This is fine and refers to the following paragraph of the copyright form:

“Author retains the right to use his/her Contribution for his/her further scientific career by including the final published paper in his/her dissertation or doctoral thesis provided acknowledgment is given to the original source of publication. Author also retains the right to use, without having to pay a fee and without having to inform the publisher, parts of the Contribution (e.g. illustrations) for inclusion in future work, and to publish a substantially revised version (at least 30% new content) elsewhere, provided that the original Springer Contribution is properly cited.”

Please do not hesitate to contact us should you need any further information or assistance.

Kindest regards,

Conference Administration, HCI International 2013 Conference

12/18/2013 18:05 - Waldomiro Moreira wrote to HCII2013 Conference Administration

<administration@hcie2013.org> / Springer:

Dear All

I hope you are the right person to handle my request. If not could you kindly indicate to whom should I address my request properly.

I would like to request the permission to include a paper of mine as co-author that has been published in the HCII Las Vegas 2013 Proceedings to be part as an “*addendum*” of my MSc. Dissertation.

The paper will be included completely, without alterations and the full reference of the paper will

be made explicit on the chapter's index.

The Reference of the paper is:

A Semiotic method for evaluating automated cockpit interfaces

Authors: Waldomiro Moreira and Rodrigo Bonacin

- Yamamoto (Ed.): HIMI/HCI 2013, Part II, LNCS 8017, pp. 530–539, 2013. © Springer-Verlag
Berlin Heidelberg 2013 – HCI Las Vegas 2013

Remarks:

Attached the signed Copyright issued 02/27/2013

Thanks In Advance

Waldomiro Sebastião Moreira

MSc Student at Faccamp - São Paulo -Brazil

[55 11 99989-1842](mailto:55.11.99989-1842)

Anexo III: Estudo de Caso de Acidentes Aéreos

Caso 1: O artigo (Cardoso, 2004), intitulado O Estudo Sócio técnico da Interface “Ser Humano Máquina” envolvendo computadores: O Caso de um acidente Aéreo, associado ao Relatório Final - Sistema de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (Cenipa 04 de 3/04/1991 – Boeing 737-200 Matrícula PP-VMK) relativo ao voo que teve seu curso erroneamente inserido no sistema de navegação da aeronave.

Detalhes do voo Varig RG 254. No dia 3 de setembro de 1989, o voo 254 da Varig saindo de São Paulo com destino a Belém do Pará não chega a seu destino. Às 21:06h (GMT-3), o avião teve que fazer um pouso forçado em plena floresta amazônica, ao norte de Mato Grosso, por parada dos reatores em “flame-out”- ausência total de combustível. Foram 13 vítimas fatais e perda total da aeronave.

Fatores Contribuintes:

1- Rumo incorreto ajustado pelo Piloto em Comando (PF) no HSI – “Horizontal Situation Indication” – Inserido numerais na proa 270 graus ao invés de numerais de proa 027 graus posteriormente repetido pelo Primeiro Oficial (PMF), quando retornou da inspeção externa da aeronave.

Foi recebido no plano de voo digitalizado como 0270 graus subentendo-se o ultimo zero como decimal. Esta informação foi confirmada após degravação da caixa preta (Cenipa, 1991).

2- O Piloto em Comando (PF), ao consultar o plano computadorizado, passou por um processo de falha perceptual (falha de percepção) na leitura dos dados. O fato de a atenção estar, no momento da consulta, distribuída a outros estímulos (distribuição da atenção), facilitou a falha na percepção das informações. O Primeiro Oficial (PMF) não seguiu o estrito procedimento da disciplina aeronáutica de autonomia de ações na cabine naquele momento e por ato falho inseriu os mesmos dados do HSI da esquerda por cópia simples. Aeronaves são dotadas de mecanismos redundantes cujo principal propósito é o de reduzir falhas no funcionamento e simultaneamente inferir aos tripulantes as conferências de dados e parâmetros do voo.

3- Da decolagem até o início da descida para o destino pretendido, a tripulação acabou por envolver-se num processo de automatismo, porquanto, em que pese, neste trecho, não estarem recebendo qualquer auxílio de rádio navegação de Belém, acreditaram, por predisposição, estarem no rumo correto. O Plano de voo aprovado era por instrumentos o que não exige da tripulação observação de topografia, posição do Sol etc.

4- Com dificuldades de comunicação em VHF “*Very High Frequency*” com o Centro Belém, efetuaram contato com outra aeronave que, voando para o mesmo destino, informou estar recebendo normalmente os auxílios daquela localidade. Devido à atenção marginal, não despertou aos pilotos a necessidade de uma reavaliação na sua navegação, preferindo aceitar a hipótese de falha nos instrumentos de bordo. E assim prosseguiram o voo por simples manutenção dos parâmetros iniciais de curso (proa), altitude, velocidade etc..

5- Tal a confiança em chegar ao destino, levou o comandante a solicitar autorização para iniciar a descida. A crença de que estava próximo a Belém foi reforçada pela liberação da descida para o nível (FL) 200²⁷.

6- Depois de ultrapassada a vertical do “destino”, apenas evidenciada pelas indicações negativas no PMS “*Performance Management System*”, o Piloto em Comando decidiu retornar, na proa oposta, motivado pela predisposição e reforço da posição “Vertical Belém”. Estava influenciado pelas marcações do PMS, que indicavam já haver ultrapassado em trinta milhas a estação pretendida.

7- Não localizando o destino proposto, o comandante buscou, insistentemente, atingir o objetivo. Sintonizou a frequência de duas emissoras de Belém e, autorizado, desceu para o FL 040. Passou a acompanhar as curvas de um rio (Xingu), perseguindo as marcações do equipamento ADF “*Automatic Direction Finder*”. Estes dois instrumentos do painel estavam sintonizados nas frequências das Rádios Liberal e Guajará que, apesar da recepção auditiva, não forneciam os prefixos, tornando, por conseguinte, não confiáveis suas marcações.

²⁷ Nível de voo é dado por unidade Americana e Britânica de medidas em pés e corresponde a 0,3 metros. No exemplo Nível 200 corresponde a 20.000 Pés ~ 6000 metros de Altitude em relação ao nível médio do mar.

8- O Piloto em Comando concentrou-se em um grupo de estímulos visuais, buscando contato visual com Belém, e mantendo-se na proa indicada pelas emissoras que supunha serem do destino, esqueceu-se de outros estímulos que exigiriam sua atenção, como a necessidade de subir para localizar-se, economizar combustível, etc. Acabou por envolver-se em um processo de fixação de atenção e ansiedade, que o fizeram acreditar e esperar o contato visual com Belém.

9- O Primeiro Oficial, sentindo-se incomodado com a demora da chegada, lembrou-se de que as proas de chegada a Belém correspondiam a uma numeração baixa. Além disso, divisou a constelação do Cruzeiro do Sul, reforçando a concepção de que algo saíra incorreto. Estes estímulos vão provocar uma mudança do foco de atenção, obrigando os pilotos a reverem a navegação e a posição da aeronave. Surpreenderam-se por não portarem régua ou plotador de bordo.

10- Decidiram por consultar a carta de rádio navegação de baixa altitude, e, ao fazerem-no, perceberam o erro da proa adotada na saída de Marabá. Diante da situação, o comandante decidiu subir para o FL 085, a fim de localizar um aeródromo para um pouso alternativo. Eram decorridas 02h10min horas de voo.

11- Com a confirmação da desorientação, um estado de comoção abateu-se sobre o comandante. A certeza de haver rumado corretamente, ter ultrapassado, voltado, procurado mapear-se com o uso do radar, perseguido auxílios de emissoras comerciais, buscado referências visuais, enfim, fizeram crer ao comandante que agira corretamente.

12- A força da estimulação de "achar destino Belém" causou um tipo de bloqueio, no aspecto emocional/perceptual, agravando a multiplicidade de predisposições e perda da atenção, fazendo inclusive a tripulação ignorar o tempo voado em baixa altitude, bastante significativo para o tipo da aeronave.

13- Os pilotos reconheceram a gravidade da situação, todavia, não notificaram ao Centro de Controle, tampouco a Coordenação da empresa, do estado emergencial em que se encontravam. Por duas vezes o CVR “*Cockpit Voice Recorder*” registra diálogos em que a tripulação acreditava ter havido uma pane de bússola. Entretanto, a Comissão não encontrou quaisquer evidências de mau funcionamento da bússola, ou dos equipamentos de rádio navegação.

14- Uma vez cientes da falha cometida, presume-se que o diálogo registrado fora desenvolvido num clima de autodefesa, pautado no receio de repercussões negativas que poderiam ser infligidas à tripulação. Mesmo com dúvidas, surge agora uma segunda e diferente predisposição: atingir Marabá ou Carajás. Os pilotos sintonizaram nos ADF as frequências 370 kHz (Marabá) e 320 kHz (Carajás) e, obtida desta sintonia uma proa geral sul, para lá rumaram.

15- Envolvidos pelo erro de posição geográfica, pois julgaram ter voado próximo a Belém, a proa sul se mostrava viável. Ocorre que os sinais de rádio recebidos não provinham das estações pretendidas, e sim, de Goiânia e Barra do Garças - Mato Grosso. Chegaram a ouvir um indicativo em código Morse e, sob pressão emocional e ansiedade, consideraram-no como sendo o indicativo de Marabá.

16- Predispostos a crerem estarem no rumo de Marabá, os pilotos seguiram as marcações do ADF. A predisposição é salientada ao escutarem os dois únicos indicativos do NDB “*Non Directional Beacon*) de Goiânia. Todos os estímulos são ajustados de forma a corroborar a predisposição de atingir Marabá. A atenção estava fascinada com tal hipótese, de forma que a tripulação manteve-se em voo nivelado, até que, frustrada, verificou que a alternativa seria o pouso forçado. a fascinação da atenção foi observada em pleno processo de ansiedade. A gravação enfatiza: - (...) "que isto não passe de um sonho"...” Que isto não passe de um sonho para todos nós"...

17- Verifica-se então, sob o enfoque psicológico, que o excesso de confiança do comandante na sua navegação, do copiloto no comandante da aeronave, de ambos no plano computadorizado, agravado pelos diversos aspectos psicológicos já mencionados, máxime para aqueles voltados a falha perceptual, fixação de atenção e à predisposição a

acreditar estarem num rumo correto, redundaram na situação emergencial, tornando irreversível o acidente.

Conclusão: Depois do trágico ocorrido o departamento de aviação civil (DAC) recomendou que a Varig modificasse sua notação de plano de voo, de forma a evitar a confusão com o ponto decimal, fato este que desencadeou as causas do acidente.

A Figura 1 apresenta a cabine do Boeing modelo 737-200. No detalhe as interfaces HSI de inserção do curso a ser navegado de acordo com Plano de Voo liberado pelas Autoridades Aeronáuticas pelo Comandante (PF) assim como pelo Primeiro Oficial (PMF).

A figura 2 apresenta o texto digitalizado recebido a bordo do “*staff*”²⁸ técnico da companhia.

A figura 3 mostra instrumento HSI, cujo rumo inserido de 027 graus seria o correto para o plano de voo liberado.

A figura 4 mostra representação esquemática do curso que deveria ser seguido (linha pontilhada) e o respectivo desvio.

Na Figura 5 se observa que destroços da fuselagem ficaram preservadas em detrimento do choque com árvores em alta velocidade por absoluta coincidência do trajeto da aterrissagem.



Figura 1: Cabine de comando Boeing 737-200 Adaptado de Fonte web:

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6e/Cockpit_of_737-300_LN-KKU.jpg

²⁸ Equipe de suporte técnico ou administrativo

```

CHYE-          ETD/. . . . ATD/. . . .
DOV -          ETA/. . . . ATA/. . . .

      VARIG/CRUZEIRO      FLIGHT PLAN

FLT DAY  FROM/TO ALTN EQPT PFX  RES  ALT  HLD  XFUEL  FOD
RG9999/05 MAB/BEL MCP  B-737/VHJ  0.2  1.7  1.0  0.0  2.9

ROUTE  DIS1 CRZ  TIME  U/WT  B/O  FDB  PL  TDW  LGW
MADE1  0241 H74  00:48  . KG   2.4  5.3  5.0  40.1  37.7
00000

UIR

TO  NM  MC  FL  W/C  TAS  G/S  ZT  ACTIME  ETD/ATO  BD  ACBD  ADD
MAB                                     ...../.....

TOC  053 0270 CL  13 00:13 ...../.....  1.0  1.0  ..
TOD  103 0270 25 M002 455 453 13 00:26 ...../.....  0.6  1.6  ..
54DME BEL117.3
ATOR  031 0270 DC  08 00:34 ...../.....
117.3 BEL 250
BEL  054 0270 DC  14 00:48 ...../.....  0.8  2.4  ..

ALT MCP TIME 00:37 BURN  1.7 FL 18 DIST 0170 WIND P013
AVERAGE COMP. M002

OTHER INFORMATION ABOUT ALTERNATES
ALT MAB TIME 00:46 BURN  2.1 FL 22 DIST 0241 WIND P004
ALT SLZ TIME 00:51 BURN  2.2 FL 25 DIST 0265 WIND M003
ALT SYM TIME 01:00 BURN  2.8 FL 26 DIST 0385 WIND P007
COMPUTED AT 08:22L  05/09/89

```

Figura 2: Dados computadorizados do Plano de Voo RG-254. Fonte (Sant'ana, I., Caixa Preta Editora Objetiva pag. 275, 2000)



Figura 3: Rumo correto de 027 graus do plano de voo liberado.

Fonte eeb: [http://3.bp.blogspot.com/-05X5j-](http://3.bp.blogspot.com/-05X5j-T2vUA/T5b89Cs5gKI/AAAAAAAAAHxU/cJlmc2SHMR4/s1600/b.jpg)

[T2vUA/T5b89Cs5gKI/AAAAAAAAAHxU/cJlmc2SHMR4/s1600/b.jpg](http://3.bp.blogspot.com/-05X5j-T2vUA/T5b89Cs5gKI/AAAAAAAAAHxU/cJlmc2SHMR4/s1600/b.jpg)

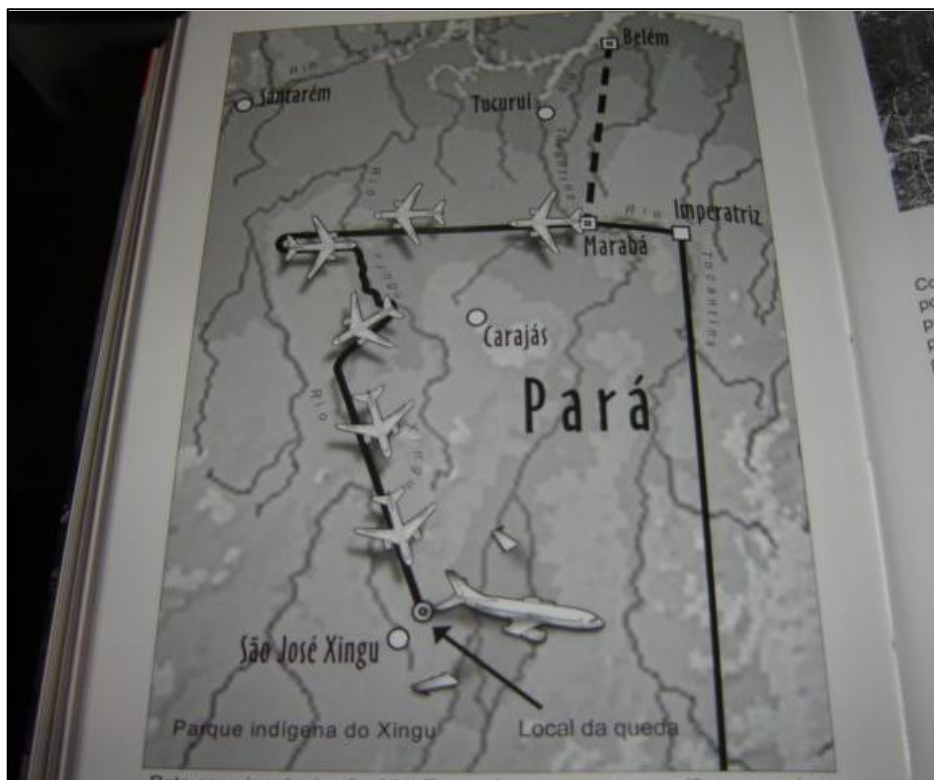


Figura 4: Curso correto (linha pontilhada) e desvio. Fonte web:
<http://photos1.blogger.com/blogger/5657/3931/1600/DSC04288.jpg>



Figura 5: Destroços da Fuselagem. Fonte web:
http://www.voo254eusobrevivi.com.br/imagens/main_image1.jpg

Caso 2: CENIPA Relatório Final A/67/2009, (2009) Acidente TAM JJ3054 17/7/2007.

Detalhes do Voo: A aeronave Airbus A320 da TAM, prefixo PR-MBK voo 3054, saiu do Aeroporto Internacional Salgado Filho em Porto Alegre em 17 de Julho de 2007 às 17h16 com destino ao Aeroporto Internacional de Congonhas em São Paulo. Já era noite quando a aeronave pousou na pista 35L, às 18h51. Com dificuldades na frenagem, fez uma curva para esquerda e saiu da pista em seu terço final, percorrendo por sobre parte de um gramado. Após cruzar sobrevoando a Avenida Washington Luís, que ladeia o aeroporto, a aeronave atingiu parte da cobertura de um posto de gasolina e em seguida chocou-se contra um prédio da TAM Express (serviço de carga da própria TAM), situados no lado oposto da avenida. Ao cruzar a Avenida Washington Luís, o avião atingiu ainda a parte superior de alguns automóveis. A aeronave estava com um dos freios reversos de turbina inoperantes (pinado) o que provocou assimetria no pouso. Total de 181 passageiros, 6 tripulantes e 12 pessoas no solo mortos.

Observação: Como o único indicativo de que os pilotos deixaram os manetes fora da posição recomendada - um na posição de aceleração e o outro em frenagem - veio da caixa-preta, o Cenipa resolveu estudar as duas hipóteses mais prováveis: falha no sistema de controle de potência do jato, que teria transmitido ao motor informação diferente da que indicava o manete, ou um erro dos pilotos. A segunda hipótese, diz o Cenipa, é a mais provável "uma vez que é elevada a improbabilidade estatística de falha no sistema de acionamento" dos manetes. (CENIPA Relatório Final A/67/2009, (2009).

Fatores Contribuintes:

1. Falha em aviso sonoro: As simulações revelaram um dado preocupante: nem sempre o aviso sonoro "retard", que tem a função de advertir os pilotos sobre os procedimentos a serem adotados no momento do pouso, operou conforme o pre-

visto. "Ficou constatado que, na aeronave A320, é possível, durante o pouso, posicionar um dos manetes de potência na posição reverso (frenagem) e outro na posição de subida (aceleração), sem que nenhum dispositivo alerte de modo eficiente os pilotos". Tal situação pode colocar a aeronave em condição crítica e, dependendo do tempo necessário para que a tripulação identifique essa configuração e dos parâmetros da pista de pouso, uma situação catastrófica poderá ocorrer.

2. Aeroporto Irregular: A investigação da Aeronáutica encontrou diversas irregularidades em Congonhas na época do acidente.

2.1 O aeroporto não era certificado nos termos do Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica 139, que baliza o funcionamento de todos os aeroportos do País.

2.2 As obras no terminal de passageiros e no pátio de estacionamento, concluídas em 2007, não foram homologadas.

2.3 Não foi realizada inspeção aeroportuária especial durante nenhuma das obras realizadas em Congonhas e concluídas em 2007.

2.4 Não foi realizada inspeção aeroportuária especial pós-acidente.

2.5 Até a data do acidente, o aeroporto não dispunha de aérea de escape.

3. Treinamento Falho O relatório aponta falhas no treinamento e instrução fornecidos pela TAM. Segundo o Cenipa, a formação teórica dos pilotos usava apenas cursos interativos em computador, "o que permitia a formação massiva, mas não garantia a qualidade da instrução recebida". Além disso, a formação do Primeiro Oficial, contemplou apenas um tipo de certificação, o que se mostrou insuficiente para enfrentar aquela situação. Por fim, havia a percepção, entre os tripulantes, de que o treinamento vinha sendo abreviado, por causa da grande demanda advinda do crescimento da empresa.

4. Sequencia de anormalidades:

4.1 Instrução: A formação teórica dos pilotos usava exclusivamente simulações em computador, o que não garantia a boa formação individual de cada um. Além disso, a formação do primeiro oficial contemplou apenas um determinado tipo de certificação, que se mostrou insuficiente para enfrentar a situação. Havia a percepção entre os tripulantes, aliás, que o treinamento vinha sendo abreviado.

- 4.2 Coordenação de cabine: O monitoramento do voo não se mostrou adequado, uma vez que a tripulação não percebia o que acontecia, o que impediu correções.
- 4.3 Pouca experiência do Piloto em comando: Apesar de sua larga experiência em grandes jatos comerciais, o mesmo tinha apenas 200 horas de voo em jatos A320.
- 4.4 Supervisão gerencial: A companhia aérea permitiu que a tripulação fosse composta por dois comandantes, mas o Primeiro Oficial havia realizado só um treinamento específico. A falta de coordenação entre os setores da empresa - especialmente Operações e Treinamento - levou a falhas na formação dos pilotos
- 4.5 Falta de percepção: A configuração e o funcionamento dos manetes não ajudaram os pilotos na identificação de dificuldades. E essa situação foi agravada pela falta de um alarme para indicar o erro na posição do instrumento.
- 4.6 Perda de consciência situacional: Surgiu como consequência da falta de percepção dos pilotos. A automação da aeronave também não ofereceu aos tripulantes sinais de perigo.
- 4.7 Projeto: Ficou constatado que é possível pousar com os manetes do A320 em posições distintas, sem que nenhum dispositivo alerte os pilotos.
- 4.8 Regulação: Embora a Anac proibisse a operação com reverso (freio aerodinâmico) inoperante, a exigência só foi normatizada em 2008. Isso impediria o pouso com pista molhada.

Conclusão: A elevada automação do modelo de aeronave implicou em restrição de autonomia dos tripulantes técnicos. O sistema computacional embarcado entendeu aceleração uma vez que a manete não estava em “*idle*”. Uma vez que o freio reversor estava inativo a manete deveria também estar inativa. A partir do ocorrido todos modelos semelhantes de aeronaves foram adaptados com alarmes sonoros e a pista de Congonhas foi declarada como não operacional para aeronaves sem freios reversos mesmo que parcialmente o que foi este caso. Na Figura 6 manetes de potencia e representação esquemática dos atuadores. Na Figura 7 representação esquemática do desvio do eixo da pista o que reforça a perda de simetria da aeronave.

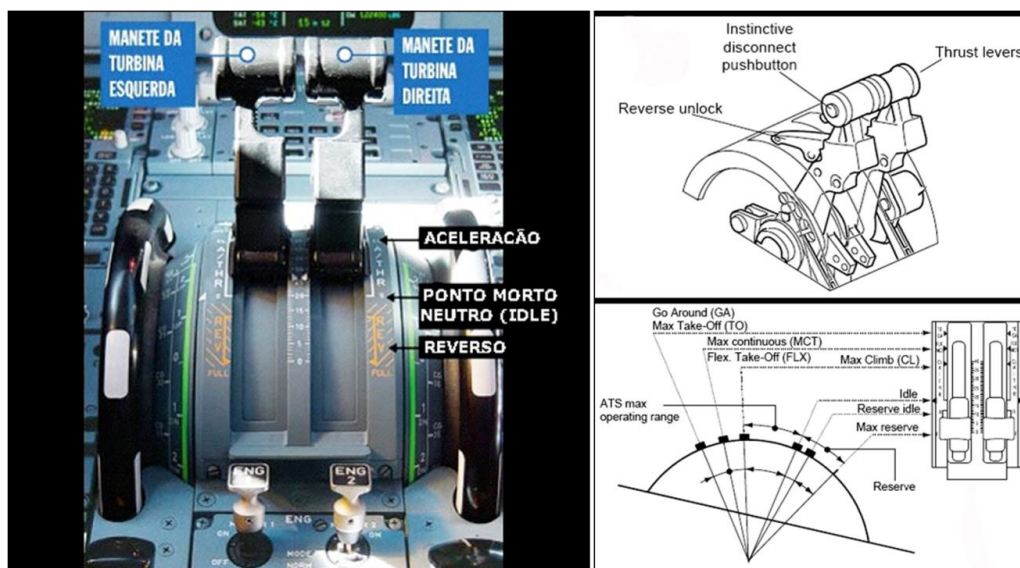


Figura 6: Manetes de potência, a direita representação esquemática das posições dos atuadores. Fonte web: http://veja.abril.com.br/blog/paris/20070803_dia.shtml



Figura 7: Representação esquemática (vista superior) do desvio da aeronave em relação a pista de pouso. Fonte web: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6b/Voo_TAM_3054_-_Trajetoria.png

Caso 3: Relatório final emitido pelo BEA (*Bureau d'Enquêtes et d'Analyses pour la sécurité de l'aviation civile*) . Escritório Francês de Investigações e Análises para a Segurança da Aviação Civil

Detalhes do voo A447 decolado do Rio de Janeiro com destino a Paris com 228 ocupantes e posterior queda da moderna aeronave A330-203 da Air France ocorrida em primeiro de Julho de 2009 foi minuciosamente detalhada e relatada por autoridades aeronáuticas do Brasil e França. Total de passageiros 216 e 12 tripulantes mortos.

Nos meses seguintes ao acidente, um processo intensivo de busca das "caixas pretas" deu-se a mais de 3.000 metros de profundidades. Somente quando os gravadores de voz e dados foram encontrados, em abril de 2011, é que a sequência de fatos começaram a ser elucidados.

A divulgação de parte do conteúdo foi feita no mês seguinte pela BEA - *Bureau d'Enquêtes et d'Analyses* - o órgão do governo francês que investiga e promove a segurança no transporte aéreo daquele país.

O que causou esta tragédia aérea é uma sequência de ocorrências, descuidos, desorientação situacional e espacial.

Conforme dados do minucioso relatório, o A330 penetrou em um forte sistema climático, uma tempestade tropical de grande força na região equatorial. Os tubos de pitot congelaram, o piloto automático desligou-se, os computadores de bordo perderam a capacidade de controlar a aeronave e, ao mesmo tempo, fornecer dados confiáveis aos pilotos.

Na noite de 31 de maio de 2009, o voo AF 447 deixou o aeroporto Tom Jobim com destino a Paris às 19h29. A aeronave era um Airbus A330-200, matrícula F-GZCP. Tinha 18.870 horas totais e 2.644 voos (ciclos). A bordo iam 228 ocupantes, sendo 12 deles tripulantes, sendo 3 deles tripulantes técnicos composto pelo Comandante Master²⁹ e 2 Primeiro Oficiais, aqui denominados PF como pilotos em comando e PMF como piloto de monitoração do voo.

²⁹ Comandante Máster: Tripulante técnico responsável pelo voo e com comprovada experiência em rotas internacionais de longo alcance.

A primeira parte do voo transcorreu em absoluta normalidade. Pesava ao partir 232.800 kg, no limite de seu peso máximo de decolagem (MTOW de 233.000 kg). O peso de todos os ocupantes soma dos era de 17.615 kg, sendo 126 homens, 82 mulheres, sete crianças e um bebê. No peso total, 70.400 kg eram combustível, assim calculado: 63.900kg para a viagem, 1.460 para desvios em rota, 2.200kg de reserva final, 1.900kg para alternar na chegada ao destino e 940 kg de combustível adicional.

A 1h36, o voo penetra na zona da tempestade tropical. Contrariamente à todos os aviões atravessando aquela zona, os pilotos do AF 447 não solicitaram desvio na rota, optando por atravessar diretamente a zona de turbulência. Voando a 35.000 pés, o Airbus entra em meio às nuvens formadas na tempestade, e começa a sacudir. A 1h51, o cockpit começa a ser iluminado por luzes que se propagam nas janelas frontais como descargas elétricas.

Conforme relatado no gravador de voz da cabine (CVR – *Cockpit Voice Recorder*), o Comandante Máster, um veterano de 58 anos, com 10.988 horas de voo, sendo 1.747 como comandante do A330, lhe explica que aquilo é apenas uma aparição do famoso fogo de Santelmo, fenômeno relativamente frequente ao se penetrar em nuvens com aquelas características. O fenômeno nada mais é do que uma descarga eletroluminescente provocada pela ionização do ar num forte campo elétrico provocado pelas descargas elétricas, condição existente nas nuvens carregadas que o AF 447 atravessava naquele instante. Mesmo sendo chamado de fogo, é na realidade a matéria em estado físico de plasma provocado por uma enorme diferença de potencial elétrico na atmosférica o que confirma condições deterioradas da meteorologia reinante na fase do voo.

Às 2 horas da manhã o Primeiro Oficial, retorna à cabine de comando na função PMF depois de descansar por quase toda a primeira parte do voo. Com 37 anos de idade, e com 6.547 horas totais e 4.479 no A330 é bem mais experiente que o segundo Primeiro Oficial que ocupava o assento da direita na cabine de comando neste momento na função de PF.

São 2h02 quando o Comandante Máster se retira para descansar em um dos dois leitos destinados a esta função posicionados imediatamente atrás da cabine de comando. Isto ocorre de forma regulamentar em voos longos como este, sem ferir quaisquer regras internacionais de navegação.

Relatos a seguir foram sequencialmente transcritos a partir dos dados obtidos do CVR³⁰

-02h03:44 (Primeiro Oficial PF) Bom, está aí a convergência inter-tropical. Entramos nela, está aqui, entre 'SALPU' e 'TASIL.' Sim, estamos bem no meio dela. (Nota: 'SALPU' e 'TASIL' são "waypoints", pontos fixos georeferenciados imaginários criados para auxiliar na navegação.

-02h05:55 (Primeiro Oficial PMF) Ok, vamos chamar o pessoal lá atrás, é bom e-les saberem.

-02h06:04 (Primeiro Oficial PF) Por interfone do cockpit para cabine de passageiros: Comissária de voo (FA), é o PMF aqui da frente... Em mais 2 minutos, vamos entrar em uma área que vai dar uma sacudida aí, mais forte. É bom você saber e cuidar aí da cabine.

-02h06:13 (FA) Ok, precisaremos nos sentar?

-02h:06:15 (Primeiro Oficial PF) Não seria má ideia. Avise os colegas aí de trás.

02h06:18 (FA) Ok, vou avisar. Muito obrigado!

02h06:19 (Primeiro Oficial PF) Eu aviso assim que melhorar.

02h06:20 (FA) Ok.

Os dois primeiro oficiais discutem a temperatura externa, mais quente do que o previsto, e que não permitiu a eles que subissem para uma altitude maior.

-02h06:50 (Primeiro Oficial PF) Ok, vamos ligar o sistema antigelo. É melhor do que nada.

-02h07:00 (Primeiro Oficial PF) Parece que estamos no limite das nuvens, acho que estará tudo certo.

Enquanto isto, o Primeiro Oficial PMF examina as condições meteorológicas em seu radar e descobre que o mesmo não estava configurado para a correta detecção do sistema climático que haviam penetrado e percebe que o Airbus A330 logo entraria em uma zona de intensa atividade climática e, percebendo que um desvio seria recomendável, decide avisar seu colega, que é quem esta pilotando o jato.

³⁰ CVR Cockpit Voice Recorder - Versão livre do texto por Waldomiro Moreira

-02h08:03 (Primeiro Oficial PMF) Melhor curvar um pouco à esquerda.

-02h08:05 (Primeiro Oficial PF) Perdão, o que foi?

-02h08:07 (Primeiro Oficial PMF) Melhor curvar um pouco à esquerda. Estamos de acordo que estamos no manual (Piloto automático estava desacoplado), não?

Primeiro Oficial PF inicia a curva à esquerda. Primeiro Oficial PF avisa que vai reduzir a velocidade e pergunta ao PF se precisa ligar o sistema antigelo dos propulsores. Neste momento, um alarme soa na cabine por 2.2 segundos, indicando a desativação do piloto automático. Os três tubos de pitot, entupidos com cristais de gelo, já não fornecem dados básicos como velocidade para os computadores que até então controlavam o voo do Airbus. Os pilotos teriam que voar o avião manualmente.

-02h10:06 (Primeiro Oficial PF) Tenho os controles.

-02h10:07 (Primeiro Oficial PMF) Okay.

Os vários acontecimentos nos últimos minutos parecem surtir um efeito na capacidade de julgamento de Primeiro Oficial PF. O gelo, a descoberta do sistema de tempestade bem à frente, o fogo de Santelmo, a troca de comando... Primeiro Oficial PF começa a reagir de forma irracional. Ele puxa manche “*side stick*” para si e o Airbus começa a subir abruptamente, a despeito do piloto saber que, devido ao peso da aeronave naquele instante e à temperatura externa mais elevada, o jato não poderia subir de forma segura e sustentável.

O computador do jato reage a este comando inesperado e abrupto e imediatamente soa na cabine o alarme de estol “*stall warning*”. Este alarme voltaria a soar 74 vezes nos minutos seguintes. Primeiro Oficial PMF, puxando para trás o manche “*side stick*”, está efetivamente fazendo aquilo que não se deve fazer quando uma aeronave encontra-se em estol ou no limiar de um estol: puxar o nariz para cima. Surpreso, seu colega pergunta:

-02h10:07 (Primeiro Oficial PMF) O que é isto?

-02h10:15 (Primeiro Oficial PF) Não há uma boa... Não há uma boa indicação de velocidade.

-02h10:16 (Primeiro Oficial PMF) Nós perdemos a... A... As velocidades, então?

A aeronave está agora subindo a nada menos que 7.000 pés por minuto. E, ainda que ganhe altitude, ela vai perdendo velocidade até chegar a meros 93 nós. Primeiro Oficial PMF percebe o erro do Primeiro Oficial PF e trata de avisá-lo.

-02h10:27 (Primeiro Oficial PMF) Preste atenção à velocidade! Preste atenção à velocidade!

-02h10:28 (Primeiro Oficial PF) OK, OK, vou descer!

-02h10:30 (Primeiro Oficial PMF) Estabilize...

-02h10:31 (Primeiro Oficial PF) Ok!

-02h10:31 (Primeiro Oficial PMF) Desça, desça... Tá indicando que ainda estamos subindo, então desça!

-02h10:35 (Primeiro Oficial PF) Certo!

Com o sistema antigelo atuando, o aquecimento derrete o gelo e um dos tubos de pitot volta a funcionar. Os displays na cabine de comando voltam a fornecer informações corretas de velocidade.

-02h10:36 (Primeiro Oficial PMF) Desça!

-02h10:37 (Primeiro Oficial PF) Sim, aí vamos, estamos descendo.

-02h10:38 (Primeiro Oficial PMF) Calma, vai devagar!

Primeiro Oficial PF reduz a pressão no manche “*side stick*”, reduzindo o ângulo de subida - mas, ainda assim, subindo. A velocidade é recuperada e sobe para 223 nós. O alarme de “*stall warning*” se cala. Por um momento, os pilotos parecem ter recobrado o controle da situação.

-02h10:41(Primeiro Oficial PF) Nós estamos, é, nós ainda estamos em movimento ascendente “*climb*”.

De fato, Primeiro Oficial PF ainda não abaixou ou, ao menos, nivelou o nariz do avião. Primeiro Oficial PMF resolve chamar à cabine de comando o Comandante Máster.

-02h10:49 (Primeiro Oficial PMF) Maldição, onde está ele?

Neste ponto, o Airbus já subiu mais de 2.500 pés acima de sua altitude quando a situação saiu da rotina. Por razões desconhecidas, Primeiro Oficial PF volta a puxar o manche para si, aumentando o ângulo de subida e colocando a aeronave novamente em condição de estol. Soa novamente o alarme de estol na cabine de comando.

O fato é que, desde o momento em que os tubos de pitot se congelaram, os computadores do Airbus saíram de seu regime normal de atuação ("*normal law*" para o regime "*alternate law*,") um programa de computador que permite maior atuação dos pilotos e que inibe os sistemas de proteção ao voo encontrados no regime "*normal law*". Neste regime, os computadores de jatos Airbus "assumem" a pilotagem e, na prática, impedem o avião de entrar em estol. Já, quando o sistema está no regime "*alternate law*", a realidade é que os pilotos podem, eventualmente, estolar a aeronave.

É provável que Primeiro Oficial PF não soubesse disto e, portanto, nunca tivesse voado no regime "*alternate law*". Portanto, pode-se inferir que ele desconhecesse as características de pilotagem em situações como esta. Pode ser que Primeiro Oficial PF tenha assumido que a aeronave simplesmente não poderia estolar, pois isto é ensinado a todo piloto de Airbus: o sistema de voo protegerá o avião de um estol. O que talvez Primeiro Oficial PF não soubesse eram as diferenças de atuação dos computadores nos regimes "*normal law*" e "*alternate law*".

-02h10:55 (Primeiro Oficial PMF) Maldição!

O segundo tubo de pitot volta a funcionar normalmente. Os aviônicos agora trabalham sem restrições. Os pilotos dispõem de todas as informações necessárias para voar seguramente. Daqui para a frente, o fator contribuinte para esta tragédia passa a ser um só: erro humano.

-02h11:03 (Primeiro Oficial PF) Estou em TOGA, hem?

TOGA é o acrônimo para "Take Off, Go Around", ou seja, máxima potência dos motores. Primeiro Oficial PMF, ao afirmar isto, dá a clara indicação que está tentando aumentar a potência e ganhar altitude, ou seja, deter a queda. O problema é que ele voa neste momento a 37.500 pés, com o ar rarefeito e sustentação muito menor. Os motores produzem menor potência nesta altitude e assim, menor sustentação. Levantar o nariz, a esta altitude, ao invés de fazer o avião ganhar altitude, produzirá o efeito contrário se a aeronave estolar.

Ainda que a reação do Primeiro Oficial PF pareça irracional, ela se coaduna com o cenário de um indivíduo vivenciando um estresse severo. Em condições assim, as partes do cérebro que comandam a criatividade são desligadas; o indivíduo detém-se naquilo que já vivenciou e aprendeu em seu treinamento.

Ainda que os pilotos sejam capacitados a voar manualmente suas aeronaves, o padrão é que isto seja feito a baixa altitude. Não é de surpreender, portanto, que, em meio à tempestade, sem referência visuais externas, Primeiro Oficial PF tenha tentado voar o Airbus como se estivesse próximo ao solo, aplicando potência máxima e puxando mais uma vez o nariz para cima. Enquanto isto, Primeiro Oficial PMF tenta chamar pelo interfone o Comandante Máster de volta à cabine de comando.

-02h11:06 (Primeiro Oficial PMF) Diabos, ele vem ou não vem?

O Airbus agora atinge sua máxima altitude. Motores a plena potência, nariz em ângulo de ataque de 18 graus acima do horizonte (o mesmo ângulo empregado em uma decolagem normal), o enorme jato voa por alguns segundos na horizontal e então começa sua vertiginosa queda. Alarmado, Primeiro Oficial PMF reage quando o jato inicia a queda.

-02h11:21 (Primeiro Oficial PMF) Ainda temos potência! O que acontece? Não entendo o que está acontecendo!

Diferentemente de um jato da Boeing, os manches tipo “*side sticks*” dos jatos da Airbus podem ser movidos de forma independente. “Se um piloto no lado direito está puxando, o piloto no lado esquerdo não sente isto em seu *joystick*”. Desta maneira, Primeiro Oficial PMF simplesmente não tem ideia de que, a despeito de suas ordens e das conversas trocadas, Primeiro Oficial PF permaneceu praticamente todo o tempo puxando para si o seu “*side stick*”.

Os dois Primeiros Oficiais estão perdendo a batalha contra a pilotagem do jato por não aderirem aos preceitos básicos de algo que é ensinado a todo piloto; o conceito de CRM, ou “*Crew Resource Management*” - gerenciamento de recursos dos tripulantes técnicos.

Essencialmente, eles não estão conseguindo cooperar entre si. Não está claro quem comanda e quem é comandado, quem executa e quem dirige as ordens. Isto pode

ocorrer quando há dois profissionais de mesma hierarquia na cabine de comando, ou seja dois comandantes ou dois Primeiro Oficiais.

Enquanto isto, Primeiro Oficial PF segue puxando totalmente para si o manche “*side stick*” com o nariz elevado, o Airbus despenca em meio às nuvens, trepidando fortemente em função da turbulência externa e do estol em que se encontra.

Na cabine de passageiros, a sensação deve ter sido extremamente desagradável. A queda do avião faz com que os ocupantes tenham a desconfortável sensação de leveza provocada pela queda com ausência de força gravitacional “g” e tudo que não estiver solidamente preso flutua na cabine.

O ruído dos motores ao máximo e a trepidação excessiva foram sentidos e certamente foram suficientes para acordar e amedrontar todos os ocupantes. A velocidade vertical aumenta na medida que o Airbus despenca. Se Primeiro Oficial PF tivesse largado os controles ou passado o comando a Primeiro Oficial PMF, o Airbus teria seu nariz abaixado e a situação ainda poderia ser revertida. Primeiro Oficial PF entra em pânico.

-02h11:32 (Primeiro Oficial PF) maldição! Perdi o controle totalmente! Perdi o controle totalmente!

-02h11:37 (Primeiro Oficial PMF) Comandos à esquerda!

Finalmente, Primeiro Oficial PMF, o mais sênior dos pilotos na cabine assume a pilotagem. Infelizmente, a impressão que se tem é que ele também não compreende que o Airbus está de fato estolando, e instintivamente puxa para si o seu manche “*side stick*”.

Ainda que o nariz esteja apontado para cima, o Airbus despenca a um ângulo de 40 graus em relação ao horizonte. O barulho ensurdecedor do alarme de estol “*stall warning*” continua a soar. Primeiro Oficial PF, depois de uma breve pausa, volta a puxar o manche “*side stick*” para si. Neste momento, transcorridos apenas 91 segundos do início da crise, o Comandante Máster retorna à cabine, perplexo.

-02h11:43 (Comandante Máster) Eeee! Que diabos vocês estão fazendo?

-02h11:45 (Primeiro Oficial PF) Nós perdemos o controle do avião!

-02h11:47 (Primeiro Oficial PMF) Nós perdemos totalmente o controle do avião!
Não entendo

nada o que está acontecendo! Tentamos de tudo!

-02h11:52 - (Comandante Máster) Então peguem os comandos logo!

Neste momento, o Airbus passa pela marca de 35.000 pés com apenas 100 nós de velocidade horizontal, nariz para cima em 15 graus e descendo a mais de 10.000 pés por minuto, em ângulo de 41.5 graus - uma atitude que seria mantida, com pequenas variações, até o impacto com o oceano.

E ainda que os tubos de pitot estejam agora perfeitamente funcionais, a velocidade horizontal é tão baixa - agora abaixo de 60 nós - que as indicações de ângulo de ataque são consideradas inválidas. O alarme de estol silencia-se, contribuindo para a impressão dos pilotos que, de fato, os computadores do avião estão fornecendo indicações espúrias e, que, portanto, o avião não estaria mesmo estiolando - quando de fato está. E como.

O Comandante Máster opta por ficar na poltrona central, de observador. Ele não tenta ocupar sua poltrona na esquerda, talvez pela dificuldade de se locomover enquanto o jato despenca rumo ao mar. Não lhe ocorre perguntar quem está comandando o voo. Comandante Máster tenta apenas compreender o que teria levado o Airbus a se comportar assim, sem questionar ou ordenar o básico: que um dos pilotos efetivamente "voe" o avião.

-02h12:14 (Primeiro Oficial PMF) O que você acha? O que você acha? O que devemos fazer?

-02h12:15 (Comandante Máster) Bem, eu não sei! Está descendo!

Volta a soar o alarme de estol, mas nenhum dos pilotos comenta sobre isto. Eles passam a discutir qual seria a origem da perda de controle.

Comandante Máster ordena a Primeiro Oficial PF que mantenha as asas niveladas. E os três passam a discutir abertamente se o avião estaria de fato caindo ou subindo, ainda que os instrumentos mostrasse isto claramente.

Ao se aproximar da altitude de 10.000 pés, Primeiro Oficial PMF tenta retomar o comando e empurra o seu "*side stick*" para a frente, tentando abaixar o nariz do jato. Mas, como Primeiro Oficial PF permanece puxando para si o manche "*side stick*" no lado direito, o avião entra na situação de "comando duplo" "*dual input*". O sistema de computadores obedece os comandos de Primeiro Oficial PF, mantendo o nariz elevado e o Airbus em queda livre.

-02h12:26 (Primeiro Oficial PMF) A velocidade?

-02h12:27 (Primeiro Oficial PMF) Você está subindo. Você está caindo, caindo, caindo!

-02h12:30 (Primeiro Oficial PF) Mas eu estou caindo?

-02h12:42 (Primeiro Oficial PF) Quanto subimos?

-02h12:44 (Comandante Máster) Não é possível!

-02h12:45 (Primeiro Oficial PMF) Como está a altitude?

-02h12:52 (Primeiro Oficial PF) Estamos caindo ou não?

-02h13:01 (Primeiro Oficial PMF) Agora você está caindo!

-02h13:04 (Comandante Máster) Coloque as asas na horizontal!

02h13:07 (Primeiro Oficial PF) É o que estou tentando fazer!

-02h13:09 (Comandante Máster) Coloque as asas na horizontal!

-02h13:25 (Primeiro Oficial PF) O que está havendo... Por que nós continuamos caindo?

-02h13:32 (Primeiro Oficial PF) Vamos passar pela marca de 10 mil pés!

-02h13:36 (Primeiro Oficial PF) Nove mil pés!

-02h13:40 (Primeiro Oficial PMF) Suba! Suba! Suba! Suba!

02h13:40 (Primeiro Oficial PF) Mas eu estou com o side stick puxado o tempo todo!

Finalmente, Primeiro Oficial PF conta aos colegas o fator crucial que selaria a sorte de todos a bordo. Neste momento, intervêm a experiência do Comandante Máster.

-02h13:42 (Comandante Máster) Não, não, não... Não suba! Não, não!

-02h13:43 (Primeiro Oficial PMF) Então desça! Me passe os controles! Me passe os controles!

Primeiro Oficial PF finalmente cede os controles e Primeiro Oficial PMF finalmente abaixa o nariz da aeronave. O jato começa a ganhar velocidade horizontal, mas ainda mergulha rumo ao mar à razão de 10.000 pés por minuto. Ao chegar a apenas 2.000 pés sobre a superfície do oceano, um novo alarme soa na cabine: é o GPWS, *Ground*

Proximity Warning System, que indica que o Airbus aproxima-se perigosamente do oceano.

Não há mais chance de recuperação para o voo 447. Por incrível que possa parecer, o Primeiro Oficial PMF mais uma vez agarra seu “*side stick*” e mais uma vez o puxa completamente para si, colocando novamente o Airbus na situação de “comando duplo” (dual input).

-02h14:05 (Comandante Máster) Atenção, você está subindo!

-02h14:07 (Primeiro Oficial PMF) Estou subindo?

-02h14:07 (Primeiro Oficial PF) É o que nós devemos fazer, estamos a 4 mil pés!

-02h14:18 (Comandante Máster) Então puxe!

-02h14:21 (Primeiro Oficial PF) Puxa, puxa, puxa, puxa!

-02h14:23 (Primeiro Oficial PMF) Maldição, nós vamos cair! Não posso acreditar nisso!

-02h14:25 (Primeiro Oficial PF) O que está acontecendo?

-02h14:27 (Comandante Máster) Dez graus de elevação!

Exatamente 1.4 segundos depois, o CVR “*cockpit voice recorder*” para de funcionar. Os ocupantes do voo 447 têm morte instantânea quando o enorme A330 colide violentamente contra o Oceano Atlântico.

No momento do impacto, a razão de descida era de 10,912 pés por minuto; a velocidade horizontal era de apenas 107 nós, a atitude era de 16.2 graus “*nose-up*”, - nariz para cima, a asa esquerda estava 5.3 graus abaixo da linha do horizonte e a proa era de 270 graus.

Conclusão:

Depois de transcritas a caixa preta e analisado o FDR – “*Flight Data Recorder*”, de posse dos primeiros dados enviados ainda naquela noite, a aviação mundial nunca mais seria a mesma.

Muitas lições foram dolorosamente aprendidas com a tragédia do Air France 447, pilotos comerciais em todo o mundo deverão agir de forma diferente quando con-

frontados com um alarme de estol em alta altitude. Companhias aéreas estão adequando e modificando seus treinamentos, incluindo alguns dos ensinamentos aprendidos neste caso.

Entre os quais, é bom destacar: atenção total às condições climáticas e ao uso do radar; melhoria nos procedimentos de CRM, sobretudo quando houver apenas dois Primeiro Oficiais na cabine de comando; maior compreensão e disseminação do que ocorre quando um jato da Airbus passa a ser operado em regime de *alternate law*; praticar as técnicas de pilotagem manual em voo de cruzeiro.

Este acidente também evidencia uma tendência crescente: a “confiança” dos tripulantes técnicos na capacidade “infalível” de suas máquinas, cada vez mais automatizadas.

Ainda que centenas de acidentes tenham de fato sido evitados, nos últimos anos, pela incrível capacidade de automação dos aviões comerciais, é preciso lembrar que o último e preponderante elemento na cadeia de segurança é o homem.

A Figura 4 representa a direita acima a rota originalmente planejada e abaixo o desvio do curso. A direita detalhes da caixa preta recuperada do fundo do oceano atlântico o que permitiu esclarecimento das causas e fatores contribuintes.

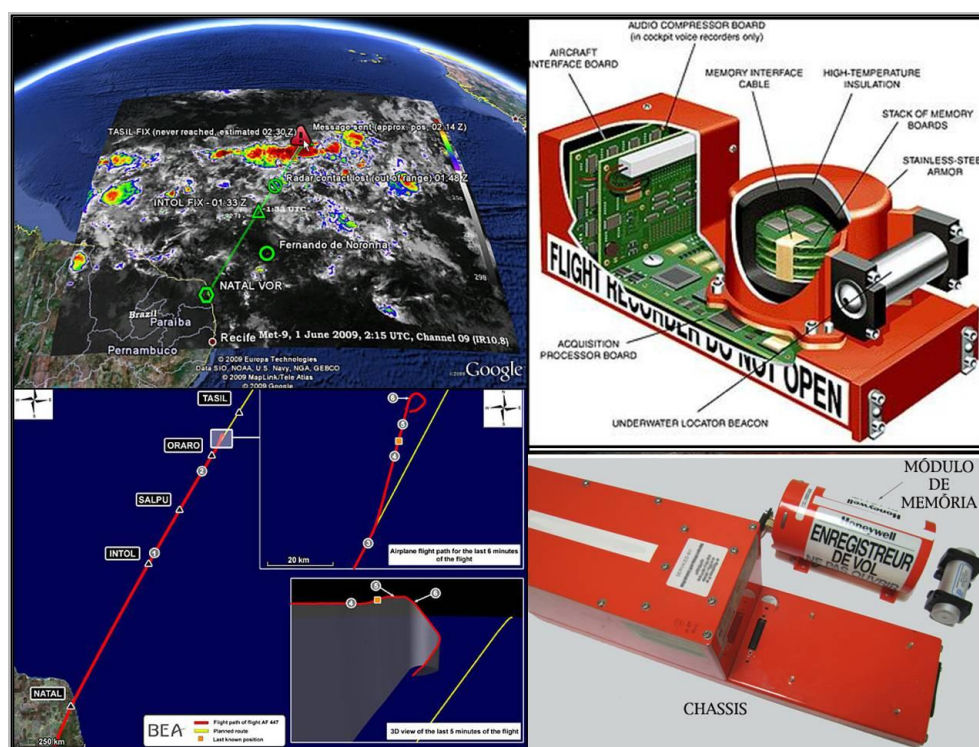


Figura 4: À esquerda acima condições meteorológicas e rota, abaixo desvio do curso e queda. A direita caixa preta. Fonte Relatório BEA Final Report July the 27th 2012

Referências Bibliográficas (Anexo III)

BEA Final Report On the accident on 1st June 2009 to the Airbus A330-203 registered F-GZCP operated by Air France flight AF 447 Rio de Janeiro – Paris issued July the 27th 2012.

Cardoso, V. A. F. (2004) O Estudo Sócio técnico da Interface “Ser Humano - Máquina” envolvendo computadores: O Caso de um acidente Aéreo Universidade Federal do Rio de Janeiro.

CENIPA Relatório Final (CENIPA 04) 23/Abril 1991.Acidente Varig RG 254 Boeing 737- 200 Matrícula PP-VMK ocorrido 03/Set/1989.

CENIPA Relatório Final A/67/2009 (2009) Acidente TAM JJ3054 17/7/2007.

Sant’ana, I., Caixa Preta ISBN 85-7302-341-4 Editora Objetiva pag. 275 2000)