

Sistema Especialista de apoio à decisão para o diagnóstico de falhas em aeronaves

Trabalho de Conclusão de Curso

Engenharia da Computação

Robson Carneiro Correia da Silva
Orientador: Fernando Buarque de Lima Neto

Recife, maio de 2010

Sistema Especialista de apoio à decisão para diagnóstico de falhas em aeronaves

Trabalho de Conclusão de Curso

Engenharia da Computação

Este Projeto é apresentado como requisito parcial para obtenção do diploma de Bacharel em Engenharia da Computação pela Escola Politécnica de Pernambuco – Universidade de Pernambuco.

Robson Carneiro Correia da Silva
Orientador: Fernando Buarque de Lima Neto

Recife, maio de 2010

Robson Carneiro Correia da Silva

**Sistema Especialista de apoio à
decisão para diagnóstico de falhas
em aeronaves**

Resumo

Este trabalho apresenta os detalhes de projeto e implementação, e os resultados de um Sistema Especialista (S.E.) para auxiliar na manutenção de aeronaves, aplicado à aeronave Boeing 737-700/800 com procedimentos próprios da Empresa Gol Linhas Aéreas S.A. O sistema desenvolvido foi concebido para prestar apoio à equipe de manutenção no processo de tomada de decisões no trabalho de manutenção, utilizando um banco de regras contendo conhecimentos especializados. Para exemplificar o conceito foi implementado um dos subsistemas: o Aviso de Estol. Este módulo evita uma aeronave chegar a uma condição de estol ou perda de sustentação aerodinâmica. Este trabalho se justifica pela real necessidade de se dar à equipe de manutenção uma ferramenta de apoio que a auxilie de forma precisa e estruturada a solução de problemas na manutenção de aeronaves.

Abstract

This work presents the project design, implementation details of an Expert System (E.S.) to constructed to assist in aircraft maintenance, applied to the Boeing 737-700/800 aircraft and procedures of Gol Airlines Inc.. The produced system supports maintenance teams in their decision process, using a rule database containing knowledge of human specialists. As an example, we have fully implemented a module of the ES: The Stall Warning subsystem. This module prevents the aircraft to reach a stall condition. This system is justified by actual needs of maintenance teams to possess support tools that are structured and accurate in helping problem solving during aircraft maintenance.

Sumário

Índice de Figuras	6
Índice de Tabelas	8
Tabela de Símbolos e Siglas	9
1 Introdução	11
1.1 Manutenção e Despachabilidade de Aeronaves	12
1.2 Procedimento para Liberação de uma Aeronave	12
1.2.1 Procedimento da Equipe de Manutenção	12
1.2.2 Procedimento dos Pilotos	12
1.3 Tomada de Decisão	13
1.4 A Inteligência Artificial e os Sistemas Especialistas	14
1.5 Estrutura do Trabalho	15
2 O Sistema de Aviso de Estol (<i>Stall Warning</i>)	16
2.1 Introdução	17
2.1.1 Estol	17
2.2 Componentes	18
2.3 Funcionamento	19
2.4 Descrição e atuação dos componentes	19
2.4.1 Sensor de Ângulo de Ataque	19
2.4.2 Painel de teste do sistema	20
2.4.3 SMYD – Stall Management Yaw Damper Computer	21
2.4.4 EFSM – <i>Elevator Feel Shift Module</i>	21
2.4.5 Control Column Shaker	22
2.4.6 Painel de Disjuntores (<i>Circuit Breakers – CBs</i>)	22
2.5 Operação	24
2.6 Circuito eletrônico do sistema	25

3	A Inteligência Artificial e os Sistemas Especialistas	27
3.1	Inteligência Artificial	27
3.1.1	Os Problemas resolvidos com a ajuda da I.A.	28
3.2	Sistemas Especialistas	29
3.2.1	Definição	29
3.2.2	Análise dos S.E.s	30
3.2.3	Estrutura Básica de um S.E	30
3.3	Representação do Conhecimento	31
3.4	Árvores de Decisão	32
4	Concepção do Sistema Especialista	34
4.1	Etapas para o desenvolvimento do Sistema Especialista	36
4.1.1	Identificação do Problema	36
4.1.2	Identificação de Conceitos, Relações, Objetos	36
4.1.3	Escolha da Ferramenta para Desenvolvimento do S.E.	38
4.1.4	Aquisição de Conhecimento para o Protótipo	39
4.1.5	Levantamento de Dados para Testes e Validação do Banco de Conhecimento	39
4.1.6	Aceitação do Protótipo	40
4.1.7	Operacionalização do Protótipo	40
4.1.8	Manutenção do Sistema Implantado	40
5	Sistema Especialista de Suporte à Decisão para o Diagnóstico de Falhas em Aeronaves (Aviso de Estol)	41
5.1	Desenvolvimento do protótipo	41
5.1.1	Escolha das Ferramentas	41
5.1.2	Estrutura Geral	42
5.1.3	Panel/Certification	45
5.1.4	Ata especificação 100	46
5.1.5	Diagnóstico de Falha	49
5.1.6	Auxílio do Sistema	53
5.2	Estrutura Interna	53
5.2.1	Representação do Conhecimento	53
5.2.2	Bases do Conhecimento	55
5.3	Análise de Resultados	65
5.3.1	Introdução	65

5.3.2	Avaliação do Protótipo	66
5.3.3	Resultados	68
6	Conclusão e trabalhos futuros	70
5.4	Resumo	70
5.5	Discussão	71
5.6	Trabalhos Futuros	72
5.7	Considerações Finais	73
	Bibliografia	75
A.	Manutenção de Aeronaves	77
A.1	Generalidades	77
A.2	Manutenção Preventiva	77
A.2.1	Intervalos	78
A.2.2	Tarefas	79
A.2.3	Exemplo	80
A.3	Manutenção Corretiva	80

Índice de Figuras

Figura 1.	Inspeção externa (<i>walk around</i>) do Boeing 737-700/800	13
Figura 2.	Ângulo de ataque de uma Asa	17
Figura 3.	Asa numa condição de estol ou perda de sustentação.....	18
Figura 4.	Cabine do Boeing 737-700/800 e ‘Stall Warning System’	18
Figura 5.	SWS – Stall Warning System 1 and 2.....	19
Figura 6.	Sensor de ângulo de ataque	20
Figura 7.	Stall Warning Test Panel.....	20
Figura 8.	SMYD - Stall Management Yaw Damper Computer	21
Figura 9.	EFSM – Elevator Feel Shift Module.....	22
Figura 10.	Stick Shaker.....	22
Figura 11.	Esquema elétrico e painel de disjuntores	23
Figura 12.	SMYD <i>analog signals</i>	24
Figura 13.	SMYD <i>digital interfaces</i>	24
Figura 14.	Diagrama esquemático do sistema.....	26
Figura 15.	Etapas para o desenvolvimento do Sistema Especialista	35
Figura 16.	Diagrama de Casos de Uso.....	42
Figura 17.	Diagrama de Sequência.....	43
Figura 18.	Diagrama de Classes do Protótipo	44
Figura 19.	Tela Principal do Sistema com as seis áreas de expertise.....	45
Figura 20.	Tela de Seleção da Aeronave	46
Figura 21.	Tela de Seleção do Sistema	47
Figura 22.	Tela de Seleção do Sub-Sistema.....	48
Figura 23.	Tela de Descrição do Sistema e Sub-Sistema	49
Figura 24.	Tela de Auxílio do Especialista	50
Figura 25.	Tela de Diagnóstico de Falha	51
Figura 26.	Manual de Reparo do Sistema	52
Figura 27.	Visualização por Se/Então	53

Figura 28.	Visualização por Nível.....	54
Figura 29.	Árvore do Painel/Certificação	56
Figura 30.	Árvore esquemática do Capítulo/Seção	57
Figura 31.	Primeira Ramificação da Árvore	61
Figura 32.	Geração de Nós de decisão de uma árvore.....	63
Figura 33.	Exemplo de árvore de decisão gerada pelo sistema.....	64
Figura 34.	Exemplo de Consulta ao Sistema Especialista.....	65

Índice de Tabelas

Tabela 1.	Informações sobre a Aeronave GOA- 737-700- Aviso de Estol.....	55
Tabela 2.	Subconjunto gerado pelo atributo 'A2'valor 'YES'.....	59
Tabela 3.	Subconjunto gerado pelo atributo 'A2'valor 'NO'.....	59
Tabela 4.	Análise Especialista x Sistema Especialista em número de regras.....	64
Tabela 5.	Análise do Sistema Especialista em Acertos e Falhas	64

Tabela de Símbolos e Siglas

(Dispostos por ordem de aparição no texto)

SE – Sistemas Especialistas.

OACI - Organização de Aviação Civil Internacional.

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil.

MMEL – Master Minimum Equipment List.

IA - Inteligência Artificial

AOA - angle of attack

SMYD - stall management yaw damper computer

EFSM - elevator feel shift module.

SWS - *Stall Warning System*

CB - Circuit Breaker

EC - Engenheiro de Conhecimento

MGM - Manual Geral de Manutenção

FH - Flight Hours

FC - Flight Cycles

CT - Calendar Time

VI - Visual Inspection

DI - Detailed Inspection

ATA - Air Transport Association

PIREP - Pilot Report

FAR – Flight Attendant Report

Agradecimentos

A Deus, por ter me dado saúde, sabedoria e determinação para realizar este trabalho e de sua constante presença em minha vida.

À minha família, em especial aos meus pais, Marileide Carneiro e Rinaldo Correia, que durante todos esses anos me educaram e me apoiaram para que eu chegasse onde eu estou. Aos meus irmãos e irmãs que sempre estiveram ao meu lado e me fortaleceram com carinho, amor e respeito.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Fernando Buarque, pelo incentivo e dedicação no desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores do DSC, minha gratidão pelos ensinamentos e participação na minha formação acadêmica.

À empresa Gol Linhas Aéreas, pelo interesse e apoio recebidos durante a realização deste trabalho. De especial ajuda foram os engenheiros e técnicos: Luciano, Carlos Junior e Antonio Tavares.

Aos amigos da POLI, principalmente Marcel Caraciolo e Pedro Xavier, pela ajuda e orientação nos momentos de dificuldade.

À minha namorada Iane, pela dedicação, carinho e paciência em me aturar durante noites em claro devido o trabalho de pesquisa e desenvolvimento deste projeto.

Capítulo 1

Introdução

A manutenção adequada de aeronaves é um fator crítico para as empresas do setor aeronáutico, tanto as fabricantes como as operadoras, não só pela sua influência direta no custo operacional como, também, pela possível perda de vidas por acidentes ocorridos e pelo rígido controle existente neste setor.

A presente monografia de conclusão de curso apresenta uma solução alternativa que, em conjunto com as já existentes, pode vir a colaborar com a melhoria do trabalho na manutenção das aeronaves Boeing 737-700/800 da Gol Linhas Aéreas S/A.

O principal resultado apresentado foi o desenvolvimento de um sistema especialista (S.E), para auxiliar na manutenção corretiva, em especial o subsistema de Aviso de Estol. Na seqüência deste capítulo 1 é apresentada uma análise dos procedimentos gerais para a operação de aeronaves, enfatizando o aspecto da manutenção e o uso de Sistemas Especialistas para o auxílio à tomada desse tipo de decisão.

1.1 Manutenção e Despachabilidade de Aeronaves

Na aviação comercial em geral, para se poder operar uma aeronave, deve-se satisfazer condições mínimas estabelecidas por algum órgão regulamentador.

O Brasil obedece à Organização de Aviação Civil Internacional - OACI ou ICAO (*International Civil Aviation Organization*) para manufatura, manutenção e operação de aeronaves.

O órgão fiscalizador no Brasil é a Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC, que mantém o controle sobre a movimentação das aeronaves, exigindo condições mínimas para a sua operação. Estas condições mínimas estão indicadas em um documento chamado *MMEL – Master Minimum Equipment List*. Este documento, elaborado pelo fabricante e aprovado pelo órgão fiscalizador, indica quais os equipamentos essenciais a uma operação segura que devem estar operacionais na aeronave.

1.2 Procedimento para Liberação de uma Aeronave

A seguir são descritas apenas as etapas que devem ser cumpridas pela equipe de manutenção e pelo piloto da aeronave.

1.2.1 Procedimento da Equipe de Manutenção

Em condições normais de operação, a equipe de manutenção deve, ao final de um dia de trabalho, antes de recolher a aeronave ao hangar, inspecionar a aeronave, o seu livro de bordo e os relatórios dos pilotos (*pilot reports*). Havendo relato e/ou constatação de falha, a equipe procede a sua pesquisa visando o seu conserto, preparando a aeronave para o trabalho do dia seguinte.

A equipe de manutenção também realiza os trabalhos programados para a aeronave, como por exemplo, lubrificação, troca de óleos e de filtros. No início da jornada seguinte de trabalho, ela retira a aeronave do hangar e a disponibiliza para voo, se for o caso.

1.2.2 Procedimento dos Pilotos

Normalmente, os pilotos realizam os chamados testes de pré-voo, que devem incluir as inspeções externas ou “*walk-around*”, obedecendo a seqüência mostrada na figura 1 e, as inspeções internas

ou de dentro da cabine de comando, que incluem verificações à listas de equipamentos e procedimentos através de *chek-list* de pré-vôo, checando a funcionalidade de todos os equipamentos. Eles realizam anotações em um livro de bordo. Em caso de panes ou falhas sérias, que tenham algum tipo de urgência, os pilotos geram um relatório (*pilot reports*) para a equipe de manutenção.

A equipe de manutenção, sendo acionada pelo piloto, consulta a *MMEL*, para verificar se a aeronave pode ser liberada para assumir o vôo.

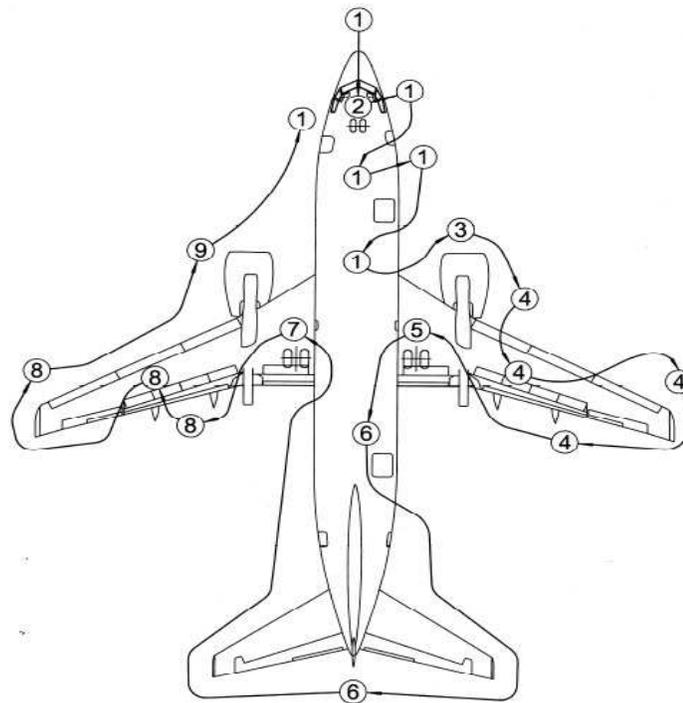


Figura 1. Inspeção externa (*walk around*) do Boeing 737-700/800 [9]

1.3 Tomada de Decisão

Como foi descrito na seção 1.1, para uma aeronave poder operar, ela precisa estar nas condições mínimas exigidas. O último procedimento a ser realizado pelos pilotos antes do vôo é o teste de pré-vôo. Neste momento, quando é constatado algum problema com a aeronave, deve-se tomar alguma decisão.

Caso não haja pane ou qualquer outro tipo de problema, a aeronave é considerada em condições de vôo. Com a ocorrência de alguma pane, existem duas alternativas, quais sejam:

1. A primeira é que a pane ocorrida não impeça, pelo menos por uma etapa, o vôo; com isso, pode-se escolher entre sanar a pane, caso haja tempo hábil, ou liberar a aeronave para a próxima etapa de vôo, postergando a eliminação da pane.
2. A segunda alternativa é a retenção da aeronave até que o problema seja sanado.

A liberação ou não da aeronave, para outra etapa de vôo, com algum equipamento inoperante, é indicada pela *MMEL*. No caso da não liberação, havendo tempo hábil, deve-se sanar a pane para a aeronave prosseguir, ou substituí-la por outra. As implicações dessas decisões são muitas vezes impactantes do ponto de vista econômico para a empresa.

Observe que uma decisão, em qualquer dos casos, implica também em muita responsabilidade, pois um erro na sua elaboração pode gerar conseqüências desastrosas. Como por exemplo, no Desastre Aéreo de Tenerife, que ocorreu em 27 de março de 1977, no Aeroporto de Los Rodeos, na Ilha de Tenerife, no Arquipélago das Canárias (Espanha), quando dois aviões jumbos Boeing 747, um deles pertencente a empresa holandesa Royal Dutch Airlines (KLM) e o outro da americana Pan American World Airways (Pan Am), chocaram-se na pista daquele aeroporto, ocasionando a morte de 583 pessoas e ferimentos em outras 61. É considerado até hoje o acidente com maior número de vítimas na história da aviação mundial [21]. Essas conseqüências influem tanto no custo operacional como na imagem da empresa, além da possível irreparável perda de vidas pela ocorrência de acidentes. Fica evidente, portanto, a importância de se munir os tomadores dessas decisões de todos os meios e auxílios possíveis para que eles possam decidir rápida e corretamente.

Este trabalho tem por objetivo apresentar/construir um sistema especialista para auxiliarem na tomada de decisão pela equipe de manutenção, na ocorrência dos problemas no sistema de estol, visando maximizar a operacionalidade e minimizar o desperdício de recursos de toda ordem.

1.4 A Inteligência Artificial e os Sistemas Especialistas

Computação possui muitas divisões, uma delas, inteligência artificial (I.A) por sua vez se estende por vários domínios teóricos e de aplicação (mais detalhes, ver o capítulo 3). Dentro de IA, os Sistemas Especialistas se destacam como uma das mais bem sucedidas técnicas dadas as suas muitas aplicações bem sucedidas. Algumas destas aplicações podem ser vistas em [20].

Através de mecanismos próprios, consegue-se disponibilizar aos usuários de S.E, além dos dados/informações técnicas apropriadas, também a experiência acumulada por técnicos e times de especialistas, que podem auxiliar muito na solução de problemas e antes disso, na tomada de decisão.

Com isso, pode-se obter melhores resultados, além de se propiciar uma padronização de procedimentos e de informação (obtida por experiência acumulada), ficando muito facilitada a consulta e propriedade de soluções. Neste trabalho, devido a exigüidade de tempo, implementou-se apenas a um módulo (*i.e.* função do S.E.) para o apoio às decisões necessárias na manutenção do sistema de aviso de estol na aeronave acima descrita.

1.5 Estrutura do Trabalho

Esta monografia está organizada em capítulos. A seguir, está detalhada a estrutura deste trabalho.

O capítulo 2 apresenta o sistema de aviso de estol (*stall warning*), pertencente à aeronave Boeing 737-700/800, incluindo o seu diagrama esquemático.

O capítulo 3 deste trabalho apresenta uma revisão bibliográfica das técnicas de inteligência artificial (IA), e em particular os sistemas baseados em conhecimento.

O capítulo 4 descreve a concepção do Sistema Especialista mostrando especificamente os passos que foram dados para o desenvolvimento do protótipo.

No capítulo 5 é apresentado o protótipo desenvolvido, explicitando toda sua estrutura, tanto interna como externa, além de uma consulta apresentada como exemplo. Ainda, tratamos de avaliar o protótipo, mostrando os resultados obtidos na utilização dos conceitos de verificação, sua validação e teste.

O capítulo 6 traz a conclusão e trabalhos futuros, indicando as possíveis extensões que o protótipo pode sofrer.

O Apêndice A detalha os tipos de manutenção de aeronaves e seus intervalos.

Capítulo 2

O Sistema de Aviso de Estol (*Stall Warning*)

Neste capítulo são descritos os conceitos básicos de aerodinâmica e do sistema de aviso de estol necessários para a compreensão da metodologia usada na realização deste projeto.

2.1 Introdução

Para implementação do protótipo foi escolhido o sistema de aviso de estol da aeronave Boeing 737-700/800 da Empresa Gol Linhas Aéreas S/A. Este sistema tem por finalidade evitar a condição de estol ou perda de sustentação aerodinâmica da aeronave.

2.1.1 Estol

Aerofólio é toda superfície aerodinâmica capaz de produzir reações úteis ao voo. A sustentação do aerofólio (asa) é dada pela diferença da pressão estática entre o intradorso (parte inferior da asa) e o extradorso (parte superior da asa), fenômeno baseado no Postulado de Bernoulli e comprovado pelo Teorema de Venturi. [9]

Ângulo de ataque é o ângulo formado entre a corda do aerofólio e o vento relativo (ver figura 2).

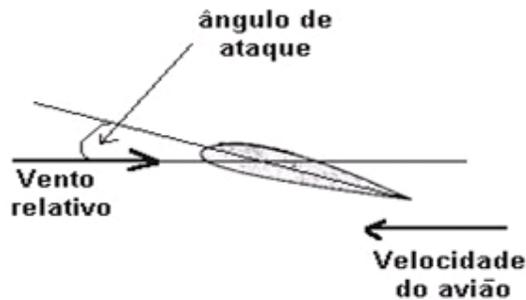


Figura 2. Ângulo de ataque de uma Asa [9]

Estol é o fenômeno causado pela falta de sustentação da aeronave, provocado pelo excesso de ângulo de ataque do seu aerofólio (asa), podendo provocar a queda da aeronave (ver figura 3).

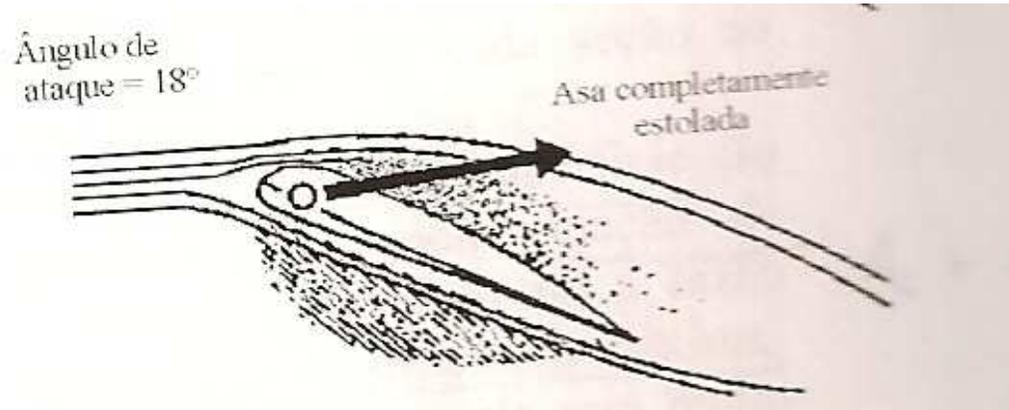


Figura 3. Asa numa condição de estol ou perda de sustentação [9]

2.2 Componentes

O sistema de aviso de estol (*stall warning system*) do Boeing 737-700/800, cuja cabine está apresentada na figura 4, é composto de dois sensores de ângulo de ataque - *AOA angle of attack sensor*, um painel de teste do sistema - *stall warning test panel*, dois computadores - *SMYD stall management yaw damper computer*, dois vibradores da coluna de controle do manche - *control column shaker* e um *EFSM - elevator feel shift module*.

A descrição e o funcionamento dos componentes são mostrados abaixo.

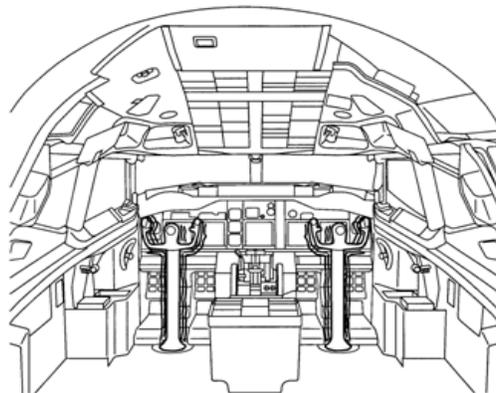


Figura 4. Cabine do Boeing 737-700/800 e 'Stall Warning System' [9]

2.3 Funcionamento

O *Stall Warning System* é dividido em dois sistemas idênticos e independentes, sistema 1 e 2 (ver figura 5), que podem fazer vibrar o manche na cabine de comando. Isso objetiva alertar o piloto quando a aeronave está prestes a entrar em uma condição de estol. Ambos os sistemas possuem um botão para auto-teste, localizado no painel específico.

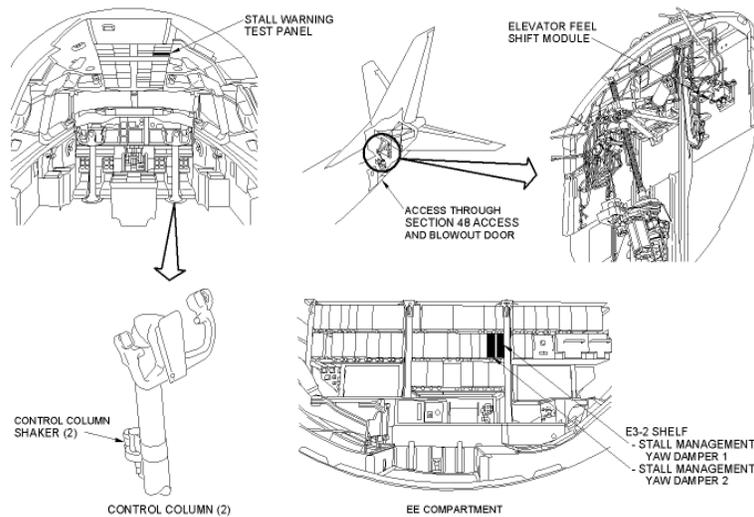


Figura 5. SWS – Stall Warning System 1 and 2 [9]

2.4 Descrição e atuação dos componentes

2.4.1 Sensor de Ângulo de Ataque

Cada sensor de ângulo de ataque - *AOA sensor* (figura 6) possui dois *synchros* e mede a direção do fluxo de ar relativo à fuselagem, determinando o ângulo de ataque da aeronave. Os dados coletados pelo *AOA sensor* esquerdo, são enviados para o *SMYD 1* e os dados coletados pelo *AOA sensor* direito, são enviados ao *SMYD 2*. Os sensores são equipados com sistema de aquecimento elétrico, a fim de evitar congelamento em vôo em decorrência das grandes altitudes e, conseqüentemente, baixas temperaturas.

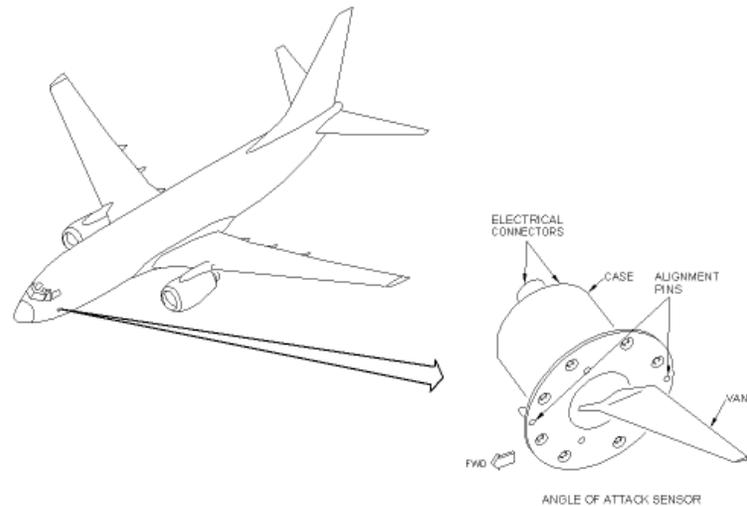


Figura 6. Sensor de ângulo de ataque [9]

2.4.2 Painel de teste do sistema

O *stall warning test panel* (figura 7) possui duas *switches*, utilizadas cada uma para testar seu respectivo sistema (1 ou 2). Com o sistema operando normalmente, quando pressionada a *switch* 1, faz-se um teste do *stall warning system* 1, fazendo vibrar a coluna do manche do piloto. Quando pressionada a *switch* 2, faz-se um teste do *stall warning system* 2, fazendo vibrar a coluna do manche do co-piloto. Caso haja falha em um dos sistemas, o manche correspondente não vibrará. As interfaces testadas, durante o *stall warning test* são: *software e hardware* do *stall warning system (SWS)*; interruptores de teste; *AOA synchros*; circuitos programáveis e os transmissores de posição de flap [9].

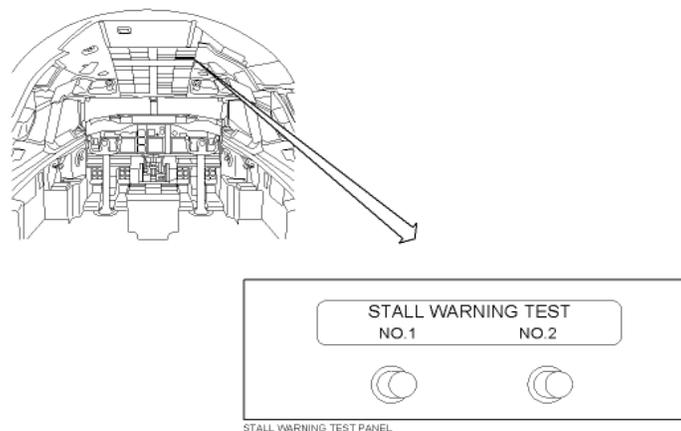


Figura 7. Stall Warning Test Panel [9]

2.4.3 SMYD – Stall Management Yaw Damper Computer

Dois computadores chamados SMYD (figura 8), um para cada sistema, são instalados no compartimento de equipamentos eletrônicos da aeronave. Eles utilizam sinais de entrada analógicos e digitais provenientes de diversos sistemas e sensores da aeronave para calcular o ângulo de ataque máximo, no qual não haja possibilidade da ocorrência de estol, levando em consideração a configuração da aeronave e a fase do voo.

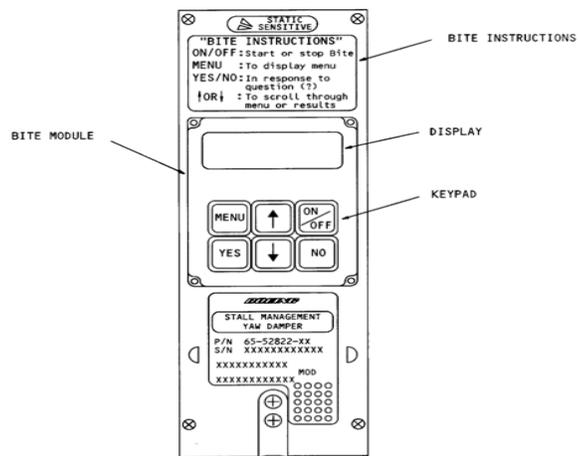


Figura 8. SMYD - Stall Management Yaw Damper Computer [9]

2.4.4 EFSM – Elevator Feel Shift Module

O *elevator feel shift module* (figura 9) é comandado pelo SMYD durante uma condição de estol, posicionando a aeronave com a atitude de nariz em baixo (*nose down*), através do comando hidráulico do estabilizador horizontal, evitando a perda de sustentação da asa, ou seja, impedindo a queda da aeronave. Adicionalmente, o EFSM mantém o manche rígido, evitando que o piloto sobreponha o movimento automático de *nose down*, durante um estol.

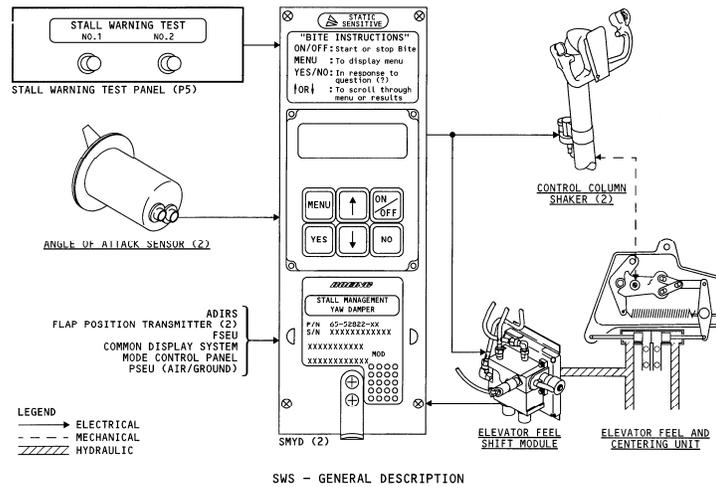


Figura 9. EFSM – Elevator Feel Shift Module [9]

2.4.5 Control Column Shaker

Os dois vibradores da coluna de controle do manche - *control column shaker ou stick shaker* (figura 10), vibram o manche do piloto e do co-piloto alertando quanto à iminência de uma condição de estol. Cada *control column shaker* possui um motor alimentado com 28VDC que aciona a vibração do manche.

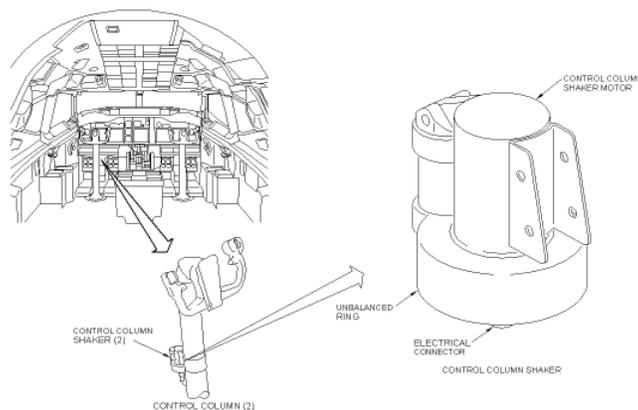


Figura 10. Stick Shaker [9]

2.4.6 Painel de Disjuntores (*Circuit Breakers – CBs*)

Para segurança dos circuitos elétricos da aeronave, há um painel de Disjuntores – CBs, que podem desligar os circuitos em caso de sobrecarga. Os CBs dos componentes do Sistema de Aviso de Estol estão localizados no painel P18-2, como mostrado no canto superior esquerdo da figura 11.

2.5 Operação

Os sensores de ângulo de ataque de ataque (*AOA sensors*) são posicionados de acordo com a direção do ar passando ao longo da fuselagem da aeronave. Os transformadores lineares ou *syncros* geram sinais elétricos correspondentes a posição das hastes dos sensores. A informação sobre ângulo de ataque, posição de flaps e trem de pouso são recebidas e processadas pelos *SMYD 1 e SMYD2 – stall management yaw damper computers* (ver figura 12), os quais enviam sinais para os respectivos *displays* na cabine de comando (ver figura 13).

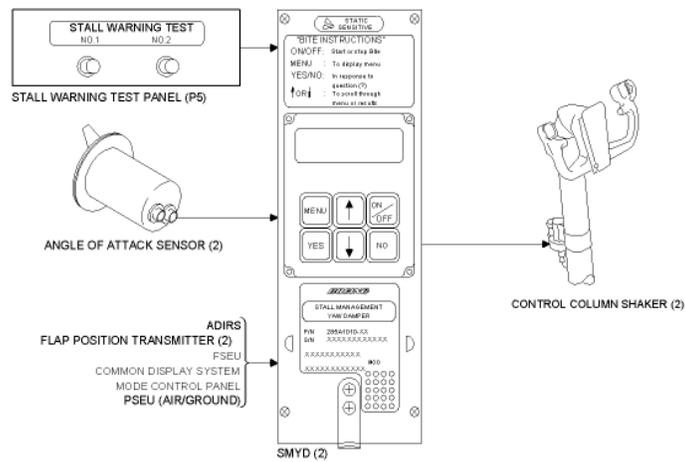


Figura 12. SMYD analog signals [9]

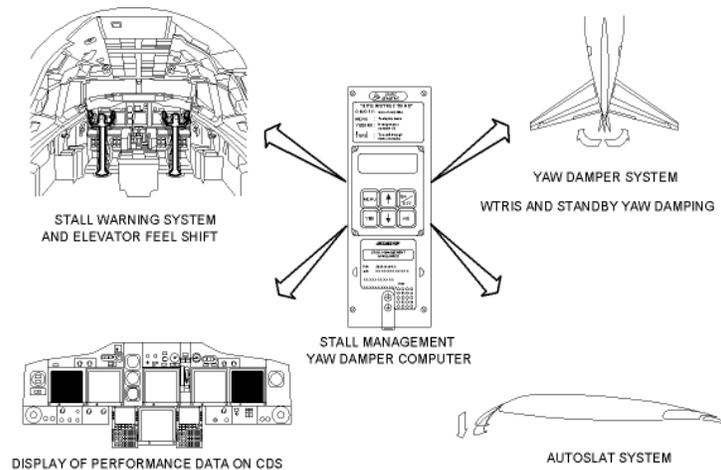


Figura 13. SMYD digital interfaces [9]

Quando incrementos do ângulo de ataque são recebidos e o sistema entra na faixa de atuação (entre 13 e 24 graus, dependendo da posição de flaps e velocidade da aeronave), o computador (*SMYD*) energiza o respectivo *Stick Shaker*. Se o ângulo de ataque continuar aumentado, os computadores acionam o alarme sonoro e visual, e enviam um sinal elétrico para atuação dos *Stick Shakers*, que fará os manches vibrarem, e para o *EFSM – Elevator Feel Shift Module*. Este último irá comandar hidráulicamente a superfície de comando responsável por levar a aeronave a uma condição de nariz abaixado (*Nose-Down*), que permitirá:

1. Recuperar a sustentação das asas, evitando a queda da aeronave.
2. Além de deixar os manches rígidos, evitando que o piloto tente sobrepujar o comando automático do estabilizador.

2.6 Circuito eletrônico do sistema

A Figura 14 mostra o diagrama esquemático do Sistema de Aviso de Estol da aeronave Boeing 737-700/800. Nela, identifica-se facilmente, no centro da figura, um dos computadores responsáveis pelo gerenciamento do sistema, o *SMYD 1 – Stall Management Yaw Damper Computer 1*. À esquerda, o botão de teste no *Stall Warning Test Panel*. Perceba que, o *SMYD 1* e o *SMYD 2* comunicam-se por meio de sinais elétricos, pois no caso de falha de um deles, o outro assume o controle de todo sistema. Em cima, na direita, o *stick shaker* do piloto. O circuito elétrico para o sistema 2, ou seja, relativo ao *SMYD 2* é similar, por isso não foi mostrado nesta figura.

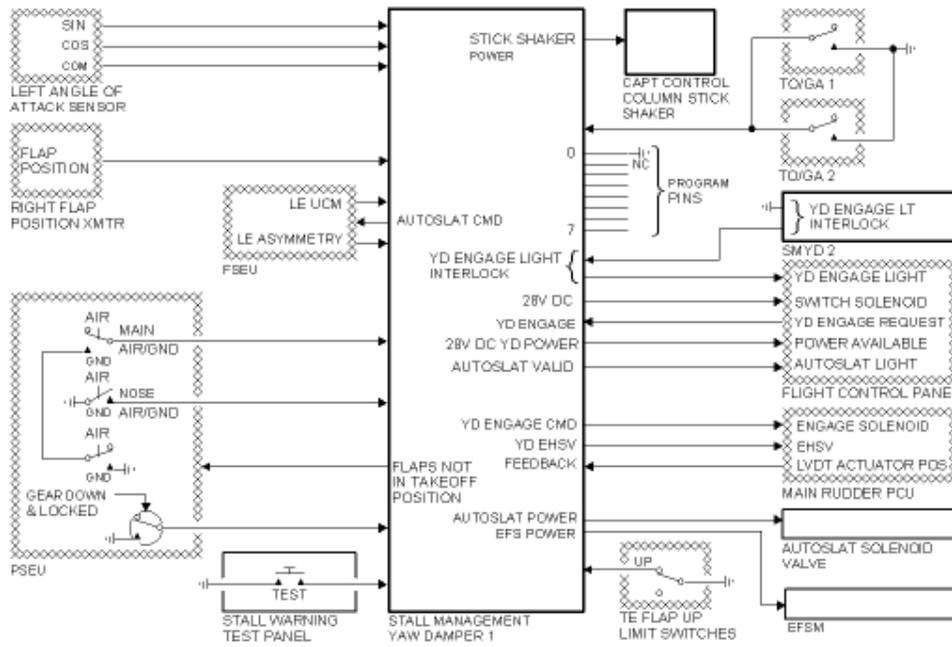


Figura 14. Diagrama esquemático do sistema [9]

Neste capítulo, abordamos apenas um sistema aviônico, o *Stall Warning System*, dentre centenas de outros sistemas pertencentes a aeronave. Portanto, percebe-se a grande quantidade de informações técnicas que um membro da equipe de manutenção precisa saber para fazer o seu trabalho, além de lidar com a complexidade inerente aos sistemas da aeronave. Logo, fica claro a necessidade de se dar a equipe de manutenção uma ferramenta que incorpore todo esse conhecimento técnico específico, para auxiliar na tomada de decisão.

Capítulo 3

A Inteligência Artificial e os Sistemas Especialistas

Este capítulo visa apresentar e explicar alguns dos conceitos básicos de Inteligência Artificial, através dos quais, consegue-se colocar a disposição dos usuários os S.E. Além de descrever a estrutura do Sistema Especialista e o modo de aquisição de conhecimento, usando Árvores de Decisão. É importante destacar que a experiência acumulada por técnicos especialistas contribui de forma significativa com a solução de problemas e tomada de decisão, relevantes para o escopo deste trabalho.

3.1 Inteligência Artificial

A Inteligência Artificial (I.A.) é uma divisão e campo de pesquisa importante, dentro da Ciência da Computação.

Apesar da dificuldade de se definir precisamente o que é Inteligência Artificial, deve-se ao menos tentar traçar uma fronteira em torno do conceito. A grosso modo, I.A. é o “estudo de como fazer os computadores realizarem tarefas que, no momento, as pessoas fazem melhor” [1].

Precisa-se de dois objetivos principais para se definir I.A. [2]:

- Construir uma máquina inteligente (definição por exemplos);
- Encontrar a natureza da inteligência (definição por intenções).

Porém, nenhum dos dois caminhos foi até hoje ainda percorrido satisfatoriamente. Assim, consideraremos de forma mais pragmática que um sistema computacional precisa possuir mecanismos formais para a representação do conhecimento além de estratégias de inferência que possibilitam utilizar este conhecimento no futuro [3].

3.1.1 Os Problemas resolvidos com a ajuda da I.A.

Historicamente os primeiros problemas a serem tratados como aplicações da I.A. foram os jogos e a prova automática de teoremas, isso na década de 1960 [11].

Um programa para o jogo de damas que, além de jogar com seus oponentes também usava experiência para aperfeiçoar seu desempenho futuro, foi desenvolvido por Samuel [4]. O xadrez foi outro jogo que também recebeu bastante atenção por parte da comunidade de I.A. [11].

Uma das principais tentativas de demonstrar teoremas foi a do *Logic Theorist* [4]. Nesta aplicação de I.A., Newell conseguiu provar vários teoremas do primeiro capítulo do livro *Principia Mathematica*, de Whitehead e Russell [10].

Considerou-se inicialmente que os computadores eram bem sucedidos nestas tarefas por serem rápidos, permitindo explorar um grande número de soluções e optando pela melhor [10]. Provou-se mais tarde que esta suposição era falsa, pois nenhum computador é rápido suficiente para superar a explosão combinatória gerada por tais problemas [11].

Outra incursão foi a de se focar a solução de problemas de raciocínio do senso comum. Para isso, Newell, Shaw e Simon criaram o GPS (General Problem Solver, Solucionador de Problemas Gerais) [7].

Abaixo são listadas algumas áreas de pesquisa da I.A. [5]:

- Percepção (visão, fala);
- Linguagem natural (compreensão, geração e tradução);

- Raciocínio do senso comum;
- Controle de Robôs;
- Jogos (xadrez, damas, gamão);
- Matemática (Geometria, Lógica, Calculo);
- Engenharia (projeto, planejamento);
- Análises (científica financeira);
- Diagnostico.

Os problemas tratados compartilham fatores complicadores dentre os listados a seguir:

- Raciocínio simbólico;
- Necessidade de amplo conhecimento para conseguir uma solução;
- Vários níveis de abstração do conhecimento;
- Múltiplas estratégias na resolução de um problema;
- Restrições numerosas;
- Ambigüidades e incertezas, etc...

Felizmente, a I.A. fornece várias técnicas de modelagem [3] e automatização na resolução de problemas. Para uma visão geral da área de I.A. ver [1].

Uma área de aplicação de I.A. que vêm crescendo rapidamente é a solução de tarefas especializadas que necessitam de um conhecimento profundo sobre um domínio restrito, os Sistemas Especialistas.

3.2 Sistemas Especialistas

3.2.1 Definição

O professor Edwar Feigenbaum (Universidade de Stanford-EUA), um dos principais pesquisadores em S.E.s, define Sistema Especialista como sendo um programa inteligente de

computador que usa conhecimento e procedimentos inferenciais para resolver problemas que requerem muita perícia humana, pelo seu grau de dificuldade [6].

As empresas têm, normalmente, grande interesse em manter seus especialistas e respectivos conhecimentos, sendo esta uma das razões para o observado sucesso comercial do S.E. Através de uma estrutura computacional, pode-se captar a destreza dos seus melhores especialistas, obtendo uma ferramenta para treinamento de novos profissionais e documentação de um conhecimento comprovado. Bons resultados vêm sendo alcançados por S.E.s que atuam na área de diagnósticos, quer em sistemas eletromecânicos, quer em sistemas biológicos, como na medicina [6]. O diagnóstico de falhas em Sistemas Aviônicos, tema desta monografia, enquadra-se no diagnóstico de sistemas eletromecânicos.

3.2.2 Análise dos S.E.s

As vantagens de utilização dos S.E.s são várias de acordo com [8]. A primeira, que se ressalta, é a perenidade do conhecimento oferecida em relação ao especialista humano. Outra vantagem é o desempenho temporal constante de um S.E, enquanto que o desempenho de um ser humano pode ser influenciado pelo desgaste físico, mental ou emocional e até por períodos longos de afastamento do trabalho.

Um especialista humano forma-se pelo treinamento e pela experiência adquiridos ao longo do tempo. Por isso existe a dificuldade na transferência do conhecimento dele para outros, além da necessidade da presença do especialista, ou pelo menos de sua atenção quando usado algum meio para comunicação à distância.

Já um S.E traz facilidade tanto na transferência como na reprodução das ações do especialista [8]. Um S.E necessita e engloba o conhecimento presente no especialista humano, liberando-o de tratar com casos já resolvidos.

Por outro lado, um ser humano é criativo e consegue se adaptar às novas situações, melhor do que um S.E. Um especialista humano além do conhecimento técnico, possui conhecimento de senso comum e sua interação com o mundo é realizada sensorialmente, diferentemente de um S.E, que se utiliza de entradas simbólicas. Desta forma, um sistema de decisão que inclua humanos e S.E. complementam-se de forma muito proveitosa.

3.2.3 Estrutura Básica de um S.E

- Base de Conhecimento:

A Base de Conhecimento de um S.E consiste na representação de conhecimento (fatos) e heurísticas (regras práticas) associadas ao seu campo de atuação. Os fatos constituem um corpo de informação que é largamente compartilhado, publicamente disponível e geralmente aceito pelos especialistas. As heurísticas são em sua maioria privadas, regras de bom discernimento que caracterizam a tomada de decisão no nível de especialista na área, ou empresa [6]. A base de conhecimento é o componente principal do sistema, devendo conter todo o conhecimento necessário. Na sua confecção o Engenheiro de Conhecimento (E.C) extrai do especialista o conhecimento necessário (procedimentos, estratégias e normas práticas) e o insere na base de conhecimento de forma racional. Este processo é designado por aquisição de conhecimento, sendo ele uma das grandes dificuldades na construção de Sistemas Especialistas, justamente por sua não trivialidade.

- **Máquina de Inferência:**

A Máquina (ou motor) de Inferência é um mecanismo que processa a Base de Conhecimento para obter a resolução de um problema no domínio do S.E, ou seja, a aplicação das regras ao contexto apresentado ao S.E. Sua construção é feita de modo a utilizar estratégias de inferência que imitem o comportamento do especialista humano.

- **Memória de Trabalho:**

Para descrever e acompanhar o estado do sistema, os dados de entrada e o histórico relevante da evolução do sistema.

- **Interface de Usuário:**

A interface de usuário permite a interação entre o usuário e o sistema. Deve ser o mais amigável possível, facilitando a utilização do S.E e motivando o usuário a usá-lo.

3.3 Representação do Conhecimento

Uma representação de conhecimento (fatos) consiste na combinação de estruturas de dados e procedimentos interpretativos.

Fatos são verdades em algum mundo relevante que se quer representar. Representações de fatos são o que realmente se consegue manipular.

Podem-se estruturar essas entidades em dois níveis:

1. O nível do conhecimento, no qual os fatos são descritos e
2. O nível do símbolo, no qual as representações dos objetos no nível do conhecimento são definidas em termos de símbolos que podem ser manipulados por programas.

O conhecimento de especialistas utilizado pelos S.E.s pode ser representado em varias formas. As mais usadas são: Lógica, Regras de Produção, Redes Semânticas, entre outras [12].

3.4 Árvores de Decisão

As árvores de decisão utilizam a estratégia de dividir um problema complexo em subproblemas mais simples, oferecendo a vantagem do pesquisador acompanhar o procedimento de classificação através dos nodos da árvore [19].

Esta técnica de computação inteligente consiste em representar as informações pertinentes a um problema em uma estrutura de árvore. Na árvore de decisão os nós internos são testes a serem realizados e os nós folha são as decisões.

Para a construção de uma árvore de decisão adequada a posição do atributo que será testado é bastante relevante, pois influencia diretamente no tamanho final da árvore [19]. Desta forma, os testes mais significativos para a solução do problema devem ser posicionados nos níveis mais baixos. A seleção dos atributos pode ser realizada a partir de métricas, a mais utilizada entre elas é a função de entropia [19].

Após a utilização da função de entropia para determinar o grau de relevância dos atributos pode ser feito um processo de melhoria de desempenho a partir da inclusão de novos ramos ou simplesmente pelo balanceamento da árvore. A partir da árvore resultante o processo de utilização consiste em percorrer a árvore do nó raiz até encontrar uma folha que consiste no resultado encontrado.

A definição na árvore de decisão é uma etapa crucial e alguns cuidados devem ser considerados. Existe a possibilidade da árvore gerada ser muito específica, perdendo assim sua capacidade de generalização. Esse problema é conhecido como *overfitting* e pode ser resolvido realizando um processo chamado de poda [19]. Como o próprio nome remete, a poda consiste num processo de redução da árvore retirando ramos pouco relevantes para a solução do problema.

Portanto, Sistemas Especialistas que utilizam Árvores de Decisão para aquisição de conhecimento são uma importante ferramenta da área de I.A. para resolução de problemas que requerem muita pericia humana devido a grande quantidade de informação e ao seu alto grau de complexidade.

Capítulo 4

Concepção do Sistema Especialista

Neste trabalho seguiu-se uma metodologia bastante difundida na literatura [12] [8] para o desenvolvimento de sistemas baseados em conhecimento, que se constitui em algumas etapas, relacionadas na figura 15.

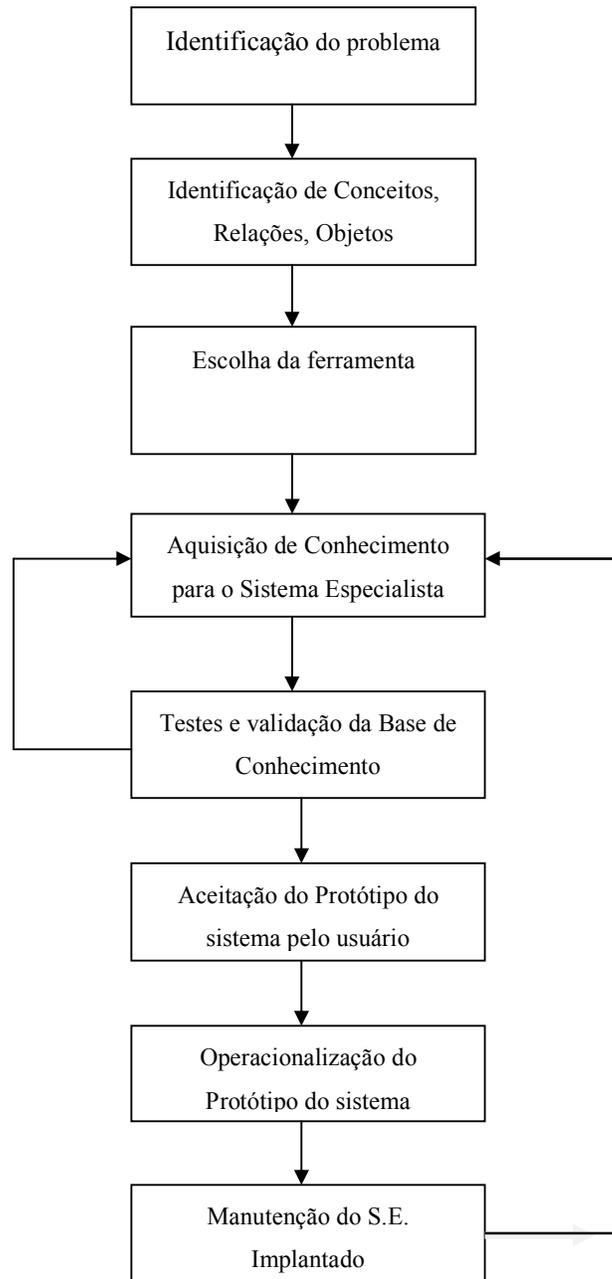


Figura 15. Etapas para o desenvolvimento do Sistema Especialista [20]

4.1 Etapas para o desenvolvimento do Sistema Especialista

4.1.1 Identificação do Problema

Esta etapa constitui-se na correta identificação do problema, que deve ser apresentado de uma maneira clara e objetiva a partir de um contexto bem definido. Para a realização desta etapa foram utilizadas heurísticas (regras práticas) para a identificação do problema e a escolha das alternativas de solução, inseridas no sistema.

4.1.1.1 Situação do Problema

Na área de suporte a usuários da Gol Linhas Aéreas, existe grande interesse na melhoria do isolamento de falhas nas aeronaves. Atualmente, este procedimento é efetuado mediante a consulta a manuais técnicos pelos mecânicos de manutenção. Se não houver neles uma solução satisfatória, a alternativa é contatar um especialista. Isto representa uma demanda maior em tempo de manutenção e custo operacional para a empresa.

4.1.1.2 Problema

Dotar o setor de manutenção da Gol Linhas Aéreas de mecanismos eficientes ou mais eficazes que permitam o reaproveitamento das experiências de manutenção dos seus integrantes, visando minimizar perdas de recursos de toda ordem e maximizar a qualidade e confiabilidade dos seus produtos e serviços de manutenção.

4.1.1.3 Solução

Desenvolver um Sistema, baseado em conhecimento, de modo a disponibilizar mais facilmente para as empresas usuárias as experiências de especialistas na manutenção de aeronaves.

4.1.2 Identificação de Conceitos, Relações, Objetos

O trabalho foi iniciado com um estudo geral sobre sistemas aviônicos, através de leituras técnicas e troca de informações com os engenheiros responsáveis, e também a familiarização com

procedimentos, documentação e relatórios pertinentes da empresa. A aeronave escolhida foi o Boeing 737-700/800. Trata-se de um aparelho de grande sucesso comercial, com inúmeras unidades vendidas, que tem uma boa expectativa de mercado futuro. A Gol Linhas Aéreas tem planos de atingir uma frota 150 aeronaves, todas deste modelo.

Após esta etapa, procedeu-se a escolha de um subsistema para o qual o protótipo seria desenvolvido, levando em conta alguns aspectos, tais como: generalidades dos componentes e índice de falhas. O Sistema de Aviso de Estol (*Stall Warning System*) foi escolhido para ser implementado em função de alguns itens:

- Por se tratar de um sistema crítico na liberação de aeronaves para o voo;
- Por envolver uma multiplicidade dos elementos que compõem o sistema, no tangente aos componentes mecânicos, elétricos e eletrônicos;
- Pelo histórico existente de um alto índice de falhas; e
- Pela razoável complexidade envolvida no diagnóstico de falha do sistema.

O próximo passo consistiu no estudo mais aprofundado deste sistema juntamente com o engenheiro responsável, chegando-se a um modelo para implementação do protótipo do Sistema Especialista. A aquisição de conhecimento efetuou-se através de entrevistas com o especialista (conhecimento declarativo e procedural) e leituras técnicas (conhecimento estático) [3].

Foi utilizada a especificação 100 da *Air Transport Association (ATA)*, usualmente chamada ATA 100, para estruturar o modelo [14]. Ela divide os vários sistemas da aeronave em capítulos, facilitando o trabalho da equipe de manutenção.

Apenas as referências técnicas da aeronave, julgadas como relevantes para este trabalho de pesquisa, e à ATA-100 foram descritas, transcritas ou sintetizadas no sistema.

4.1.2.1. Modelo Definido para Aquisição de Conhecimento

Para o isolamento de uma falha, foram consideradas duas etapas. Primeiramente obteve-se um código de falha, pelas características desta indicada por relatório e pela instrumentação de bordo.

O código de falha utilizado vem do manual de isolamento de falhas das aeronaves [13]. Em seguida, iniciou-se a correção da falha indicada pelo código de falha.

Definiram-se então as Árvores de Decisão necessárias para o funcionamento do sistema. Com isso montou-se a seguinte estrutura:

- Aeronave (dados de certificação);
- Capítulo e Seção (27-34);
- Troubleshooting / Código de Falha;
- Isolamento da Falha / Ação Corretiva.

Na primeira etapa necessita-se de dados específicos de cada aeronave, como por exemplo, o seu prefixo e modelo, número de série, e o tipo dos motores instalados na aeronave. Estes dados podem ser relacionados através do prefixo da aeronave, cujo acesso é fácil.

Em seguida, é necessário o capítulo e a seção do sistema onde a pane está ocorrendo, seguindo o modelo da *ATA100*[14].

Como próximos passos, a identificação do código de falha seguido do isolamento da falha. Cada passo corresponde a uma ou mais bases de conhecimento. Para a aeronave, capítulo e seção somente uma base de conhecimento para cada. Na identificação do código de falha e isolamento da falha, necessita-se de várias bases de conhecimento.

Esta divisão teve como justificativa conseguir-se facilidade na montagem, manutenção e utilização do sistema. Com o modelo estruturado, foi iniciada a próxima fase.

Cumprе ressaltar que o sistema foi concebido de forma a facilitar sua expansão, de modo a incluir, com certa facilidade também os outros sistemas da aeronave.

O presente trabalho teve como uma de suas metas, demonstrar à Gol Linhas Aéreas a viabilidade e as vantagens do desenvolvimento de Sistemas Especialistas como auxílio à manutenção das aeronaves pertencentes a frota da empresa.

4.1.3 Escolha da Ferramenta para Desenvolvimento do S.E.

A técnica de Inteligência Artificial utilizada para implementação do Sistema Especialista foi Árvore de Decisão. Conforme descrito na seção 3.4, uma das características desta técnica é dividir um problema complexo em subproblemas mais simples, possibilitando ao usuário acompanhar o procedimento de classificação através dos nodos da árvore. De acordo com [18] árvores de decisão expressam uma forma simples de lógica condicional buscando a representação de uma série de questões que estão escondidas sobre a base de dados. Em uma árvore de decisão

existem dois tipos de atributos, o decisivo, que é aquele que contém o resultado ao qual se deseja obter e os não decisivos que contém os valores que conduzem a uma decisão.

Através de uma fórmula matemática, denominada entropia, são realizados cálculos sobre os atributos não decisivos, denominados classes, onde é escolhido um nó inicial também chamado de raiz; a partir deste nó será realizada uma série de novos cálculos com o objetivo de decidir a estrutura de formação da árvore a ser gerada. Este processo é repetido até que todos os atributos a serem processados estejam perfeitamente classificados ou já se tenha processado todos os atributos.

Python [17] foi outra ferramenta escolhida para a implementação do Sistema Especialista, pois é uma linguagem de programação interpretada, bastante portátil, orientada a objetos (incluindo herança múltipla). Apresenta semântica dinâmica, um moderno mecanismo de tratamento de erros e exceções.

4.1.4 Aquisição de Conhecimento para o Protótipo

O problema de aquisição de conhecimento para o Protótipo do Sistema de Aviso de Estol consistiu basicamente na utilização do modelo definido para aquisição de conhecimento no item 4.1.2.1 utilizando Árvores de Decisão, introduzindo-as no sistema juntamente com todos os dados técnicos colhidos com os engenheiros e técnicos da área. Com isso, implantou-se a estrutura de dados do sistema e, conseqüentemente, o banco de conhecimento.

4.1.5 Levantamento de Dados para Testes e Validação do Banco de Conhecimento

Os dados para testes e validação do Banco de Conhecimento foram obtidos a partir do *Pilot Report* (PIREP) [15] e do *Flight Attendant Report* (FAR) [16]. Mediu-se o grau de acerto e a operacionalidade do protótipo através de simulações e, em conseqüência disso, foi realizada uma validação do Protótipo.

4.1.6 Aceitação do Protótipo

O protótipo deve satisfazer as expectativas do projeto mostrando ao cliente, neste caso a Gol Linhas Aéreas, que pode atender aos requisitos pré-definidos. Durante o desenvolvimento do sistema, houve acompanhamento por parte dos especialistas do domínio do conhecimento prosseguindo na sua validação e verificação.

4.1.7 Operacionalização do Protótipo

Nesta etapa, o protótipo foi refinado através da introdução das regras adicionais necessárias para atender globalmente os seus objetivos e disponibilizados para todos os possíveis usuários

4.1.8 Manutenção do Sistema Implantado

Durante a vida útil do sistema, ele deve ser realimentado com novas informações provenientes de problemas não conhecidos anteriormente ou refinados, a fim de torná-lo cada vez mais apto e útil aos requisitos esperados do sistema.

Capítulo 5

Sistema Especialista de Suporte à Decisão para o Diagnóstico de Falhas em Aeronaves (Aviso de Estol)

Neste capítulo é apresentado o protótipo desenvolvido, explicitando toda a estrutura, tanto interna como externa, além de exemplo de funcionamento. Está incluído também, a avaliação do protótipo, mostrando os resultados obtidos na utilização dos conceitos de verificação, validação e teste.

5.1 Desenvolvimento do protótipo

5.1.1 Escolha das Ferramentas

Levando em conta os objetivos propostos por este trabalho, desenvolveu-se um sistema de informação especialista de suporte à decisão para diagnóstico de falhas em aeronaves que fosse flexível e de fácil utilização. Para a construção deste sistema, conforme descrito no capítulo 4, foi utilizada a linguagem de programação Python [17], devido à sua flexibilidade, ser multi-plataforma e facilidade de uso. Aproveitando a flexibilidade da linguagem escolhida, foi

implementada uma das técnicas de mineração de dados, mais especificamente a técnica de Árvores de Decisão que foi desenvolvida para a mesma baseado em [18].

5.1.2 Estrutura Geral

O sistema está dividido em seis áreas de expertise, com quatro áreas principais, a saber: panel certification, ata 100, fault code, fault isolation, system help e vpx help. Ver casos de uso, diagrama de sequência e diagrama de classes nas figuras 16, 17 e 18, respectivamente.

Os casos de uso do protótipo podem ser agrupados sob a visão de dois atores: o usuário e o próprio sistema. Esta divisão é necessária, pois nem todas as ações que o sistema executa foram inicializadas pelo usuário. O diagrama de casos de uso do protótipo pode ser visualizado na Figura 16.

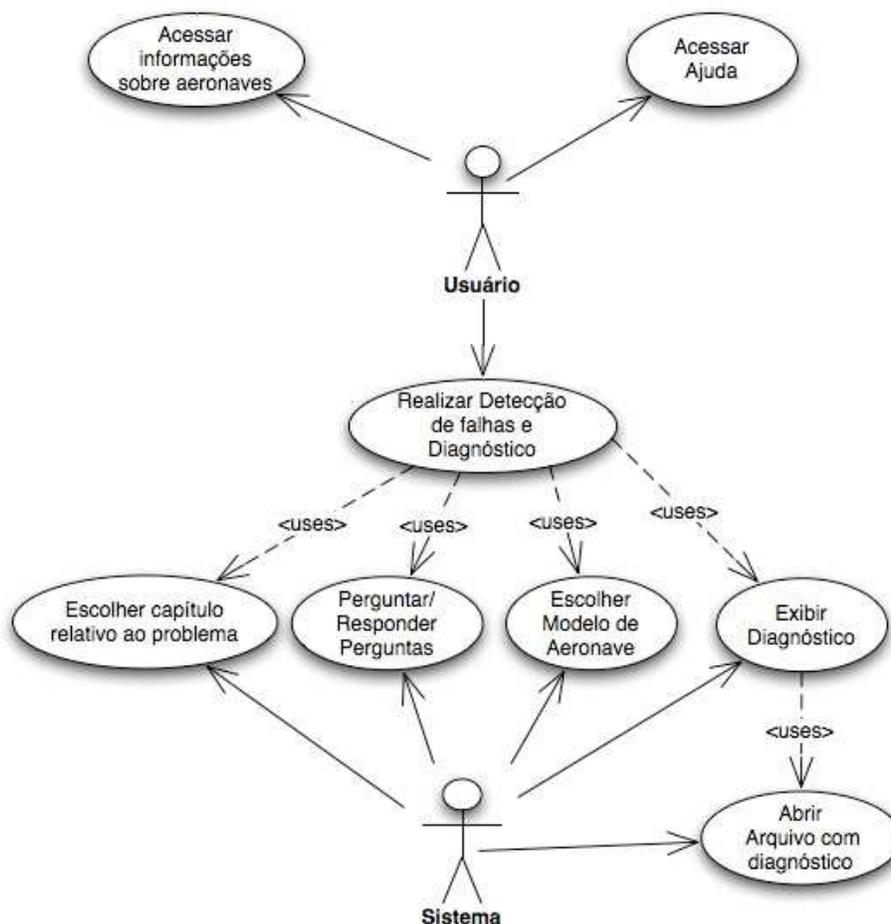


Figura 16. Diagrama de Casos de Uso

Do ponto de vista do usuário, os seguintes casos de uso podem ser listados:

- a) Acessar informações da aeronave;
- b) Acessar ajuda;
- c) Realizar Detecção de Falhas e Diagnóstico

Do ponto de vista do sistema, os seguintes casos de uso podem ser listados:

- a) Escolha capítulo relativo ao sistema;
- b) Perguntar/Responder Perguntas;
- c) Escolher Modelo de Aeronave;
- d) Exibir diagnóstico;
- e) Abrir Arquivo com diagnóstico.

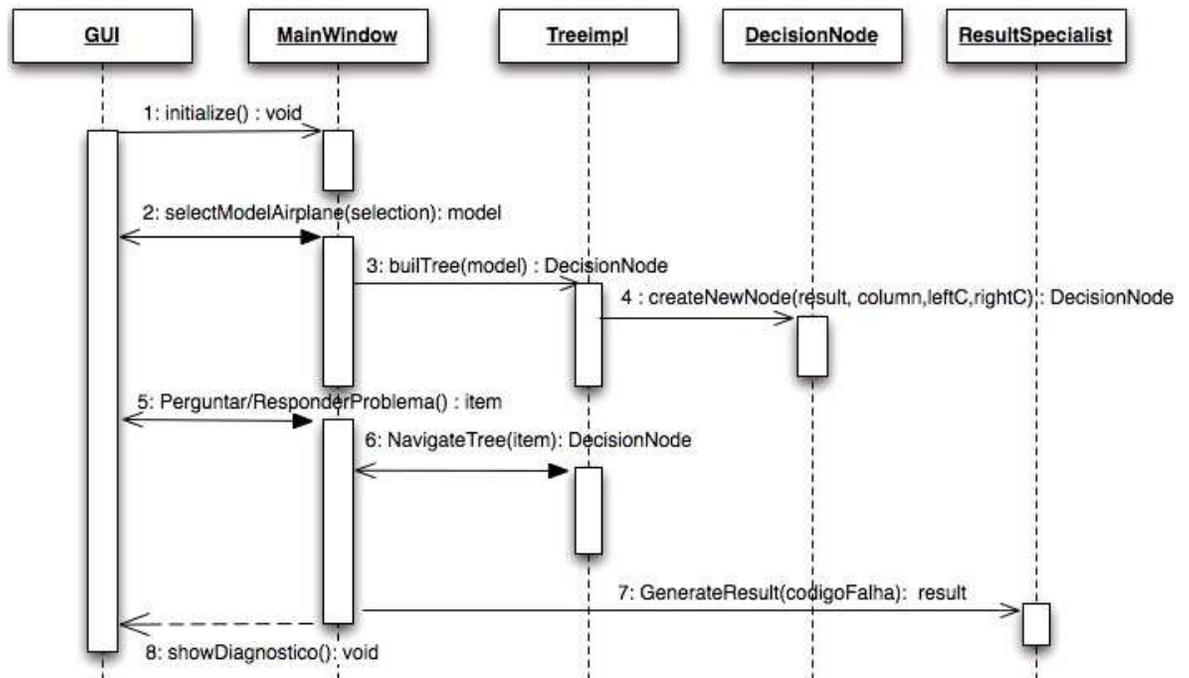


Figura 17. Diagrama de Sequência

O sistema está dividido em componentes, cujos principais são ilustrados por meio de um diagrama de classe ilustrado na figura 17. A classe *UI_MainWindow* representa a interface gráfica cuja classe *Main* estende. É por meio desta que o sistema é inicializado e também por onde é consultada a base de dados sobre as diversas aeronaves. A classe *DecisionNode* representa a instância de um nó de uma árvore de decisão. A classe *MainWindow* possui uma referência para

esta árvore o qual é construída e iterada por meio das operações *buildTree* e *navigateTree*, respectivamente. Por fim, o intercâmbio de perguntas e respostas entre usuário e sistema leva ao sistema ilustrar um possível diagnóstico final representado pelo operador *setLabels*.

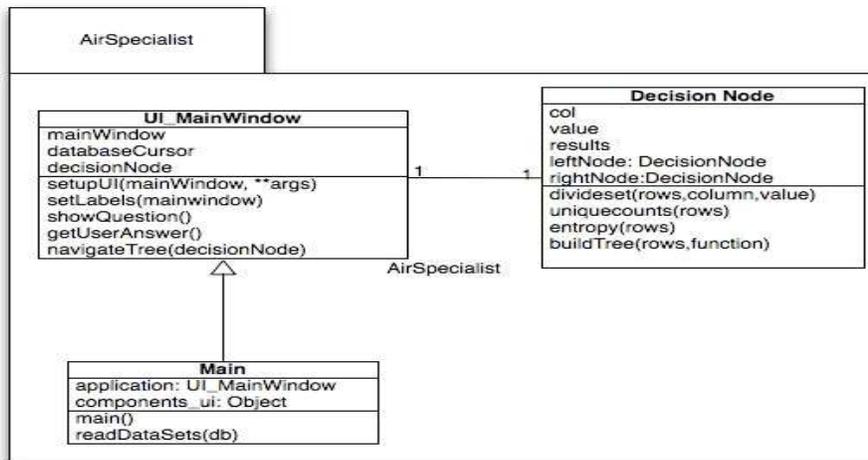


Figura 18. Diagrama de Classes do Protótipo

O sistema é acessível através da tela inicial, conforme mostrado na Figura 18 abaixo.



Figura 19. Tela Principal do Sistema com as seis áreas de expertise

Para realizar uma consulta ao sistema o usuário deve: (i) seguir as opções PANEL/CERTIFICATION, ATA 100, FAULT CODE e FAULT ISOLATION sequencialmente, ou, se desejar e se possuir as informações necessárias, (ii) poderá saltar algumas opções. A descrição do procedimento para uma consulta foi inserida no item SYSTEM HELP do menu principal. Este funciona mais como um utilitário de ajuda ao sistema para familiarizar o usuário com o uso do mesmo.

5.1.3 Panel/Certification

Nesta opção o usuário poderá obter informações relevantes a aeronave através do seu número de série, modelo e motor, conforme mostrado na Figura 19 abaixo. Tais informações são necessárias para o correto acesso ao sistema, visto que para cada aeronave, existem bases de conhecimento distintas por cada falha existente.



AirSpecialist por Robson Carneiro

AirSpecialist Version 0.1

Entre com as informações da aeronave:

Avião	GTA
Modelo	737-700
Serial	356
Motor	CFM56-7B

Voltar Avançar

Figura 20. Tela de Seleção da Aeronave

5.1.4 Ata especificação 100

De posse das informações sobre o modelo da aeronave, conforme a seção 5.1.3, o usuário é informado sobre a estrutura utilizada para separação dos sistemas que compõe a aeronave, que segue a ATA-100. A Figura 20 ilustra a tela de escolha de sistemas (capítulos) que o usuário deve optar de acordo com seu interesse. É importante salientar que o sistema está estruturado de forma que possa facilmente incluir outras bases de conhecimento, até incluir todos os sistemas (capítulos) relevantes da ATA-100. Todas essas informações são extraídas de uma base de dados que pode ser facilmente entendida.



Figura 21. Tela de Seleção do Sistema

Escolhido o sistema (capítulo), é apresentada uma breve descrição do mesmo e apresentadas opções relativas aos sub-sistemas (seções), conforme ilustrado na Figura 21. O usuário deve selecionar a seção, isto é, o sub-sistema no qual o problema se encaixa.



Figura 22. Tela de Seleção do Sub-Sistema

Depois de selecionado o sub-sistema (seção), no caso o Aviso de Estol apresentado no capítulo 2, é exibida uma breve descrição do mesmo com relação às informações do respectivo sistema (capítulo) e subsistema (seção) ilustrado na Figura 22.



Figura 23. Tela de Descrição do Sistema e Sub-Sistema

No exemplo mostrado nas figuras foi selecionado o Sistema (capítulo) de controle de voo (27) e o subsistema (seção) de Aviso de Estol (34). Após este estágio o sistema retorna à tela principal representado pela Figura 18.

5.1.5 Diagnóstico de Falha

Possuindo os dados da aeronave, do sistema e do subsistema, inicia-se a fase de procura pelo código de falha. Será apresentada ao usuário uma série de perguntas estruturadas por meio de uma técnica inteligente, neste trabalho, árvores de decisão, até que o sistema possa chegar ao resultado, neste caso, a solução encontrada. A Figura 23 ilustra um exemplo de tela de uma destas perguntas pelo sistema especialista. Além da pergunta, o qual usuário deve responder YES (Sim) ou NO (No), se houver algum pré-requisito é feita a indicação.

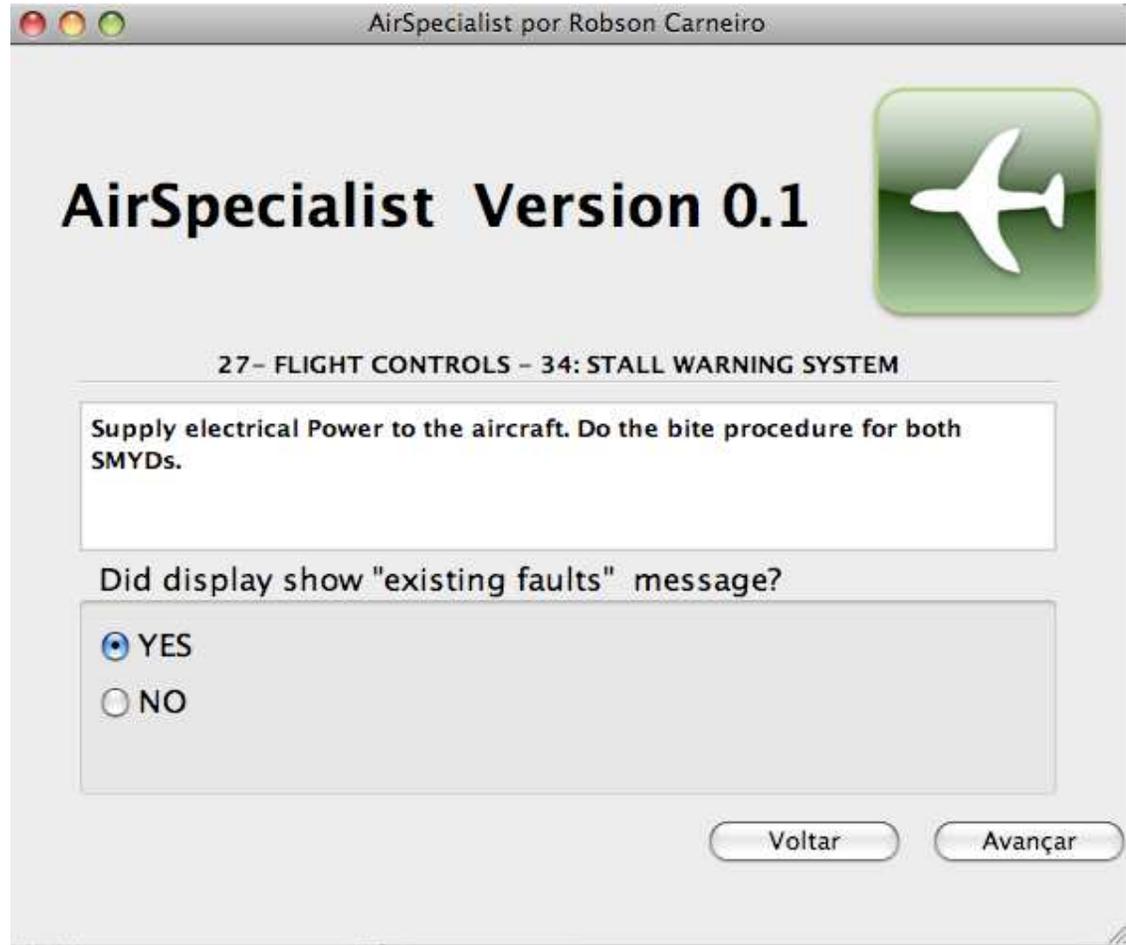


Figura 24. Tela de Auxílio do Especialista

Nesta etapa, objetiva-se isolar o código de falha e indicar a solução. Após a realização de perguntas, os quais são respondidos pelo usuário, chega-se ao resultado, o qual é informado um código para reparo relativo ao manual de trabalho da aeronave onde se tem o procedimento necessário ao reparo da mesma. A Figura 24 ilustra um exemplo de tela de diagnóstico do sistema especialista para um possível problema identificado.



Figura 25. Tela de Diagnóstico de Falha

Pode-se observar que o procedimento poderá ser diretamente acessado, o qual usuário ao clicar no respectivo link, o sistema automaticamente abre o respectivo manual com as informações de reparo necessárias para o diagnóstico e reparo do problema. Isto implica na redução de tempo que o usuário teria, em buscar manualmente o manual com posse do código de falha. Uma amostra de um manual de reparo para o código apresentado na Figura 22 está representada pela Figura 25.

803. SMYD Autoslat Fault - Fault Isolation

A. Description

- (1) This task is for these maintenance messages:
 - (a) 27-81004 A/S flt tst fail (SMYD 1)
 - (b) 27-82004 A/S flt tst fail (SMYD 2)
- (2) The AUTOSLAT light comes on.
- (3) The stall warning test will fail, if the fault is present.

B. Possible Causes

- (1) Stall management yaw damper (SMYD), M1747 (SMYD 1) or M1748 (SMYD 2)

C. Circuit Breakers

- (1) These are the primary circuit breakers related to the fault:

CAPT Electrical System Panel, P18-2

Row	Col	Number	Name
E	4	(C01392)	STICK SHAKER LEFT

F/O Electrical System Panel, P6-1

Row	Col	Number	Name
B	6	(C01393)	STICK SHAKER RIGHT

D. Related Data

- (1) (Figure 301)
- (2) (SSM 27-32-21)
- (3) (SSM 27-32-11)
- (4) (WDM 27-32-11)
- (5) (WDM 27-32-21)

E. Initial Evaluation

- (1) Do the EXISTING FAULTS test on the SMYD. Do this task: Stall Management Yaw Damper BITE Procedure, 27-32 TASK 801.
 - (a) If the maintenance message does not show, then there was an intermittent fault.
 - (b) If the maintenance message shows, then do the Fault Isolation Procedure below.

F. Fault Isolation Procedure

- (1) For fault 27-81004, replace the number 1 SMYD. These are the tasks:
 - Stall Management Yaw Damper (SMYD) Removal, AMM TASK 27-32-42-000-801
 - Stall Management Yaw Damper (SMYD) Installation, AMM TASK 27-32-42-400-801
 - (a) Make sure you do the test at the end of the installation procedure.
 - (b) If the test operates correctly, then you corrected the fault.
- (2) For fault 27-82004, replace the number 2 SMYD. These are the tasks:
 - Stall Management Yaw Damper (SMYD) Removal, AMM TASK 27-32-42-000-801
 - Stall Management Yaw Damper (SMYD) Installation, AMM TASK 27-32-42-400-801

Figura 26. Manual de Reparo do Sistema

5.1.6 Auxílio do Sistema

A opção *System Help* dá acesso a um pequeno texto sobre o sistema, onde se descreve as opções disponíveis e o procedimento para uma consulta.

5.2 Estrutura Interna

5.2.1 Representação do Conhecimento

Utilizou-se regras de decisão para representar o conhecimento contido no sistema, resultado provido por meio da árvore de decisão construída pelo sistema especialista [19]. A forma mais clássica de representar o conhecimento obtido é por estruturas se/então [18]. Ela consiste em simples estruturas condicionais se/então obtidas a partir do processamento realizado pelo algoritmo. Para se chegar a essa representação deve-se navegar por todos os nós da árvore obtendo para cada ramificação o valor de decisão correspondente, conforme exemplo representado na Figura 26.

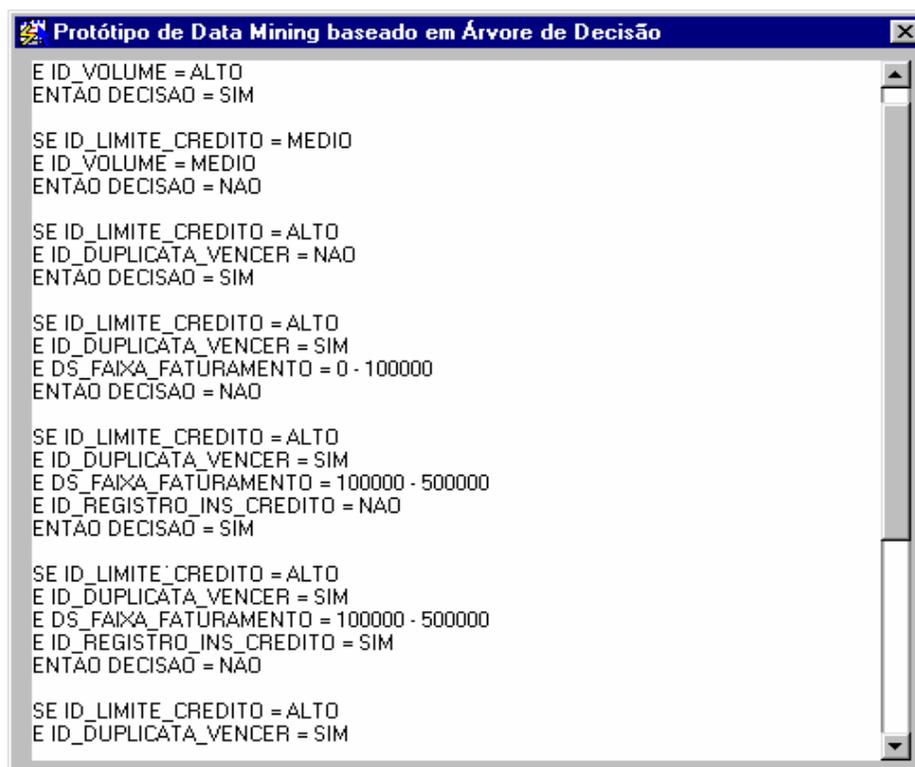
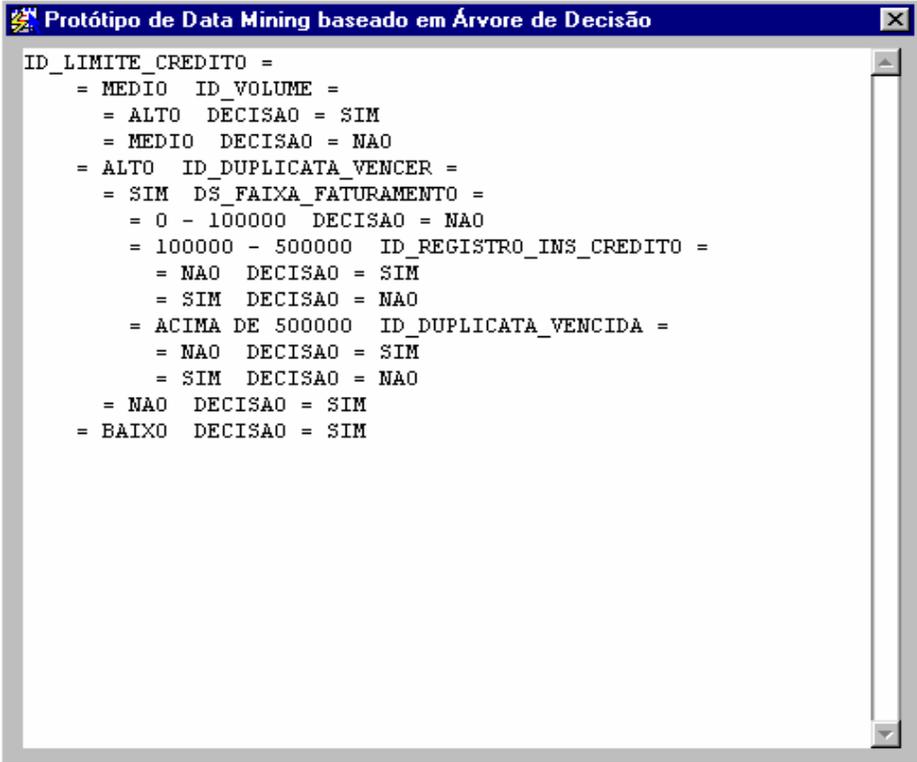


Figura 27. Visualização por Se/Então

A outra forma utilizada para visualizar os diversos níveis da árvore gerada pelo modelo é por nível. Esta forma demonstra claramente a hierarquia existente entre os elementos pertencentes aos diversos nós da árvore conforme exemplo representado na figura 27 abaixo.



```
ID_LIMITE_CREDITO =
  = MEDIO ID_VOLUME =
    = ALTO DECISAO = SIM
    = MEDIO DECISAO = NAO
  = ALTO ID_DUPLICATA_VENCER =
    = SIM DS_FAIXA_FATURAMENTO =
      = 0 - 100000 DECISAO = NAO
      = 100000 - 500000 ID_REGISTRO_INS_CREDITO =
        = NAO DECISAO = SIM
        = SIM DECISAO = NAO
      = ACIMA DE 500000 ID_DUPLICATA_VENCIDA =
        = NAO DECISAO = SIM
        = SIM DECISAO = NAO
    = NAO DECISAO = SIM
  = BAIXO DECISAO = SIM
```

Figura 28. Visualização por Nível

No trabalho realizado, utilizamos uma função de busca sobre a base de conhecimento que é estruturada a partir de uma árvore de decisão. Por meio da interação com o usuário através de perguntas sobre os sintomas apresentados pelo sistema da aeronave, o sistema chega a um número restrito de causas para a falha, podendo até ser mensurados os respectivos índices de possibilidade de falha. Ao invés de se apresentar todas as possíveis causas de falha, inicia-se a busca da solução por uma busca em uma árvore por nível onde se considera a seqüência dada pelos valores decrescentes do fator de certeza, isto é, o grau que mensura o nível de confiabilidade entre as causas e a solução, e pelo nível de facilidade na manutenção e acesso.

Por exemplo, se houvesse três possibilidades de causa para uma pane, elas seriam apresentadas diretamente ao usuário, tendo a indicação de suas respectivas possibilidades na causa da falha:

- CAUSA A – 45 %
- CAUSA B – 30%
- CAUSA C - 25%

Com o resultado acima, o usuário do sistema procuraria a causa mais provável da falha que seria, em primeiro lugar, a alternativa A. No sistema implantado, o usuário é levado diretamente a testar a causa com maior probabilidade, neste caso a causa A. Assim, fica facilitado trabalho do responsável que já tem indicado os procedimentos a seguir, ganhando tempo valioso na isolação da falha. Aos que estão em treinamento ou tem pouca experiência, o sistema se mostra mais amigável, não levando o usuário a ter que tomar decisões que podem atrasar mais ainda o diagnóstico da falha. Não obstante, as outras possibilidades de causas não tão prováveis também podem ser investigadas.

5.2.2 Bases do Conhecimento

5.2.2.1 Painel/Certificação

Este item tem por objetivo mostrar dados relevantes da aeronave para utilização do sistema. A árvore representada pela Figura 28 abaixo, mostra a organização da base do conhecimento. Inicia-se perguntando o número de série da aeronave. Através dele, o sistema se encarrega de procurar qual o grupo que ele pertence. Cada grupo tem características distintas. Após localizar as características pertinentes à aeronave, estas são apresentadas. Com esta estrutura pode-se facilmente alterar itens, tais como troca de grupo de uma aeronave, inclusão de novos grupos ou características novas.

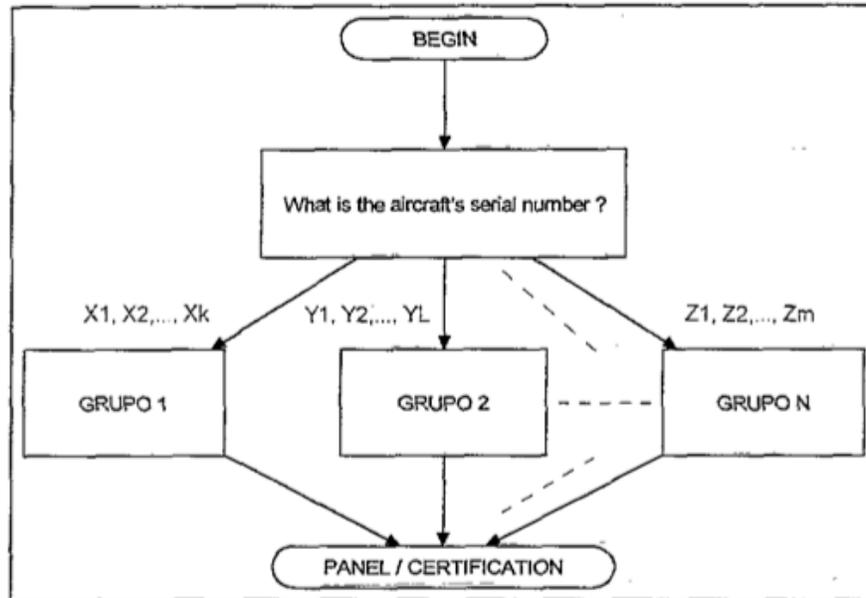


Figura 29. Árvore do Painel/Certificação

5.2.2.2 Ata/Especificação 100

Neste item o usuário pode encontrar o capítulo e seção pela ATA100, no qual se encontra algum sistema aviônico. A árvore ilustrada pela Figura 29 indica a estrutura utilizada na base de conhecimento. O início é pela escolha do capítulo, sendo mostrada em seguida pelas seções pertencentes ao capítulo, juntamente com uma descrição deste. Então, o sistema requisita ao usuário a seção do respectivo capítulo, exibindo uma descrição da seção e respectivos arquivos (bases de conhecimento).

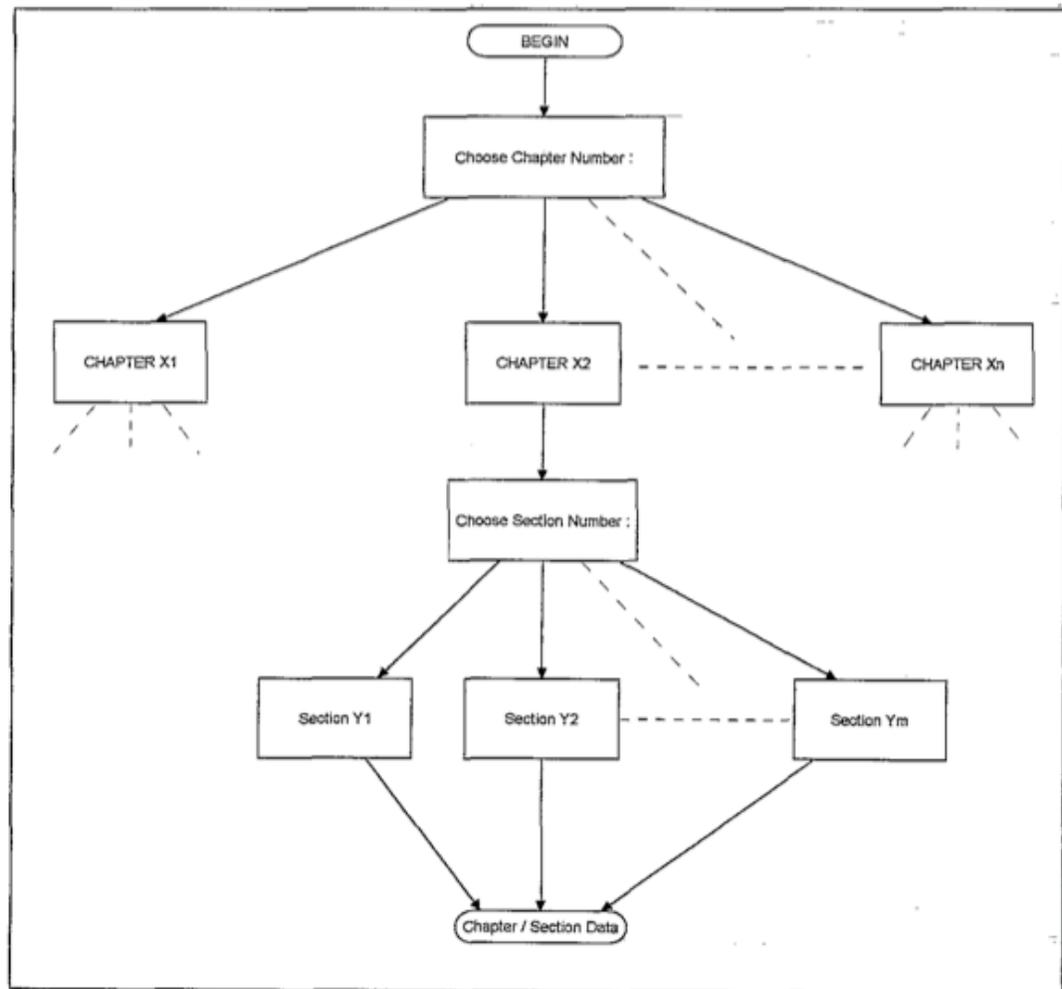


Figura 30. Árvore esquemática do Capítulo/Seção

5.2.2.3 Código de Falha

Nesta parte o usuário inicia a diagnose da falha, procurando o código de falha. Como não há uma estrutura generalizada nas árvores, será mostrada uma árvore gerada pelo sistema. Notar que as repostas foram mapeadas para ‘sim’ ou ‘não’, facilitando a utilização pelo usuário e evitando maiores enganos. Nosso exemplo abrange apenas o sistema de Aviso de Estol, cujas mensagens estão descritas a seguir.

5.2.2.4 Sistema de Aviso de Estol

Por meio desta etapa pretende-se chegar a um código de falha, indicando simultaneamente a base de conhecimento necessária para isolamento e diagnóstico de falha. As ‘folhas’ das

De acordo com [18] o processo de formação da árvore de decisão começa com a definição de que atributo será o nó inicial da árvore (também chamado de nó raiz). Para isso, deve-se calcular a entropia (conceito utilizado para determinar o fator de incidência de cada atributo não decisivo em relação ao decisivo) do atributo decisivo da coleção de dados determinada pela fórmula apresentada em (1). Conforme a tabela 01, o atributo decisivo é chamado de ‘AD’.

O processo de cálculo da entropia começa com a seleção distinta dos valores do atributo decisivo. Então se calcula a quantidade de vezes que cada um desses valores ocorre dentro da coleção.

A quantidade de ocorrências para cada um dos valores em AD é 1, exceto 27-005 com 2 ocorrências.

Quantidade total de ocorrências: 8

$I = \text{Quantidade de ocorrências para valor do atributo dividido pela quantidade total de ocorrências.}$

$S = \text{Coleção de dados (Tabela 01).}$

Considerando a fórmula da entropia abaixo (1):

$$\text{Entropia} = \sum -p(I) \log_2 p(I) \quad (1),$$

Calculamos:

$\log_2 = \text{Logaritmo de base 2,}$

$$\text{Entropia}(S) = - (1/8) * \log_2(1/8) - (2/8) * \log_2(2/8),$$

Logo:

$$\text{Entropia}(S) = 3,125$$

Após apurada a entropia do atributo decisivo deve-se calcular o valor de *Gain* (Ganho de Informação) para cada atributo não decisivo (conforme a tabela 01 seriam os atributos A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7 e A8) determinado pela fórmula abaixo (2). Portanto, o atributo não decisivo

que possuir maior valor de ganho de informação *Gain* será considerado o atributo inicial da árvore.

S_v = coleção de dados para cada um dos atributos não decisivos.

$$\text{Gain}(S, A) = \text{Entropia}(S) - \sum ((|S_v| / |S|) * \text{Entropia}(S_v)) \quad (2),$$

Cálculo do valor de *Gain* para o atributo A2:

Para calcular o valor de *Gain* deve-se selecionar os valores distintos de cada atributo não decisivo, e contar a quantidade de vezes que cada um desses valores ocorre em relação ao atributo decisivo, calculando-se também a sua entropia, conforme demonstração abaixo:

Valores distintos para A2: (YES, NO)

Quantidade de ocorrências para (YES, NO): (2,6)

$$\begin{aligned} \text{Entropia (YES)} &= \text{YES}/27-31005 = 0,333, \text{ YES}/27-004= 0,333, \text{ YES}/27-31026= 0, \\ &\text{ YES}/27-31002= 0, \text{ YES}/27-31000= 0, \text{ YES}/27-005= 0, \text{ YES}/27-31021=0. \end{aligned}$$

$$\text{Entropia (YES)} = 0,666$$

$$\begin{aligned} \text{Entropia (NO)} &= \text{NO}/27-31005 = 0, \text{ NO}/27-004= 0, \text{ NO}/27-31026= 0,333, \\ &\text{ NO}/27-31002= 0,333, \text{ NO}/27-31000= 0,333, \text{ NO}/27-005= 0,5, \text{ NO}/27-31021=0,0 \end{aligned}$$

$$\text{Entropia (NO)} = 1,8$$

$$\begin{aligned} \text{Gain}(Y, A2) &= 1 - ((1 / 2) * \text{Entropia}(27-31005/Yes) + (1 / 2) * \text{Entropia}(27-004/Yes) \\ &+ (1 / 6) * \text{Entropia}(27-31026/Yes) + (1 / 6) * \text{Entropia}(27-31002/Yes) \\ &+ (1 / 6) * \text{Entropia}(27-31000/Yes) + (2 / 6) * \text{Entropia}(27-005/Yes) \\ &+ (1 / 6) * \text{Entropia}(27-31021/Yes). \end{aligned}$$

$$\text{Gain}(Y, A2) = 1 - ((1/2) * 0.333) + ((1/2) * 0.3333) + ((1/6) * 0) + ((1/6) * 0) + ((1/6) * 0) + ((1/6) * 0) + ((2/6) * 0) + (1/6 * 0)$$

$$\text{Gain}(Y, A2) = 0.6777$$

O mesmo processo é realizado para os demais atributos onde obtêm-se o seguinte resultado:

$$\text{Gain}(Y, A1) = 0,207$$

$$\text{Gain}(Y, A3) = 0.081$$

$$\text{Gain}(Y, A4) = 0.081$$

$$\text{Gain}(Y, A5) = 0.081$$

$$\text{Gain}(Y, A6) = 0.081$$

$$\text{Gain}(Y, A7) = 0.081$$

$$\text{Gain}(Y, A8) = 0.081$$

O atributo 'A2' possui o maior valor de *Gain*, logo ele será o atributo usado como nó inicial da árvore. Determinado o nó inicial da árvore, o próximo passo é definir a primeira ramificação que a árvore vai sofrer. Para isso, devem-se selecionar os diferentes valores possíveis para o atributo considerado como nó inicial da árvore, conforme tabela 01, o atributo A2 possui 2 valores distintos (YES, NO) e para cada um desses valores deve-se criar uma ramificação.

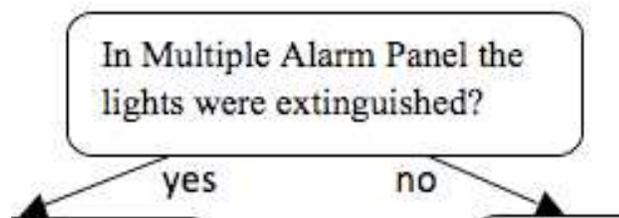


Figura 31. Primeira Ramificação da Árvore

O próximo passo é saber qual é o próximo nó a ser gerado para cada uma das novas ramificações existentes. Para isto deve-se agora considerar cada subconjunto gerado pelo valor dos atributos do nó raiz, conforme tabelas 2 e 3.

Tabela 2. Subconjunto gerado pelo atributo 'A2' valor 'YES'.

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	AD
YES	YES	NO	YES	NO	NO	NO	NO	27-31005
YES	YES	NO	NO	NO	NO	NO	NO	27-004

Tabela 3. Subconjunto gerado pelo atributo 'A2' valor 'NO'.

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	AD
NO	NO	YES	NO	NO	NO	NO	NO	27-31026
YES	NO	NO	NO	YES	YES	NO	NO	27-31002
NO	NO	NO	NO	NO	NO	YES	NO	27-31000
NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	27-005
YES	NO	NO	NO	NO	NO	NO	YES	27-31021
YES	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	27-005

Seguindo o mesmo processo realizado pelo nó raiz deve-se calcular a entropia de cada uma das ramificações geradas pelo nó que foi criado.

$$\text{Entropia(YES)} = 0.55$$

$$\text{Entropia(NO)} = 0.105$$

Para a ramificação que ainda não esteja perfeitamente classificada deve-se determinar qual o próximo atributo a ser conectado à ramificação. Efetuando os mesmos cálculos sobre a coleção de dados representados pelas tabelas 02 e 03, chega-se aos seguintes valores de *Gain* para os atributos restantes.

$$\text{Gain}(Y, A1) = 0.666$$

$$\text{Gain}(Y, A3) = 0.2112$$

$$\text{Gain}(Y, A4) = 0.2112$$

$$\text{Gain}(Y, A5) = 0.2112$$

$$\text{Gain}(Y, A6) = 0.2112$$

$$\text{Gain}(Y, A7) = 0.2112$$

$$\text{Gain}(Y, A8) = 0.2112$$

De acordo com os valores calculados o atributo com maior valor de *Gain* é o atributo A1. Caso exista mais de um atributo com o mesmo valor de *Gain*, o sistema dará preferência ao atributo que tiver o maior valor de prioridade, que deve ser informada pelo usuário.

No algoritmo ID3 as ramificações que possuem valor de entropia igual a zero já estão perfeitamente classificadas, isto é, existe apenas um valor distinto de decisão para a mesma, logo já pode-se finalizar a ramificação com um nó de decisão, atribuindo-se ao nó o valor distinto gerado pela sua ramificação, conforme demonstrado na figura 31.

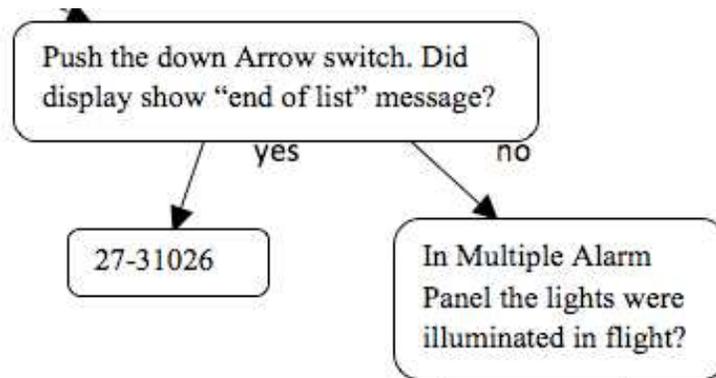


Figura 32. Geração de Nós de decisão de uma árvore.

Este processo deve ser repetido até que todos os atributos estejam perfeitamente classificados ou todos os atributos já tenham sido processados. Na Figura 32 é demonstrado como ficará uma possível árvore de decisão após o seu processamento completo.

PREREQUISITES: - Supply electrical Power to the aircraft.
 - Align both ADIRU's.

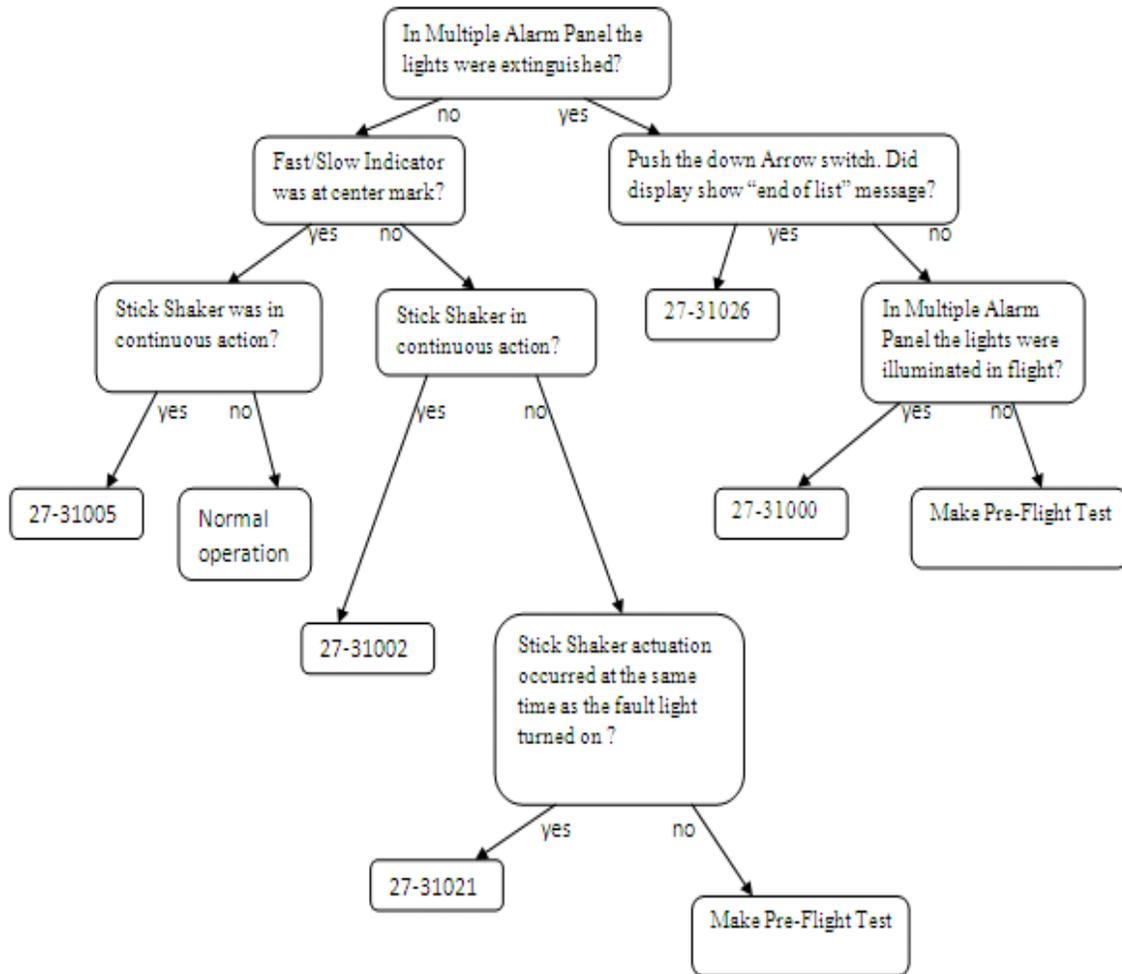


Figura 33. Exemplo de árvore de decisão gerada para aeronave GOA- 737-700- Aviso de Estol.

Através dos dados contidos na tabela 01 chegou-se na representação gráfica da árvore de decisão, conforme demonstrada pela figura 30, onde, nem todos os atributos envolvidos estão presentes. Isto ocorre devido à forma com que os dados estão dispostos na base de dados, isto é, conforme os dados sofram modificações ou tenha novas inclusões, a árvore poderá ganhar mais níveis e conseqüentemente mais nós.

5.2.2.6 Consulta ao Sistema Especialista

A consulta é apresentada de forma direta, com as respostas do usuário indicadas. A Figura 33 ilustra uma possível consulta ao sistema especialista. Pode-se observar que a travessia pela árvore se dá conforme as respostas são enviadas pelo usuário até que o sistema encontre uma solução na sua base de conhecimento.

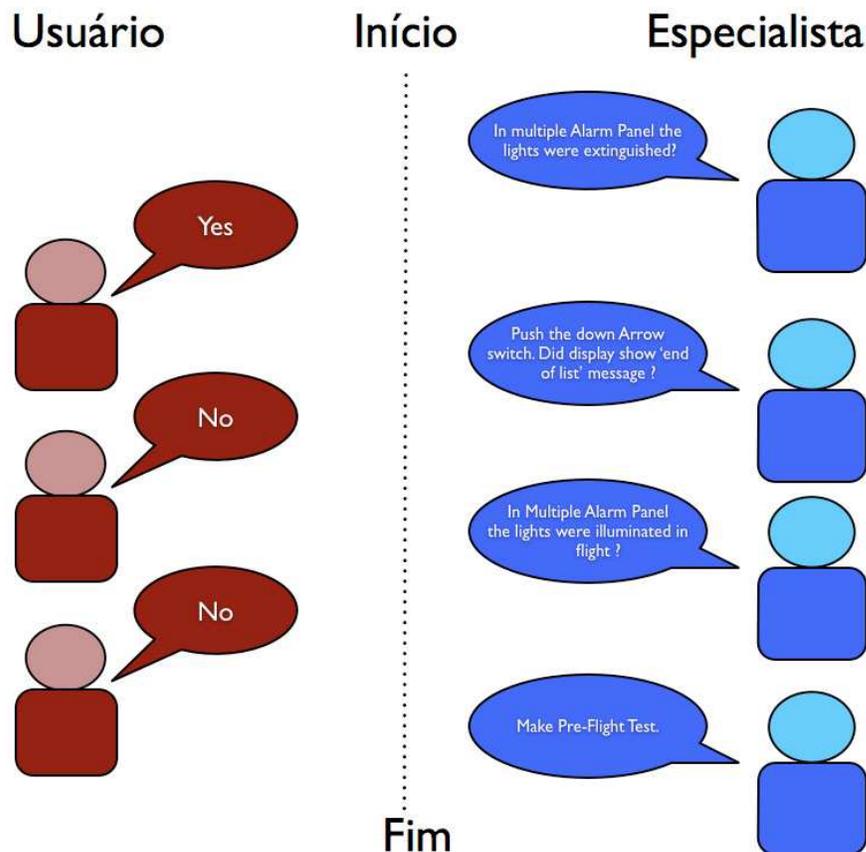


Figura 34. Exemplo de Consulta ao Sistema Especialista.

5.3 Análise de Resultados

5.3.1 Introdução

O processo de avaliação é preferivelmente iniciado na fase de projeto e deve ser contínuo. Nos estágios iniciais comenta-se o sentido da avaliação. Uma maneira mais formal seria a avaliação de desempenho tradicional que envolve, por exemplo, a medição do número de acessos ao disco rígido ou tempo requerido pela CPU para determinada tarefa. Os sistemas especialistas, ao contrário de programas convencionais, não são ideais para os problemas que não têm, claramente, uma resposta correta [12].

Na literatura, existem importantes referências relacionadas aos domínios apropriados ou problemas para aplicação da tecnologia de sistemas baseado em conhecimento [20].

5.3.2 Avaliação do Protótipo

O plano inicial deste trabalho era de se chegar até o desenvolvimento deste protótipo. Este teria que possuir suficiente conhecimento para poder ser avaliado. Por decisão de projeto, foi implementado o sistema de *Aviso de Estol*. Numa primeira fase, com o especialista, foi avaliada a apresentação e o modo de consulta do sistema até se chegar a um resultado satisfatório. Também é analisado a estruturação, o formato e a disponibilidade das informações. Foram utilizados os manuais de manutenção [9] em conjunto com o especialista.

Devido ao curto prazo, foram escolhidas algumas pessoas para realizar os testes de usabilidade, os quais tiveram uma breve introdução sobre o funcionamento e utilização do sistema. Estas pessoas tinham experiência na manutenção de aeronaves, mas não necessariamente no sistema implantado no protótipo. Nos testes, os usuários utilizaram o sistema para tentar resolver os problemas apresentados num conjunto pré-definido de problemas. Com isso, pode-se avaliar tanto a resposta do sistema em relação à solução real quanto a facilidade na utilização do sistema pelo usuário.

Na primeira avaliação, foram comparados o número de regras utilizados até chegar à solução seguindo duas abordagens:

- A. Pelos especialistas na área de sistemas de aviso de estol, sem o uso do sistema e apenas com uso de manuais.
- B. Pelo sistema especialista guiado pelos usuários que tiveram um breve treinamento, conforme mencionado anteriormente.

A seguir é apresentada uma tabela contendo os resultados parciais para os casos específicos, com algumas bases de conhecimento envolvidas. Os valores associados ao usuário

(A) e ao sistema especialista (B) equivalem-se à média de regras utilizadas em 10 casos de teste para ambos.

Tabela 4. Análise Especialista x Sistema Especialista em número de regras empregadas.

Base	Numero de Regras	Especialista (A)	Sistema Especialista (B)
Aviso de Estol/GOA	34	20 (58%)	19 (55%)
Freios/GOA	39	22 (56%)	26 (66%)
Freios/GGA	56	48 (85%)	34 (60%)
Aviso de Estol/GGA	32	10 (31%)	10 (31%)
Média	23	25	22.25

Podemos observar pela tabela 4 que o sistema especialista obteve um melhor resultado, pois foram utilizadas uma quantidade de regras menor para se chegar à solução, em comparação com um especialista humano. Isto mostra que o sistema especialista é eficiente na eliminação de redundância de regras, permitindo ao usuário chegar rapidamente à solução. Logicamente, podemos apenas concluir com base nestes resultados, necessitando em trabalhos futuros uma análise mais detalhada e com maior numero de dados representativos.

Para avaliarmos a taxa de acerto utilizamos a base utilizada na primeira avaliação utilizada pelo especialista humano a fim de avaliar o desempenho do protótipo. Com 75% dos dados para treinamento e o restante para testes. A tabela 5 ilustra os resultados para as mesmas bases utilizadas na primeira avaliação. Vale salientar que para cada base, um determinado número de casos foi analisado.

Tabela 5. Análise do Sistema Especialista em Acertos e Falhas

Base	Número de Casos	Acertos	Falhas	Não Classificou
Aviso de Estol/GOA	12	9 (75%)	2 (17%)	1 (8%)

Aviso de Estol/GTB	8	6 (75%)	2 (25%)	0 (0%)
Aviso de Estol/GGZ	10	9 (90%)	1 (10%)	0 (0%)
Aviso de Estol/GGA	11	8 (71.9%)	1 (0.1%)	2 (18%)
TOTAL	41	33	6	3

5.3.3 Resultados

O nível de utilização das bases de conhecimento ficou em **52.97%** (89 regras utilizadas no universo de 168), considerado como muito bom, e superior ao desempenho humano. Foi alcançado um nível de acerto de **80,48%** (33 acertos em 41 casos), o que leva a concluir que o sistema funciona de forma satisfatória, porém não no ramo aeronáutico, onde o aceitável seria 100% de acerto. Notar que os erros ocorreram nos casos de falha durante o vôo, pois estes são menos previsíveis do que no teste pré-vôo, onde existe já uma rotina bem determinada aos manuais. À medida que mais testes forem realizados, pode-se avaliar de forma mais precisa o sistema a fim de verificar as causas pelo qual o sistema falhou em diagnosticar a falha apresentada. A base de dados pode ter tido algum tipo de inconsistência ou dados faltantes, visto que foram utilizadas bases construídas a partir de conhecimento coletado com humanos, portanto é necessário aumentar a base de conhecimento que contem os exemplos de treinamento a fim de melhorar o poder de classificação das Árvores de Decisão.

Já o tempo de resposta foi considerado satisfatório pelos especialistas, variando de acordo com o problema a ser diagnosticado.

Notou-se facilidade na utilização do sistema, não havendo dificuldade em entendimento e nem na conclusão, por parte do usuário. Em parte, isto se deveu à estruturação do sistema com base na ATA 100 [14]. Também a divisão da busca da solução, numa primeira parte pesquisando por meio de técnicas inteligentes o código de falha, o qual reduziu o campo de ação, permitindo uma diminuição na redundância de regras, além de otimizar a busca e diminuir o tempo da consulta.

Esta divisão facilita o trabalho da manutenção do sistema, pois o trabalho na empresa fabricante é dividido em grupos, não cabendo a uma só pessoa ou equipe a responsabilidade por

toda a aeronave. Convém repetir que a estrutura montada é facilmente expansível, para incluir os outros itens do controle de Vôo e outros capítulos da ATA-100. O sistema, portanto, parece servir à equipe de manutenção, podendo estar num equipamento em terra, ou havendo disponibilidade, embarcado na aeronave ou até em um dispositivo móvel.

Por ser então um trabalho multidisciplinar e até certo ponto inovador, visto que não foram encontrados outros trabalhos que usam a mesma técnica de I.A., Árvores de Decisão, nesse domínio de aplicação, os resultados podem ser melhorados gradativamente através do incremento de exemplos de treinamento para potencializar o aprendizado das Árvores de Decisão do sistema.

6 Conclusão e trabalhos futuros

6.1 Resumo

A manutenção de aeronaves é um fator crítico para as empresas do setor aeronáutico, tanto as fabricantes como as prestadoras de serviço, não só pela sua influência direta no custo operacional como, também, pela possível perda de vidas por acidentes ocorridos e pelo rígido controle existente no setor, o qual é exercido pela ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil).

Para uma aeronave poder operar ela precisa estar nas condições mínimas exigidas. Estas condições estão indicadas num documento chamado MMEL (Master Minimum Equipment List) elaborado pelo órgão fiscalizador brasileiro.

Quando ocorre alguma pane na aeronave existem duas alternativas: a primeira é que a pane ocorrida não impeça, pelo menos por um trecho ou etapa, o voo. Com isso, pode-se escolher entre sanar a pane, se houver tempo hábil para isso, ou liberar a aeronave para a próxima etapa de voo, postergando a eliminação da pane. A segunda é a retenção da aeronave até que o problema seja sanado.

Note-se que uma decisão, em qualquer dos casos, implica em muita responsabilidade, pois um erro na sua elaboração pode gerar conseqüências desastrosas. Estas conseqüências influem tanto no custo operacional como na imagem da empresa, além da possível irreparável perda de vidas pela ocorrência de acidentes.

Fica evidente, portanto, a importância de se dotar os tomadores de decisão envolvidos neste processo de todos os meios e auxílios possíveis para que eles possam decidir corretamente.

Este trabalho objetivou o projeto e implementação de um Sistema Especialista para auxiliar no diagnóstico de falhas em sistemas de aeronaves. Inicialmente foi realizado um estudo geral sobre os sistemas aviônicos do Boeing 737-700/800, através de leituras técnicas e troca de informações com o engenheiro responsável, e também a familiarização com procedimentos, documentação e relatórios pertinentes da empresa. Depois se procedeu com a coleta dos dados técnicos do sistema de aviso de estol (*Stall Warning System*) a partir da experiência acumulada por especialistas (engenheiros e técnicos) no setor de manutenção de aeronaves da Gol Linhas Aéreas e dos reportes dos pilotos (*PIREP – Pilot Reports*) da companhia. Este sistema foi selecionado como prova de conceito, implementado e apresentado para testes de uso junto a usuários reais.

A partir de uma base de conhecimento consolidada, foram implementados algoritmos para montagem das Árvores de Decisões necessárias para o diagnóstico de falhas na aeronave Boeing 737-700/800, especificamente o módulo sobre aviso de estol. Finalmente, de posse dos algoritmos implementados e validados, foi desenvolvida uma aplicação, na qual o usuário responde a perguntas feitas pelo sistema, e tem como resultado o diagnóstico da falha, assim como a ação corretiva necessária para solução da mesma. Os resultados desses testes de uso revelaram que o sistema é efetivo no que se propõe e que pode vir a ser estendido para outros módulos existentes em manutenção de aeronaves.

6.2 Discussão

Este trabalho pode ser um ponto de partida para se desenvolver uma nova linha de pesquisa no DSC (Departamento de Sistemas e Computação), ou seja, em problemas com aplicações de tecnologia da informação no ramo aeronáutico, associado à manutenção de aeronaves.

Por ser uma área que requer conhecimentos técnicos específicos de sistemas aviônicos, o entendimento da base teórica foi lento e representou uma dificuldade para este trabalho de monografia. Vários tipos de materiais, como textos escritos a mão por especialistas, documentos da empresa e manuais técnicos de todas as áreas foram lidos. Além disso, buscamos trabalhos cujas técnicas e finalidade de aplicação se aproximassem deste escopo, o que não foi encontrado na literatura. Por ser então um trabalho multidisciplinar e até certo ponto inovador, foram encontradas todas as dificuldades que um trabalho fora do escopo da engenharia da computação

pode encontrar. A exigüidade de tempo foi outro fator que dificultou o desenvolvimento deste trabalho, uma vez que ele foi desenvolvido em paralelo a outras disciplinas, o emprego, e outras atividades extra-pesquisa.

6.3 Trabalhos Futuros

O Sistema Especialista desenvolvido apresentou resultados bastante satisfatórios em seu presente estado, mas são necessários testes em maior escala para que o sistema venha a auxiliar ou até substituir completamente um especialista, junto à equipe de manutenção num trabalho real.

Como proposta de trabalhos futuros, sugerimos:

1. Expansão das bases de conhecimento para abranger todos os sistemas aviônicos da aeronave;
2. Análise de novas métricas, como tempo de resposta, acurácia e cobertura do sistema decisório;
3. Realização de mais experimentos sobre o sistema a fim de validar o uso de árvores de decisão como técnica utilizada pelo sistema especialista;
4. Aprimoramento da interface para permitir a utilização do sistema como ferramenta de treinamento;
5. Inclusão de recursos hipermídia, possibilitando acesso direto a todos os manuais da aeronave, tanto para localização de componentes, quanto para procedimentos de manutenção;
6. Uso da rede de computadores da empresa para manutenção e distribuição do S.E.;
7. “*Hard Wiring*” constituído de sensores enviando dados/informações de alarmes direto para o Sistema Especialista. O S.E. poderia estar instalado numa bancada de testes de manutenção onde haveria a conexão com os sistemas da aeronave no solo ou a bordo desta, havendo monitoramento durante o vôo;
8. Incluir mecanismos automáticos de inclusão de novas regras e fatos, com conseqüente reconstrução das árvores de decisão.

6.4 Considerações Finais

A utilização da Inteligência Artificial já deixou a muito tempo de ser somente um conceito acadêmico. Os Sistemas Especialistas, por sua vez compõem um ramo de grande sucesso comercial da I.A. principalmente com o desenvolvimento de softwares e máquinas de pequeno e médio porte com grande capacidade, tornando mais disponível financeiramente o desenvolvimento de sistemas. Por outro lado, há um mercado cada vez mais competitivo, globalizando-se, onde o crescimento econômico é cada vez mais difícil. Portanto, disponibilizar serviços de qualidade a preços mais baixos é vital para a sobrevivência das empresas.

O ramo aeronáutico não difere dos outros, apesar do fator segurança ser mais importante nesta área. A manutenção de uma aeronave visa manter o estado do aparelho em condições seguras e de acordo com as normas vigentes do órgão regulamentador, para a sua utilização e ao menor custo total para o operador.

O sistema desenvolvido vem assim auxiliar na manutenção corretiva, visando maximizar operacionalidade e minimizar desperdício de recursos de toda ordem. Com isso, pode-se obter melhores resultados operacionais, além de se obter uma importante padronização de informação e procedimentos que advenham também por experiência de campo, ficando em muito facilitada a sua consulta em situações futuras análogas.

Por fim, destacamos que este trabalho resultou na implementação de um Sistema Especialista (S.E.) para auxiliar na manutenção de aeronaves, aplicado à aeronave Boeing 737-700/800. O S.E. dará apoio à equipe de manutenção no processo de tomada de decisões no trabalho de manutenção, utilizando um banco de regras contendo conhecimentos especializados. Foi implementado, como um exemplo de aplicação, o subsistema de Aviso de Estol, que evita a aeronave chegar a uma condição de estol ou perda de sustentação. Este trabalho se justifica pela real necessidade de se dar à equipe de manutenção uma ferramenta de apoio que a auxilie na solução de problemas na manutenção de aeronaves.



*ESCOLA POLITÉCNICA
DE PERNAMBUCO*

Bibliografia

- [1] RICH, E. **Artificial Intelligence**. New York, Mc-Graw Hill, 1994.
- [2] PARTRIDGE, D. & WILKS, Y. **The Foundations of Artificial Intelligence: a Sourcebook**. England, Cambridge University Press, 1990.
- [3] BIELAWSK, L & LEWAND, R. **Intelligent Systems Design**. EUA, John Wiley & Sons, Inc., 1991.
- [4] SAMUEL, A.L. **Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers**. In: E.A. Feigenbaum & J. Feldman, eds. **Computers and Thought**, New York, Mc-Graw Hill, 1983.
- [5] RUSSEL, Stuart; NORVING, Peter. **Artificial Intelligence: A Modern Approach**. 1. ed. New Jersey: Prentice-Hall. 1995.
- [6] GAINES, B.R. & BOOSE, J.H. **Knowledge – Based Systems**. San Diego, CA, Academic Press, Inc., 1998.v.1.
- [7] ERNST, G.W. & NEWELL, A. **GPS: A case Study in Generality and Problem Solving**. New York, Academic Press, Inc., 1979.
- [8] HORWOOD, E. **Ellis Horwood Series – Advances in Cognitive Science 1**. England, Ed. N.E. Sharkey, 1986.
- [9] The BOEING Company, **Manual Geral de Manutencao**. Seattle, EUA, 2000.
- [10] WHITEHEAD, A.N e RUSSELL, B. **Principia Mathematic**. 56nd e., Mass., Cambridge University Press, 1962
- [11] BERLINER, H.J. **A Chronology of Computer Chess and Its Literature**. Artificial Intelligence, 10(2), 1978.
- [12] HAYES-ROTH, FREDERICK ET ALII. **Building Expert Systems**. Mass., Addison-Wesley Publishing Co. Inc., 1983.
- [13] The BOEING Company, **Fault Isolation Manual**. Seattle, EUA, 2000.
- [14] AIR TRANSPORT ASSOCIATION, **ATA 100 Specification Standard**, 1999.
- [15] GOL LINHAS AEREAS S/A. **Pilot Reports (PIREP)**, São Paulo, SP, 2009
- [16] GOL LINHAS AEREAS S/A. **Flight Attendant Reports(FAR)**, São Paulo, SP, 2009

- [17] ROSSUM, Vo Guido. **Python Programming Language**. Acessível em:
<http://www.python.org/>
- [18] QUINLAN, Ross and KAUFMANN, Morgan. **Programs for Machine Learning**. USA :
McGraw-Hill, 1993.
- [19] BERRY, Michael J. A.; LINOFF, Gordon. **Data Mining techniques**. USA : Wiley
Computer Publishing, 1997.
- [20] CASEY, T. **Picking the Right Expert Systems Applications**. AI Expert, p. 44-47. Set.
1989.
- [21] http://pt.wikipedia.org/wiki/Desastre_a%C3%A9reo_de_Tenerife

Apêndice A

A. Manutenção de Aeronaves

Este Apêndice visa apresentar os tipos de manutenção aplicados nas aeronaves Boeing 737-700/800, seus intervalos e serviços de manutenção.

A.1 Generalidades

A manutenção de uma aeronave visa manter o estado do aparelho em condições seguras e de acordo com as normas vigentes do órgão regulamentador, para a sua utilização e ao menor custo total para o operador. O Brasil obedece à Organização de Aviação Civil Internacional – OACI para regulamentação.

Dentre as modalidades de manutenção, iremos destacar duas:

- Manutenção Preventiva e
- Manutenção Corretiva.

O trabalho de pesquisa aqui apresentado tem por objetivo auxiliar na manutenção corretiva, visando maximizar operacionalidade e minimizar desperdício de recursos de toda ordem.

A.2 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva corresponde a tarefas pré-determinadas, realizadas a intervalos específicos. O fabricante da aeronave deve fornecer todo o programa de manutenção, designado

pelo MGM – Manual Geral de Manutenção. [9], resultante de extensa análise de engenharia, experiência de manutenção com sistemas similares e experiência dos operadores.

O papel do operador é o de manter atualizados os registros de manutenção das aeronaves.

O órgão regulamentador normaliza toda a aeronave e seus sistemas através de certificações, as quais o operador e o fabricante devem atender para permitir a utilização da aeronave no país.

No Brasil, a Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC fiscaliza o cumprimento dos regulamentos.

A ANAC delega ao Centro Tecnológico Aeroespacial – CTA, através do seu Instituto de Fomento e Coordenação Industrial – IFI, o trabalho de homologação e certificação de aeronaves.

A.2.1 Intervalos

Na Manutenção Preventiva, o tempo entre as tarefas, intervalos, segue medidas padronizadas.

Os intervalos entre tarefas de manutenção podem ser medidos em horas de voo (*Flight Hours - FH*), ciclos (*Flight Cycles – FC*) ou tempo de calendário (*Calendar time – CT*). Cada ciclo corresponde a uma decolagem e uma aterrissagem. Utilizam-se códigos para determinar os intervalos entre as tarefas. Como, por exemplo:

- A e múltiplos de A:

Indica intervalos de 300/400 FH ou 300/400 FC, sendo o valor 300 para operadores novos e 400 para operadores experientes. Um múltiplo é indicado por um número colocado antes da letra. Pode-se ter até o valor 5 como múltiplo. O valor do intervalo é o resultado da multiplicação do múltiplo pelo valor do intervalo designado pela letra. Por exemplo, o intervalo de 3A, para A igual a 300 é de 900.

- C e múltiplos de C:

Indica intervalos de 3000/4000 FH ou 3000/4000 FC. O valor 3000 é para operadores novos e 4000, para operadores experientes. O múltiplo segue a mesma regra de A, do item anterior.

Como referencia para o intervalo da tarefa, utiliza-se o primeiro índice a ser alcançado, FH ou FC.

A.2.2 Tarefas

Os tipos de tarefas da manutenção preventiva têm uma codificação específica para indicar sua natureza. O conteúdo da tarefa, ou o que realizar, é específico para cada aeronave e é determinado pelo fabricante. Ele está contido no documento MGM [9], que referencia a tarefa ao manual de manutenção.

- Inspeção externa (*Visual Inspection - VI*):

É uma tarefa que se destina à Inspeção Externa da estrutura da aeronave e componentes visíveis de sistemas. Por exemplo: vazamento de fluido de freio, estado geral dos pneus e rodas, nível de óleo dos motores, nível de óleos hidráulicos e afins.

- Inspeção Detalhada (*Detailed Inspection – DI*):

Inspeção visual detalhada, abrangendo mais itens do que os que estão contidos na VI. Esta manutenção, por possuir mais itens e subitens, requer um maior tempo para a sua realização.

- Inspeção Detalhada Especial (*Special Detailed Inspection - SI*):

Uma DI mais rigorosa.

- Verificação Operacional (*Operational check - OP*):

Checagem do tipo “funciona ou não”, além de uma análise quantitativa do funcionamento.

- Lubrificação (*Lubrication – LU*):

Lubrificação de componentes e partes móveis, sujeitas a desgastes devido atrito.

- Serviço (*Service – SV*):

Tarefas de limpeza e reabastecimento.

- Restauração (*Restoration – RS*):

Restaurar a aeronave, ou parte dela à condição normal de funcionamento, após configuração e/ou desconfiguração requeridos nas tarefas de manutenção.

- Tarefa de segurança (*Safety Task – ST*):

Tarefa de inspeção ou troca de componentes designada por intervalo de tempo.

- Descarte (*Discard – DS*):

Tarefa que envolva descarte na substituição de algum componente da aeronave.

A.2.3 Exemplo

O fabricante designa uma tarefa através de um código, indica o procedimento e em que intervalo a tarefa deve ser executada. Por exemplo, uma tarefa DS, cujo conteúdo é a troca de um determinado filtro, sendo realizada a cada 2A FH. Com isso, o operador deve trocar o filtro a cada 600 FH, no caso de um operador novo, e 800 FH, para um operador experiente.

A.3 Manutenção Corretiva

Além das tarefas programadas, uma aeronave sofre inspeções diárias.

No recolhimento e liberação da aeronave do hangar, a equipe de manutenção deve fazer uma inspeção no aparelho.

O piloto, antes da partida para um vôo, deve realizar um teste de pré-voo. Na parte exterior da aeronave, ele deve realizar uma inspeção visual (*walk-around*), designado pelo fabricante, inspecionando pontos determinados na aeronave. Dentro da cabine de comando, ele deve fazer a inspeção dos instrumentos por meio de um *check-list*.

Quando for encontrado algum problema, a equipe de manutenção deve diagnosticar a falha e daí então tomar uma decisão. Este tipo de problema é também conhecido como “*Go-No go*”.

Caso o problema seja do tipo “*No-Go*”, definido pelo documento *MMEL – Master Minimum Equipment List*, fornecido pelo fabricante da aeronave, isto significa que pela norma vigente, ou por motivo de segurança, a aeronave não pode decolar sem que a falha seja sanada.

Caso haja tempo hábil, a equipe deve sanar a pane ou o defeito antes do horário previsto para o vôo. Caso contrário, a aeronave deve ser substituída.

Caso seja possível voar pelo menos mais uma etapa, conforme a *MMEL*, a equipe de manutenção deve então escolher entre:

- Liberar a aeronave e sanar o defeito no destino, ou no próximo retorno à base de manutenção, ou ainda
- Sanar o defeito antes da decolagem, considerando que há tempo hábil e capacitação local para tanto.

O trabalho aqui apresentado tem como meta auxiliar na tomada de decisão na Manutenção Corretiva.