



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

Fiabilidade Técnica de Sistemas e Aeronaves

Peter Silva Jorge

Dissertação para obtenção de grau de mestre em
Engenharia Aeronáutica
(Ciclo de Estudos Integrado)

Orientador: Prof. Doutor José Manuel Mota Lourenço da Saúde
Co-Orientador: Eng. Michael Amaral Rangel

Covilhã, outubro de 2016

‘Omne tulit punctum, qui miscuit utile dulci’

Quinto Orazio Flacco

Ao meu pai, à minha mãe, à minha avó Júlia e ao meu irmão, obrigado!

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço a quem me orientou, ao Prof. Doutor José Manuel Mota Lourenço da Saúde e ao chefe do Serviço de Engenharia da SATA Air Açores, Eng. Michael Amaral Rangel, por todos os conselhos e ensinamentos que me foram passados, essenciais para a finalização deste trabalho.

À Direção de Manutenção e Engenharia, especialmente ao Exmo. Diretor do Serviço de Manutenção e Engenharia da SATA Air Açores, Eng. Pedro Viveiros e aos Engenheiros Rui Costa e Duarte Medeiros que tão calorosamente me receberam. O meu sincero obrigado por todas as experiências e vivências partilhadas, assim como todo o conhecimento que me foi passado nos últimos seis meses.

Aos de sempre, os meus irmãos da Desertuna que me receberam de braços abertos e me deram a oportunidade de ter uma segunda família.

Ao irmão que a Covilhã me deu, o Simão Afonso, agradeço-lhe o companheirismo, amizade e todos os momentos partilhados, com a certeza de ser alguém que guardo para o resto da vida.

Como não poderia deixar de ser, deixo o meu agradecimento a todos os colegas de curso que partilharam comigo este percurso académico.

À minha namorada Sara, por todo o apoio, compreensão e motivação incondicionais numa das fases mais importantes da minha vida.

Por fim, e a quem dedico o meu trabalho, ao meu pai, à minha mãe, à minha avó Júlia e ao meu irmão, o meu maior e mais sentido obrigado pela oportunidade que me foi dada de finalizar um curso superior, por toda a educação e motivação e por me ensinarem valores como a perseverança e a humildade.

Resumo

A Manutenção Aeronáutica é constantemente alvo de estudos e alterações para atingir um variado espetro de fins tais como, a redução dos seus custos, o melhoramento da segurança operacional e a aeronavegabilidade. A Fiabilidade anda de mãos dadas com a Manutenção Aeronáutica nestas tarefas. O presente estudo procurou ir ao encontro das necessidades da entidade com a qual foi desenvolvido, a SATA Air Açores, de forma a dar uma nova visão acerca da fiabilidade de sistemas e uma nova forma de avaliar a fiabilidade de uma frota de aeronaves.

O trabalho prático desenvolvido assenta, numa primeira parte, em estudar a fiabilidade intrínseca do subsistema de Extensão do Trem, tendo como base os principais componentes nos sistemas Hidráulico e Trem de Aterragem. Numa segunda parte, avalia-se a fiabilidade de uma frota de 4 aeronaves do tipo Bombardier Dash 8 Q-400 tendo em conta os 10 componentes menos fiáveis, aplicando um método ainda não utilizado pela operadora e definindo níveis de alerta para cada componente.

No desenvolvimento deste trabalho utilizaram-se dados disponibilizados pela *Bombardier Aerospace* e pela SATA Air Açores, no entanto, este estudo permite a utilização destes métodos para qualquer frota de aeronaves.

Palavras Chave

Manutenção Aeronáutica, Fiabilidade, Sistemas, Frota de Aeronaves.

Abstract

Aircraft Maintenance is in constant research and change in order to reach a wide spectrum of purposes such as cost reduction, improvement of operational safety and airworthiness. The reliability goes hand in hand with Aircraft Maintenance in what pertains to these tasks. This study sought to meet the necessities of the entity in which it was developed, SATA Air Azores, seeking to give a new vision on system reliability and a new way of assessing the reliability of a fleet of aircraft.

The practical work lays, in a first instance, upon the study of the intrinsic reliability of the subsystem extension of the landing gear, based on the main components of the hydraulic and landing gear systems. The second part evaluates the reliability of a fleet of 4 aircraft of the type Bombardier Dash 8 Q-400 taking into account the 10 least reliable components, using a method not yet used by the operator, setting alert levels for each component.

In the development of this work data was provided by Bombardier Aerospace and SATA Air Azores was used, however, this study allows the use of these methods for any fleet of aircraft.

Key Words

Aircraft Maintenance, Reliability, Systems, Fleet of Aircraft.

Índice

Dedicatória	iii
Agradecimentos	iv
Resumo	v
Abstract	vi
Índice	vii
Lista de Figuras.....	xi
Lista de Tabelas	xv
Lista de siglas e acrónimos	xvi
Capítulo 1 - Introdução	1
1.1 - Motivações.....	1
1.2 - Objetivos	2
1.3 - Metodologia	2
1.4 - Limites	2
1.5 - Estrutura do trabalho.....	3
Capítulo 2 - Manutenção Aeronáutica	5
2.1 - Enquadramento e Importância da Manutenção Aeronáutica	5
2.2 - A SATA (SATA Breifpack, 2013)	7
2.2.1 - SATA Air Açores	7
2.2.2 - SATA Express e Azores Express	8
2.2.3 - SATA Internacional/Azores Airlines	8
2.2.4 - SATA - Gestão de Aeródromos.....	8
2.2.5 - Handling.....	8
2.2.6 - Frota	9

Fiabilidade Técnica de Sistemas e Aeronaves

2.2.7 - SATA Air Açores Organização de Manutenção e Engenharia (SATA, Manual de Organização de Manutenção, 2016)	9
2.3 - Legislação	11
2.3.1 - Entidades Reguladoras.....	12
2.3.2 - Diretivas de Aeronavegabilidade e <i>Service Bulletins</i> (Boletins de Serviço) ..	14
2.3.3 - Capítulos ATA	14
2.4 - Manutenção	15
2.4.1 - PMA (Programa de Manutenção)	17
2.4.2 - Manutenção Orientada para o Processo	17
2.4.3 - Manutenção Orientada para a Tarefa	18
2.4.4 - Padrões de Taxas de Falhas.....	19
2.4.5 - Outras considerações sobre Manutenção Aeronáutica	20
Capítulo 3 - Fiabilidade	22
3.1 - A Fiabilidade	22
3.2 - Tipos de Fiabilidade	22
3.2.1 - Fiabilidade Estatística	23
3.2.2 - Fiabilidade Histórica	23
3.2.3 - Fiabilidade orientada para o evento	23
3.2.4 - Fiabilidade de Despacho	24
3.3 - Programa de Fiabilidade	24
3.3.1 - Elementos de um Programa de Fiabilidade	25
3.3.2 - Fatores de Fiabilidade	26
3.3.3 - Níveis de Alerta	27
3.3.4 - Requisitos Legais para implementar um Programa de Fiabilidade.....	29
3.4 - Manutenção Centrada na Fiabilidade	30
3.4.1 - Ações de Manutenção num Programa de RCM	32

3.5 - Fiabilidade de Sistemas	34
3.5.1 - Definição de Falha.....	34
3.5.2 - Fiabilidade Intrínseca e Extrínseca	35
3.5.3 - Custo do Ciclo de Vida de um equipamento (<i>life cycle cost</i>)	35
3.5.4 - Definição matemática de Fiabilidade	36
3.5.5 - Tempo Médio de Falha - MTBF	40
3.5.6 - Fiabilidade de um Sistema Não Redundante (em Série)	41
3.5.7 - Fiabilidade de um Sistema Redundante (em Paralelo)	42
3.5.8 - Fiabilidade de um Sistema em Série e em Paralelo	43
3.6 - Fiabilidade para Pequenas Frotas	44
3.7 - A Fiabilidade e a SATA	46
3.7.1 - PMA	46
Capítulo 4 - Descrição de Sistemas	48
4.1 - Bombardier Dash 8 Q-400.....	48
4.2 - Subsistema de Extensão do Trem de Aterragem.....	48
4.2.1 - ATA29 - Sistema Hidráulico (Extensão do Trem).....	49
4.2.2 - ATA32 - Sistema de Trem de Aterragem (Extensão)	55
4.2.3 - ATA32 - Sistema Alternativo de Extensão de Trem de Aterragem	65
Capítulo 5 - Cálculo da Fiabilidade	69
5.1 - Fiabilidade do sistema ATA29 (Extensão do trem)	69
5.1.1 - Cálculo da Fiabilidade	70
5.2 - Fiabilidade do sistema ATA32 (Extensão do trem)	73
5.2.1 - Cálculo da Fiabilidade	73
5.3 - Fiabilidade do subsistema Extensão do Trem de Aterragem	76
5.3.1 - Fiabilidade Total TARGET	76
5.4 - Discussão de Resultados.....	77

Capítulo 6 - Estudo Estatístico da Fiabilidade da frota da SATA	78
6.1 - Gráficos	78
6.2 - Discussão de Resultados.....	88
6.3 - Ações Corretivas.....	88
Capítulo 7 - Conclusões e Trabalhos Futuros	90
7.1 - Conclusões Gerais	90
7.2 - Trabalhos Futuros	92
Bibliografia	93
Anexos.....	96
Anexo 1 - Cálculos Auxiliares	96
Anexo 2 - Dados Bombardier (Quadro Resumo).....	101
ATA 29 - Sistema Hidráulico	102
ATA 32 - Trem de Aterragem	103
Anexo 3 - Capítulos ATA (iSPEC2200).....	104
Anexo 4 - Dados SATA (1).....	106
Anexo 5 - Dados SATA (2) - Remoções em 2015	118
Anexo 6 - Dados Bombardier Aerospace	124
Anexo 7 - Capa SB 'ARCDU 23-81-01'.....	128
Anexo 8 - Artigo.....	129

Lista de Figuras

Figura 1.1 - Custos das companhias aéreas (Dados de 2014). (IATA, 2015)	1
Figura 2.1 - Alterações de custos por unidade no mercado dos EUA. (Stalnaker, Usman, & Taylor, 2015)	6
Figura 2.2 - DASH-8-402 em Manutenção no Hangar em Ponta Delgada (Fotografia cortesia da SATA Air Azores).	9
Figura 2.3 - Resultado do aumento da entropia num sistema. (Kinisson, 2004)	15
Figura 2.4 - Recuperação do sistema para a ‘perfeição’. (Kinisson, 2004)	16
Figura 3.1 - <i>Iceberg</i> de parâmetros de monitorização de fiabilidade. (Domitrović, Bazijanac, & Alić-Kosteajić, 2012)	26
Figura 3.2 - Gráfico representativo do cálculo de um novo Nível de Alerta. (Kinisson, 2004) .	28
Figura 3.3 - Leitura de Níveis de Alerta. (Kinisson, 2004)	29
Figura 3.4 - Elementos de uma RCM, retirado de (Hussain, 2003)	30
Figura 3.5 - Esquema em árvora de Ações de análise RCM baseado em (Hussain, 2003)	32
Figura 3.6 - Figura 4.a) Falha catastrófica; Figura 4.b) Falha por degradação ou deriva. (Assis, 1997)	34
Figura 3.7 - Life Cycle Cost de uma unidade normal. (Hussain, 2003)	36
Figura 3.8 - Gráfico das curvas de sobrevivência $R(t)$ e de falha $F(t)$. (Assis, 1997).....	38
Figura 3.9 - Função densidade de falhas e função probabilidade acumulada de falhas. (Assis, 1997)	38
Figura 3.10 - Figura 6 - Gráfico das curvas de probabilidade de sobrevivência $R(t)$ e probabilidade de falha $F(t)$. (Assis, 1997)	39
Figura 3.11 - Curva de sobrevivência. (Assis, 1997)	40
Figura 3.12 - Disposição de um sistema em série com os componentes A, B e C. (Assis, 1997) 41	
Figura 3.13 - Disposição de um sistema em paralelo com os componentes A, B e C. (Assis, 1997)	42
Figura 3.14.1 - Disposição de um sistema em série e em paralelo com os componentes A, B e C. (Assis, 1997)	43

Figura 3.14.2 - Disposição de um sistema em série e em paralelo com os componentes A, B, C e D. (Assis, 1997).....	43
Figura 3.14.3 - Disposição de um sistema em série e em paralelo com os componentes A, B, C, D, E e F. (Assis, 1997)	44
Figura 4.1 - Vista geral do sistema ATA29 - Sistema Hidráulico.	49
Figura 4.2 - Reservatório Hidráulico No.1 e No.2.	51
Figura 4.3 - <i>Fire Shut-off Valve</i>	52
Figura 4.4 - <i>Engine Driven Pump</i>	52
Figura 4.5 - <i>Standby Power Unit</i>	53
Figura 4.6 - <i>Filter Manifold</i>	53
Figura 4.7 - <i>Heat Exchanger Bypass Valve</i>	54
Figura 4.8 - <i>Isolation Valve</i>	54
Figura 4.9 - <i>PTU Selector Valve</i>	55
Figura 4.10 - <i>PTU</i>	55
Figura 4.11 - Vista Geral do Sistema ATA32 - Sistema de Trem de Aterragem.	56
Figura 4.12 - <i>Landing Gear Control Panel</i>	57
Figura 4.13 - <i>PSEU</i>	58
Figura 4.14 - <i>Landing Gear Selector Valve</i>	58
Figura 4.15 - <i>Main Landing Gear Door Actuator</i>	59
Figura 4.16 - <i>Mechanical Sequence Valve</i>	59
Figura 4.17 - <i>Uplock Actuator</i>	60
Figura 4.18 - <i>MLG Retraction Actuator</i>	60
Figura 4.19 - <i>Stabilizer Brace</i>	61
Figura 4.20 - <i>MLG Solenoid Sequence Valve</i>	61
Figura 4.21 - <i>MLG Proximity Sensors</i>	62
Figura 4.22 - <i>NLG Proximity Sensors</i>	62

Figura 4.23 - <i>NLG Door Actuator</i>	63
Figura 4.24 - <i>NLG Mechanical Sequence Valve</i>	63
Figura 4.25 - <i>NLG Lock Actuator</i>	64
Figura 4.26 - <i>NLG Retraction Actuator</i>	64
Figura 4.27 - <i>NLG Solenoid Sequence Valve</i>	65
Figura 4.28 - <i>Cham Mechanism</i>	66
Figura 4.29 - <i>Emergency Hidraulic Reservoir</i>	66
Figura 4.30 - <i>Hand Pump</i>	67
Figura 4.31 - <i>Emergency Selector Valve</i>	67
Figura 4.32 - <i>Alternate Extension Actuator</i>	68
Figura 5.1 - Diagrama ATA29 sistema No.2.	69
Figura 5.2 - Diagrama ATA29 sistema No.1	70
Figura 5.3 - Diagrama de Blocos ATA29 No.2	70
Figura 5.4 - Diagrama de Blocos ATA29 No.1	71
Figura 5.5 - Diagrama de Blocos ATA29	72
Figura 5.6 - Diagrama ATA32 Extensão.....	73
Figura 5.7 - Diagrama de Blocos ATA32 Extensão do Trem (MAIN).	74
Figura 5.8 - Diagrama de Blocos para ATA32 Emergência	75
Figura 5.9 - Diagrama de Blocos ATA32 Extensão.	75
Figura 5.10 - Diagrama de Blocos Total Subsistema Extensão Trem de Aterragem.	76
Figura 5.11 - Diagrama de Blocos referente à Fiabilidade TARGET Total do Subsistema Extensão Trem de Aterragem.....	77
Figura 6.1 - Gráfico de URR média, UR e Níveis de Alerta ARCDU	79
Figura 6.2 - Gráfico de URR média, UR e Níveis de Alerta BREWER, COFFEE	80
Figura 6.3 - Gráfico de URR média, UR e Níveis de Alerta EXITER-EGNITION	81
Figura 6.4 - Gráfico de URR média, UR e Níveis de Alerta FUEL HEATER THERMAL VALVE	82

Figura 6.5 - Gráfico de URR média, UR e Níveis de Alerta VHF TRANSCEIVER	83
Figura 6.6 - Gráfico de URR média, UR e Níveis de Alerta VALVE INTERSTAGE BLEED	84
Figura 6.7 - Gráfico de URR média, UR e Níveis de Alerta DC STARTER GENERATOR	85
Figura 6.8 - Gráfico de URR média, UR e Níveis de Alerta VALVE ASSY - FLOW DIVIDER.....	86
Figura 6.9 - Gráfico de URR média, UR e Níveis de Alerta FUEL METERING UNIT	87
Figura 6.10 - Gráfico de URR média, UR e Níveis de Alerta DISPLAY UNIT	88

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Padrões de Taxas de Falhas adaptado de (Kinisson, 2004) e (Amborski, 2009)...	20
Tabela 5.1 - Quadro Resumo do sistema ATA29	72
Tabela 5.2 - Quadro Resumo do sistema ATA32.	76

Lista de siglas e acrónimos

AC - Corrente Alternada

AD - *Aiworthiness Directive*

ANAC - Autoridade Nacional de Aviação Civil

APU - *Auxiliary Power Unit*

ATA - *Air Transport Association*

ATP - *Advanced Turbo-Prop*

CBM - *Condition Based Maintenance*

CC - Corrente Contínua

CM - *Condition Monitoring*

COA - Certificador de Operador Aéreo

CTI - Circular Técnica de Informação

DME - Direção de Manutenção e Engenharia

EASA - *European Aviation Safety Agency*

EDP - *Engine Driven Pump*

ETOPS - *Extended Twin Engine Operations*

EUA - Estados Unidos da América

FAA - *Federal Aviation Administration*

FRACAS - *Failure Reporting, Analysis and Corrective Action System*

FSOV - *Fire Shut-Off Valve*

HT - *Hard-Time*

IATA - *International Air Transport Association*

ICAO - *International Civil Aviation Organization*

ISO - *International Organization for Standardization*

JAA - *Joint Aviation Authorities*

LRU - Line Replacement Unit

MAREP - Maintenance Report

MEL - Minimum Equipment List

MLG - Main Landing Gear

MMEL - Master Minimum Equipment List

MPD - Maintenance Planning Document

MRB - Maintenance Review Board

MRB - Maintenance Review Board Report

MRO - Maintenance Repair and Overhaul

MSG - Maintenance Steering Group

MSI - Maintenance Significant Items

MTBF - Mean Time Between Failure

MTBUR - Mean Time Between Unscheduled Removal

NA - Nível de Alerta

NLG - Nose Landing Gear

OC - On-Condition

ONU - Organização das Nações Unidas

PCU - Power Control Unit

PdM - Predictive Maintenance

PIREP - Pilot Report

PM - Preventive Maintenance

PMA - Programa de Manutenção de Aeronaves

PSEU - Proximity Switch Electronics Unit

PSI - Per Square Inch

PTU - Power Transfer Unit

RCM - Reliability Centered Maintenance

RTF - *Run-To-Failure*

RTM - *Real-Time Monitoring*

RVSM - *Reduced Vertical Separation Minima*

SATA, SGPS - Sociedade Açoriana de Transportes Aéreos, Sociedade Gestora de Participações Sociais

SB - *Service Bulletin*

SMS - *Safety Management System*

SPU - *Standby Power Unit*

TMA - Técnico de Manutenção Aeronáutica

UE - União Europeia

UR - *Unscheduled Removal*

URR - *Unscheduled Removal Rate*

WOW - *Weight On Wheels*

Capítulo 1 - Introdução

1.1 - Motivações

A realização desta dissertação de mestrado decorreu nas instalações da SATA Air Açores, mais propriamente na base de manutenção no aeroporto João Paulo II em Ponta Delgada junto da Direção Geral de Manutenção e Engenharia da SATA Air Açores.

Enquanto aluno do Curso de Engenharia Aeronáutica com residência permanente no Arquipélago dos Açores, nutrindo desde criança um carinho especial pela SATA Air Açores (a companhia aérea de todos os Açorianos) achei pertinente e interessante poder desenvolver uma dissertação de mestrado que a envolvesse.

Atualmente, no geral as companhias tentam minimizar custos de todas as formas possíveis, inovando técnicas diariamente. A Indústria Aeronáutica não é exceção, sendo que, melhoramentos ao nível da poluição, redução do consumo de combustíveis e redução dos custos de Manutenção são alguns dos focos principais das companhias aéreas. Por isso é importante conhecer as áreas onde podem ser minimizados os custos sem por em causa a segurança da operação.

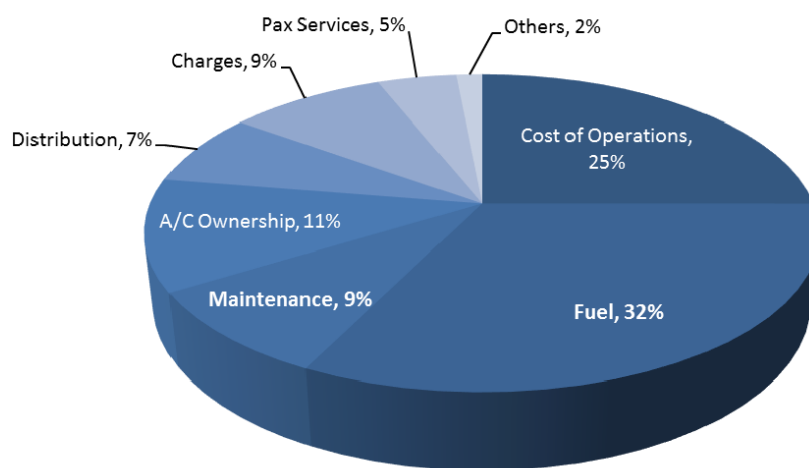


Figura 1.1 - Custos das companhias aéreas (Dados de 2014). (IATA, 2015)

Desde sempre que se tenta reduzir custos na Manutenção Aeronáutica através da implementação de novas filosofias e abordagens tendo-se assistido ao longo dos anos a um grande sucesso nesta área. A Fiabilidade de Sistemas é uma área da Manutenção em constante estudo e monitorização e o seu valor para a Manutenção Aeronáutica despertou o interesse para a realização desta dissertação.

1.2 - Objetivos

O objetivo desta dissertação de mestrado é de estudar a fiabilidade de uma frota de aeronaves pertencente à SATA de modo a definir adequados níveis de alerta que permitam uma melhor gestão dos sistemas.

1.3 - Metodologia

Com o intuito de dar cumprimento aos objetivos propostos, este trabalho assenta fundamentalmente numa abordagem estatística que parte dos dados disponibilizados pela empresa, nos termos dos limites expostos no parágrafo 1.4.

De igual modo, o trabalho utilizou, para o efeito, simples ferramentas de cálculo estatístico que permitiram tratar a informação disponibilizada pela empresa.

A validação dos resultados alcançados foi feita através da comparação entre os resultados obtidos e os dados alvo estabelecidos pelo fabricante tendo em conta a frota mundial e pela observação e avaliação dos gráficos obtidos.

1.4 - Limites

Dada a base temporal e recursos afetos à presente investigação, houve necessidade de estabelecer um conjunto de restrições que no fundo são limites do trabalho e que abaixo se apresentam.

Para a realização deste trabalho e para a obtenção de resultados foi tida em conta a frota de 4 aeronaves Dash 8 Q-400 fabricada pela empresa canadiana *Bombardier Aerospace*.

No estudo foi avaliado, em termos de fiabilidade geral por mil horas de voo, o subsistema de extensão do trem de aterragem para o qual se considerou os componentes principais dos sistemas principais ATA29 - Hidráulico e ATA32 - Trem de Aterragem.

Embora tenham sido requisitados à *Bombardier* dados reais de fiabilidade, apenas foram facultados dados referentes à operação da frota mundial no ano de 2015 em termos de MTBUR/MTBF (*Mean Time Between Unscheduled Removal/Mean Time Between Failure*). Neste caso temos de ter em conta que não são abordadas as verdadeiras causas que levam a remoção, ou seja, não são estudados os relatórios de reparação/manutenção dos sistemas que contribuem para a fiabilidade.

Ainda neste estudo, considerou-se que a fiabilidade das tubagens inerentes a cada sistema é de 100% e que qualquer tipo de falha de um dos componentes é crítica na medida em que inibe o funcionamento normal do sistema¹.

No estudo estatístico da frota considerada utilizaram-se os dados de três anos (2013 a 2015) fornecidos pela SATA em termos de URR (*Unscheduled Removal Rate*).

Este estudo teve como base os 10 componentes (exceto motores) mais problemáticos na frota da SATA, sendo que esta escolha foi feita segundo aquilo que foi estipulado pela operadora no seu Programa de Fiabilidade.

Em termos da análise dos resultados obtidos é preciso ter em conta a operação muito particular da SATA Air Açores, que se caracteriza pelos ciclos muito curtos. Ao compararmos com o resto da frota mundial a SATA Air Açores é mesmo a operadora com a menor média de tempo por ciclo.

1.5 - Estrutura do trabalho

Esta dissertação divide-se em seis capítulos distintos, organizados por forma a estruturar o trabalho de forma lógica e concisa.

O Capítulo 1 - Introdução, inclui as motivações e objetivos para a realização deste projeto, assim como a metodologia para a concretização dos objetivos propostos.

O Capítulo 2 - Manutenção Aeronáutica, dá a nota introdutória ao trabalho, apresentando a entidade onde este trabalho foi desenvolvido, a SATA e a sua estrutura. Introduce a legislação aeronáutica e fala da Manutenção Aeronáutica e as suas várias vertentes, bem como a elaboração de um PMA (Programa de Manutenção).

O Capítulo 3 - Fiabilidade, trata de uma forma mais aprofundada, o tema Fiabilidade na Manutenção, explorando os vários tipos de fiabilidade; a estrutura de um Programa de Fiabilidade e a sua finalidade; a dedução da equação geral da fiabilidade e por fim o contexto da fiabilidade na SATA.

O Capítulo 4 - Descrição de Sistemas, faz-se uma descrição detalhada dos componentes dos Sistemas ATA29 e ATA32 intervenientes no subsistema extensão do trem de aterragem e dos subsistemas referidos.

No Capítulo 5 - Cálculo da Fiabilidade, procede-se à avaliação da fiabilidade parcial de dois sistemas, tendo em conta a fiabilidade de cada componente, utilizando, para tal, a equação geral da fiabilidade que é deduzida, e recorrendo à construção de diagramas de blocos para compor os sistemas em série e em paralelo.

¹ Entende-se por 'funcionamento normal do sistema' a extensão completa do trem de aterragem.

No Capítulo 6 - Estudo Estatístico da Fiabilidade da frota da SATA, faz-se também um estudo estatístico aos 10 componentes (exceto motores) menos fiáveis para a realidade da SATA em termos de URR e faz-se a sua avaliação tendo em conta dois Níveis de Alerta calculados, apresentando-se sugestões e ações corretivas.

O Capítulo 7 - Conclusões e Trabalhos Futuros, dá fim a este trabalho apresentando conclusões finais e a sugestão de trabalhos futuros.

Capítulo 2 - Manutenção Aeronáutica

Nesta secção faz-se uma revisão sobre a Manutenção Aeronáutica, apresentando-se primeiramente o seu enquadramento na indústria, as suas várias vertentes, bem como a elaboração de um PMA (Programa de Manutenção).

É apresentada a entidade onde este trabalho foi desenvolvido, a SATA e a sua estrutura.

Introduz-se a legislação aeronáutica e as entidades reguladoras intervenientes no tema em estudo.

2.1 - Enquadramento e Importância da Manutenção Aeronáutica

Na literatura é comum definir-se manutenção como um conjunto de tarefas e requisitos para manter os sistemas, componentes e estrutura de uma aeronave em condições de aeronavegabilidade². No entanto, para Ackert (2010) a manutenção é necessária por três razões: manter a aeronave operacional de forma fiável, garantindo uma operação lucrativa; manter o valor intrínseco da aeronave ao minimizar a deteiorização desta na sua vida útil; a condição de manutenção está sempre associada a legislação e regulamentação por parte das entidades responsáveis na área geográfica onde a aeronave está registada.

Hoje, mais do que nunca, as companhias aéreas tentam efetuar todos os processos da forma mais rentável possível e a Manutenção Aeronáutica não é exceção.

Dados globais para o ano de 2014 (IATA, 2014) dizem que o total da frota mundial é de 24597 aeronaves, sendo que 76% destas foram fabricadas pela Boeing ou Airbus. As companhias aéreas dispenderam globalmente 62.1 mil milhões de euros em MRO (Maintenance, Repair and Overhaul), representando cerca de 9% dos seus custos operacionais.

No caso particular do mercado dos EUA (Estados Unidos da América) podemos ver que, os custos na manutenção têm uma grande relevância e são feitos grandes esforços para os reduzir. Em anos mais recentes (desde 2014) os gastos das companhias aéreas deste país desceram 12.6%, marcando a maior descida desde 2009. Esta descida deve-se principalmente ao preço de combustíveis, ao preço de propriedade das aeronaves e à Manutenção Aeronáutica (Stalnaker, Usman, & Taylor, 2015).

Os mesmos autores referem, que para o mercado dos EUA e como se pode ver na figura seguinte, a manutenção de aeronaves por unidade teve uma redução de custos de 7.1%

² Conjunto de processos que asseguram que, a qualquer momento na sua vida operacional, a aeronave cumpre os requisitos de aeronavegabilidade vigentes e se encontra em condições que permitam a segurança do funcionamento.

o que significa que a manutenção representa um total de 9.8% dos custos para as companhias aéreas.

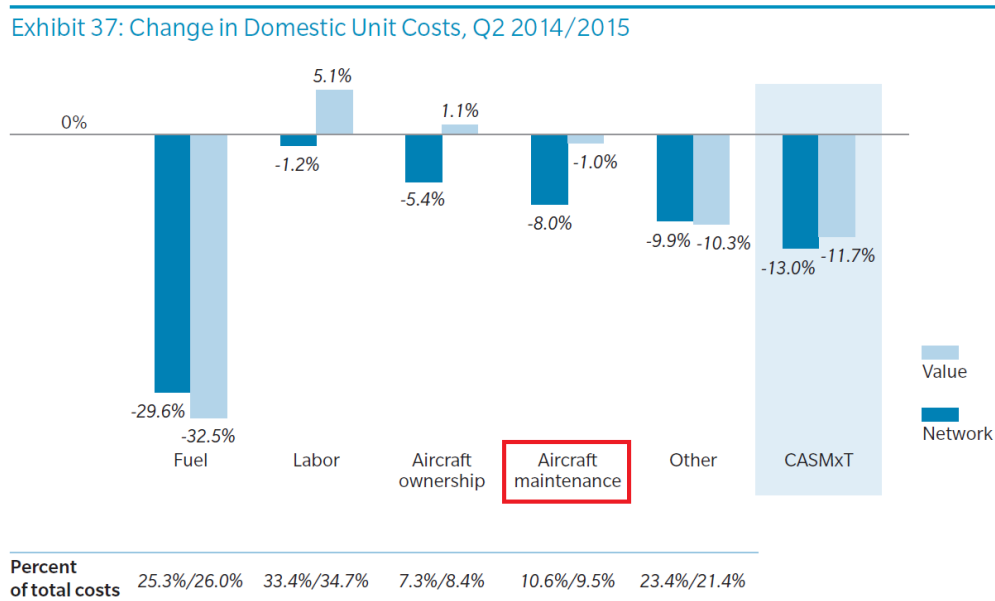


Figura 2.1 - Alterações de custos por unidade no mercado dos EUA. (Stalnaker, Usman, & Taylor, 2015)

Como nos diz Franklin (2008), todas as companhias querem que todos os seus equipamentos e sistemas de produção operem de forma fiável para que os seus planos de produção sejam maximizados. Ainda, os mesmos autores referem que, esta maximização da rentabilidade pode ser obtida se forem implementados os sistemas, infraestruturas, processos e procedimentos adequados. Só assim obtemos a ‘Excelência na Manutenção’ que é influenciada diretamente pela ‘Excelência na Fiabilidade’.

Parte desta excelência passa por conhecer bem o PMA de uma operadora a fim de ter uma melhor visão acerca do estado de manutenção das aeronaves.

É sugerido pela ANAC que um PMA ‘(...) é um elemento fundamental para assegurar a condição de aeronavegabilidade das aeronaves, através da execução em tempo devido, das ações de manutenção nele definidas’ (ANAC, 2008) e tem dois tipos: manutenção programada/preventiva e manutenção não-programada/corretiva.

Esta autoridade afirma ainda que não é aceitável realizar tarefas de manutenção encontrada num PMA ‘inadequado ou desatualizado’ por não satisfazerem os requisitos de aeronavegabilidade.

A Manutenção Aeronáutica tem um papel preponderante para a indústria quer seja em termos de uma operação segura quer por questões económicas. Assim, importa aprofundar mais este tema para percebermos em que consiste a Manutenção Aeronáutica.

2.2 - A SATA (SATA Breifpack, 2013)

Fundada em 1941 como Sociedade de Estudos Aéreas Açorianos, tinha como objetivo principal ‘desenvolver uma operação aérea regular entre a ilha de São Miguel e as restantes ilhas do Arquipélago e entre estas e Portugal Continental’.

A SATA iniciou a sua operação como companhia aérea no ano de 1947 operando um *Beechcraft* batizado de ‘Açor’, tendo o seu voo inaugural sido realizado a partir do Aeroporto de Santana na ilha de São Miguel. A sua operação inicial, centrava-se no Aeroporto Internacional de Santa Maria e na Base Aérea das Lajes.

Assim, a SATA assume a responsabilidade de servir os Açorianos, pondo um fim ao seu isolamento e colocando-os mais perto do resto do mundo.

Alguns dos momentos mais marcantes para a história da SATA foram: a sua fundação em 1941, o seu primeiro voo em 1947, a inauguração do Aeroporto da Nordela em Ponta Delgada em 1969, tal como a inauguração dos Aeroportos do Faial (1971), Flores (1973), Graciosa (1981), Pico (1982) e São Jorge (1983). Em 1987 passa a designar-se SATA Air Açores e dois anos depois recebe os seus primeiros ATP. Entre 1995 e 2000 afirma-se como uma companhia internacional e adquire os equipamentos Boeing 737-200, Airbus A310 e Airbus A320, nascendo em 1998 a SATA Internacional. Em 2009 dá-se uma renovação da frota que conta com os atuais equipamentos Bombardier e Airbus.

De forma a responder aos novos desafios o Grupo SATA afirma-se como SATA SGPS, alterando a lógica de funcionamento da mesma. A nova SATA SGPS fundada em 2006 mantém-se uma sociedade de capitais exclusivamente públicos sendo detida na sua totalidade pela Região Autónoma dos Açores.

O grupo SATA é atualmente composto por 5 principais empresas e duas áreas de exploração empregando mais de 1200 profissionais efetivos nas mais vastas áreas:

2.2.1 - SATA Air Açores

Fundada em 1941, iniciou a sua atividade em 1947 com um *Beechcraft* efetuando ligações entre as ilhas de São Miguel, Terceira e Santa Maria.

Atualmente conta com 2 aeronaves Bombardier Dash Q200 e 4 aeronaves Bombardier Dash Q400 NEXT GEN. A SATA Air Açores presta serviço público de alta qualidade aos Açorianos, assumindo a ligação aérea entre todas as ilhas do arquipélago dos Açores. A sua operação estende-se aos arquipélagos da Madeira e das Canárias.

A companhia aérea realiza anualmente cerca de 15 mil voos, transportando cerca de 450 mil passageiros, ou seja em média 30 pax por aeronave/voo.

2.2.2 - SATA Express e Azores Express

Face ao movimento migratório dos Açorianos para o Norte da América nos anos 50, 60 e 70 do século XX houve a necessidade de estabelecer bases nesta parte do continente Americano. Assim, em 1985 nascem dois operadores: A SATA Express no Canadá e a Azores Express nos EUA. Toronto e Boston aparecem como duas grandes novas plataformas comerciais da SATA.

2.2.3 - SATA Internacional/Azores Airlines

Fundada em 1998 com o objetivo de garantir as ligações entre o arquipélago dos Açores, o resto da Europa e a América do Norte, inicia a sua atividade com um Boeing 737-200 com voos entre os Açores e Lisboa.

Ano após ano a SATA Internacional foi ganhando reconhecimento fora dos Açores o que lhe permitiu crescer até uma frota de 8 aviões, 4 equipamentos Airbus A320 e 4 Airbus A310. Mais recentemente a SATA Internacional mudou de imagem, nascendo uma nova marca, Azores Airlines. Tem como novo logotipo a barbatana caudal de uma baleia e reforçou as suas rotas de médio/longo curso. Com o estabelecimento desta nova marca, deu-se o ‘*phase-out*³’ de duas aeronaves Airbus A320 e 1 Airbus A310 e o ‘*phase-in*⁴’ de uma Aeronave Airbus A320 e uma aeronave Airbus A330.

A Azores Airlines conta atualmente com mais de vinte destinos, desde domésticos, Europeus (Londres, Munique) e Norte Americanos (Boston, Providence, Toronto, Montreal).

2.2.4 - SATA - Gestão de Aeródromos

Estabelecida em 2005, a SATA - Gestão de Aeródromos é a responsável por manter quatro dos nove aeródromos Açorianos operacionais. Os aeródromos do Pico, Graciosa, Corvo e São Jorge, bem como a aerogare das Flores são as infraestruturas exploradas por esta empresa.

2.2.5 - Handling

A SATA - Handling opera em todos os aeroportos Açorianos e presta todos os serviços de apoio em terra. Detentora da certificação de qualidade ISO9001/2008, a SATA - Handling é responsável por ‘manter a operacionalidade e o apoio em terra em todos os aeroportos das ilhas, assegurando a assistência a todos os aviões que ali operam regular ou ocasionalmente’.

³ Processo que inclui um conjunto de atividades (manutenção, logística, etc) tendentes a permitir cessar a exploração de uma aeronave, seja realizando o abate, a devolução à entidade locadora ou por motivo de venda.

⁴ Processo de inserção num operador de uma aeronave (nova ou não) que contém um conjunto de atividades técnicas, de logística, treino, etc, que permitem ao operador explorá-la e por consequência permitir o respetivo registo no Certificado de Operador Aéreo (COA).

2.2.6 - Frota

O Grupo SATA conta atualmente com 13 aeronaves na sua frota, sendo que 6 operam para a SATA Air Açores e 7 operam para a Azores Airlines.

Assim, a frota da SATA Air Açores é constituída por:

- 2 Bombardier Dash 8 Q-200
- 4 Bombardier Dash 8 Q-400

E a frota da Azores Airlines é constituída por:

- 3 Airbus A310
- 3 Airbus A320
- 1 Airbus A330



Figura 2.2 - DASH-8-402 em Manutenção no Hangar em Ponta Delgada (Fotografia cortesia da SATA Air Azores).

2.2.7 - SATA Air Açores Organização de Manutenção e Engenharia (SATA, Manual de Organização de Manutenção, 2016)

A área de Manutenção e Engenharia ocupa-se da manutenção de base⁵ e de linha⁶ das suas aeronaves, prestando serviço ocasional a outras operadoras.

⁵ Conjunto de trabalhos incidindo em verificações visuais relativas à condição e segurança da aeronave (incluindo estruturas e sistemas) e executados por áreas. Para este tipo de trabalhos poderá ser requerida a abertura a abertura de acesso de serviço ou de quaisquer outros painéis, bem como o uso de escadotes ou plataformas.

⁶ Conjunto de trabalhos de inspeção com caráter expedito, típicos de um inspeção de trânsito, normalmente incluídos numa inspeção '360º graus', sem a necessidade de abertura de qualquer acesso, salvo casos especiais de *servicing*.

Todos os TMA (Técnico de Manutenção Aeronáutica) desta instituição são certificados pelo ANAC (Autoridade Nacional de Aviação Civil) e pela JAA (*Joint Aviation Authority*), tendo sido atribuído à organização o certificado de Empresa de Manutenção de Aeronaves Parte 145 e Parte M subparte G.

A SATA Air Açores possui as suas estações de Manutenção de Linha na Terceira (Aeroporto das Lajes) e em São Miguel (Aeroporto João Paulo II), esta última é também a base de manutenção onde é feita toda a manutenção programada às aeronaves DHC-8-202 e DHC-8-402.

A Organização de Manutenção e Engenharia da SATA Air Açores tem implementado um sistema de SMS (*Safety Management System*). O SMS permite a execução de ações corretivas e preventivas de modo a que os perigos identificados sejam controlados, minimizando ou eliminando os riscos resultantes.

O objetivo principal dum sistema SMS é o de, através de uma filosofia de atuação denominada de *Just Culture*, promover a segurança de voo, do pessoal e dos equipamentos. Esta cultura assenta num sistema voluntário e não punitivo de situações perigosas detetadas por qualquer pessoa da organização.

2.2.7.1 - Aeronaves

A SATA Air Açores presta serviços de manutenção de linha e base às suas aeronaves DHC-8-202 e DHC-8-402 e manutenção de linha às aeronaves operadas pela SATA Azores Airlines, Airbus A330, Airbus A310 e Airbus A320.

2.2.7.2 - Aeronaves Bombardier DASH-8-202 e Bombardier DASH-8-402

São realizadas, de acordo com o Programa de Manutenção aprovado, inspeções de base e de linha, testes funcionais, substituição de componentes (incluindo motores e hélices), *troubleshooting* e avaliação de danos, retificação de anomalias e incorporação de modificações aprovadas.

A manutenção de base destas aeronaves é feita somente em Ponta Delgada e a manutenção de linha é feita nas Lajes e em Ponta Delgada.

2.2.7.3 - Aeronaves Airbus A310, A320 e A330.

São realizadas inspeções de linha limitadas a T1 (trânsito), T2 (36H) e T3 (semanal), substituição de componentes, *troubleshooting* e avaliação de danos, retificação de anomalias e despacho de ETOPS/RVSM.

A manutenção de linha destas aeronaves é feita nas estações de linha de Ponta Delgada e Lajes.

2.2.7.4 - Manutenção de componentes em oficina

Está a cargo do departamento de Manutenção da SATA Air Açores a manutenção de componentes de aeronaves com a exceção de motores completos e APU. A lista de componentes que estão à responsabilidade da Manutenção da SATA Air Açores são os que se seguem: C5 Geração Elétrica e Luzes, C6 Equipamento, C14 Trem de Aterragem, C15 Oxigénio, C18 Proteção contra gelo/chuva/fogo. Os demais componentes são enviados para manutenção em empresas certificadas PART145.

Para além da manutenção acima referida, a SATA Air Açores também possui serviços especializados tais como Ensaio Não Destrutivo e outras atividades especializadas como Pesagem de Aeronaves, Balanceamento de Hélices e as mais variadas Calibrações.

É da responsabilidade da Engenharia avaliar os fornecedores de serviços de manutenção a componentes e aeronaves e de serviços especializados. O serviço de Engenharia é também responsável pela elaboração, revisão e atualização do PMA.

Cabe ao serviço de armazém fazer a avaliação dos fornecedores de componentes, materiais e matérias-primas.

Por fim, o departamento de qualidade audita os fornecedores de manutenção de acordo com o programa de auditorias ou sempre que se justifique, de forma a garantir que os mesmos cumprem com os requisitos.

No âmbito da fiabilidade, cabe ao serviço de engenharia elaborar e manter atualizado o Programa de Fiabilidade. Podem ser feitos ajustes e melhoramentos de modo a melhorar a fiabilidade ou operacionalidade das aeronaves e dos seus componentes na sua frota da SATA Air Açores.

2.3 - Legislação

As preocupações com aeronavegabilidade e segurança operacional são uma realidade para a aviação desde a sua génese. Podemos afirmar que, hoje, a aviação sofre de uma abundância de controlo por parte das entidades regularas.

Formalmente, iniciou-se a regulamentação da aviação em 1911 na Grã Bretanha com o Ato de Navegação Aérea que se focava apenas na proteção das pessoas no chão. (Chaplin, 2011)

Para o mesmo autor, depois da Primeira Guerra Mundial ficou claro que a aviação civil iria desempenhar um importante papel no mundo da aviação e por isso carecia de ser regulamentada. É desta forma que nascem as primeiras regras e restrições, em 1919, impostas pelo Departamento de Aviação Civil.

Foi durante esta época que se deram as maiores e mais importantes evoluções no sentido de uma aviação civil mais regulada e uniformizada de uma forma global.

Com a introdução das companhias aéreas tornou-se clara a necessidade da existência de novas regulamentações e de uma intervenção mais abrangente das entidades reguladoras no que toca a requisitos de manutenção. (Ackert, 2010)

Desta forma é fundada a primeira entidade reguladora que abrangia toda a aviação civil mundial, a ICAO (*International Civil Aviation Organization*). (Chaplin, 2011)

2.3.1 - Entidades Reguladoras

No ano de 2015 foram contabilizados (*hull losses*⁷ por 1 milhão de voos) 0.32 acidentes em aviões a jato, ou seja, 1 acidente por 3.2 milhões de voos. Durante aquele ano foram transportados mais de 3.5 mil milhões de passageiros em todo o mundo. (IATA, 2016)

A segurança de voo impõe-se como a maior prioridade para as entidades reguladoras da aviação comercial. Estas entidades, assim como as suas repetivas missões são de seguida apresentadas.

2.3.1.1 - ICAO

A ICAO é uma agência especializada da ONU estabelecida no ano de 1944 com o objetivo de gerir e governar a Convenção Internacional de Aviação Civil. (ICAO, 2016)

A ICAO trabalha em conjunto com 191 estados membros de forma a chegar a um consenso sobre padrões e práticas recomendadas no que toca a um setor de aviação 'seguro, eficiente, economicamente sustentável e ambientalmente responsável'. Estes padrões e práticas recomendadas servem para assegurar que a operação de aeronaves seja homogênea em todo o globo.

Para além disto, a ICAO também trabalha em outras áreas tais como: coordenação e assistência a Estados no desenvolvimento de vários objetivos na aviação; está envolvida na produção de planos globais que visam o melhoramento da segurança na navegação aérea; audita os Estados nas suas capacidades de respeitar as normas de proteção e segurança (*safety/security*). (ICAO, 2016)

2.3.1.2 - IATA

A IATA (*International Air Transport Association*) é uma associação comercial para todas as companhias aéreas, trabalhando com 265 companhias aéreas o que representa cerca de 83% de todo o tráfego aéreo. (IATA, 2016)

⁷ Acidente onde os danos provocados são de ordem tal que torna a sua reparação economicamente inviável. Também se assim designam as aeronaves desaparecidas ou quando a busca pelos seus destroços termina.

Esta Associação declara-se como uma grande potência de criação e inovação, conduzindo a uma indústria de transporte aéreo ‘*safe and secure*’ e rentável.

A IATA tem como missões principais o melhoramento na compreensão da indústria do transporte aéreo, dando visibilidade aos benefícios que esta indústria tem para a economia global. Sempre na defesa das companhias aéreas que representa, a IATA sensibiliza governos e entidades reguladoras para uma boa regulamentação.

Tendo sido estabelecida há quase 70 anos, a IATA desenvolveu padrões que hoje são os alicerces da indústria da aviação. Esta associação é ainda responsável por ajudar as companhias aéreas a terem uma operação *safe, secure*, eficiente e economicamente rentável, operando sempre sob regras bem definidas. (IATA, 2016)

2.3.1.3 - EASA

A EASA (*European Aviation Safety Agency*) foi estabelecida no ano de 2002 com o propósito de assegurar o mais elevado nível comum de segurança para todos os cidadãos da UE; o mais elevado nível comum de proteção ambiental; uma entidade única e justa de regulamentação e certificação para todos os estados membros. (EASA, 2016)

Trabalhando com mais de 800 organizações espalhadas por todo o mundo, a EASA tem 3 representações fundamentais no Canadá, nos EUA e na China. Esta Agência é constituída por 32 estados membros.

A EASA tem como principais funções, implementar novas regras em todas as áreas pertinentes para a Agência, certificar e aprovar produtos e organizações em campos onde a Agência tem exclusividade, fornecer ajuda aos estados membros em assuntos em que a Agência tem competência partilhada e trabalhar com outras Agências e Organizações internacionais de forma a garantir total segurança dos cidadãos europeus globalmente. (EASA, 2016)

2.3.1.4 - ANAC

A ANAC (Autoridade Nacional da Aviação Civil) é a autoridade responsável pela regulamentação, fiscalização e supervisão do setor da aviação civil em Portugal.

Esta autoridade tem como missão principal ‘promover o desenvolvimento seguro, eficiente e sustentado da aviação civil através da regulação, regulamentação, certificação, licenciamento e fiscalização’. (ANAC, 2015)

Cabe ainda à ANAC, no domínio da aviação civil nacional, ‘licenciar, certificar, autorizar e homologar as atividades e os procedimentos, as entidades, o pessoal, as aeronaves, as infra-estruturas, equipamentos, sistemas (...) bem como definir os requisitos e pressupostos técnicos subjacentes à emissão dos respetivos atos.’ (ANAC, 2015)

No que toca a Organizações de Manutenção, a ANAC emite AD's (Diretivas de Aeronavegabilidade) e CTI (Circular Técnica de Informação).

2.3.2 - Diretivas de Aeronavegabilidade e *Service Bulletins* (Boletins de Serviço)

Os termos AD (Diretiva de Aeronavegabilidade) e SB (*Service Bulletin*) são muitas vezes associados mas, possuem funções e definições diferentes.

Uma AD é emitida pela entidade reguladora quando esta verifica que algum equipamento (aeronave, sistema, motor, componente) está a operar sobre condições irregulares ou que podem por em causa até, a segurança operacional do aparelho. Estas diretivas servem para alertar as operadoras ou fabricantes destas irregularidades e da necessidade de inspecionar, reparar ou remover o equipamento. (FAA, 2015)

Por outro lado, um SB é emitido pelo fabricante ao operador de que há uma atualização de um equipamento. No entanto, estes SB's na maioria das vezes não são de caráter obrigatório e por isso o operador pode escolher ou não incorporá-lo nas suas aeronaves. (Abbott, 2015)

Em muitos casos um SB resulta na emissão de uma AD, isto porque o fabricante julga que o equipamento pode estar a por em risco a segurança operacional e deixa apenas de ser uma mera atualização. Neste caso a AD associada ao SB torna-o obrigatório e por esse motivo o operador é obrigado a seguir o estipulado pela AD. (Abbott, 2015)

Pode ainda acontecer que o SB é caracterizado pelo fabricante como obrigatório sem que lhe esteja associado uma AD, nesse caso especial o operador pode escolher não incorporar o SB. Normalmente, e por questões de segurança operacional, este tipo de SB é incorporado pelo operador. (FAA, 2015)

2.3.3 - Capítulos ATA

Todos os sistemas são numerados segundo um código definido pela norma iSpec 2200 , que tem por base a norma ATA 100 e que é composto por 6 números:

XX-YY-ZZ

Onde:

- XX é a identificação do sistema
- YY a identificação do subsistema
- ZZ a identificação do componente.

Esta nomenclatura foi desenvolvida pela ATA (*Air Transport Association*) e é chamada de código ATA *iSpec 2200*. Ela é aceite tanto pela reguladora americana FAA como pela europeia EASA.

No Anexo 3 podemos ver todos os sistemas numerados segundo a *iSpec 2200*.

2.4 - Manutenção

Na perspetiva de um Programa de Manutenção, Kinisson (2004) sugere que para a sua elaboração existem dois tipos principais de Manutenção. O gráfico seguinte mostra-nos o aumento natural da entropia de um sistema, ou seja, a deteriorização natural do sistema ao longo do tempo. Quando esta deteriorização cai abaixo de um nível previamente definido, cabe-nos realizar ações corretivas tais como: ajustes, melhoramentos, ou qualquer outro tipo de manutenção para que o sistema volte ao seu nível inicial. A este tipo de manutenção dá-se o nome de **Manutenção Preventiva** ou **Manutenção Programada** que é normalmente realizada em intervalos regulares (podem ser diários, semanais, mensais ou então a cada 200 horas de voo ou a cada 10 ciclos).

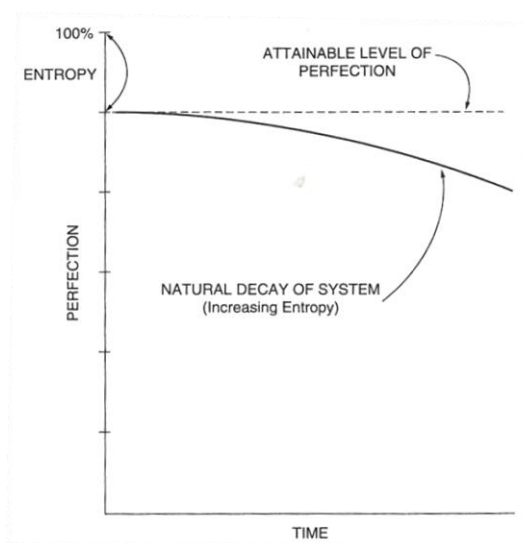


Figura 2.3 - Resultado do aumento da entropia num sistema. (Kinisson, 2004)

A Manutenção Preventiva é vista como todas as ações tomadas por precaução numa forma periódica e sistemática de forma a evitar ou diminuir a probabilidade de falha e a degradação do sistema ou equipamento ao invés de corrigir a falha depois de ela acontecer. (Dhillon, 2002)

Mobley (2008) refere ainda que na Manutenção Preventiva há que realizar ações de avaliação às partes críticas do equipamento e se algum potencial problema for detetado deve-se programar ações corretivas por forma ao equipamento não entrar em falha.

Do lado oposto da Manutenção Preventiva, temos a Manutenção Corretiva. Para podermos praticar esta última é necessário que a falha do equipamento ou sistema já tenha ocorrido para que assim possa ser realizada a sua Manutenção. (Mobley, 2008)

Através do próximo gráfico podemos observar que, por vezes, os sistemas não voltam ao seu nível inicial e pode acontecer que eles se deteriorizem a uma taxa mais elevada ou até quebrem completamente. Neste caso as ações de manutenção a serem tomadas são mais definitivas e é necessária a realização de mais testes e ajustes, sendo possível a total remoção ou substituição do sistema. Como este tipo de ações ocorrem em intervalos aleatórios damos o nome de **Manutenção Corretiva ou Manutenção Não Programada**. (Kinisson, 2004)

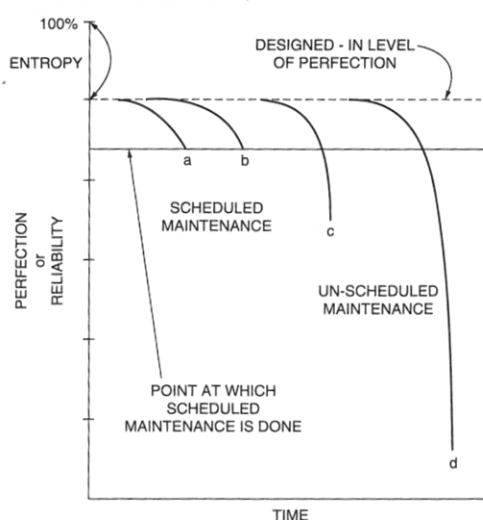


Figura 2.4 - Recuperação do sistema para a 'perfeição'. (Kinisson, 2004)

Embora ocorram em intervalos aleatórios, Mobley (2008) diz-nos que de facto a Manutenção Corretiva é também, de certa forma, programada visto que, todos os processos de reparação estão já bem definidos e são realizados por pessoal altamente treinado que garantem que o equipamento regressa à sua operação normal.

Duma forma global, a Manutenção (seja ela programada ou não) serve para que o nível de perfeição do sistema regressa ao seu nível máximo inicial.

Este nível máximo inicial, embora não seja a definição de fiabilidade, é por vezes referido na bibliografia como tal. Não há, no entanto, nenhum tipo de manutenção que faça com que o sistema aumente o seu nível de fiabilidade inicial. (Kinisson, 2004)

Este conceito de fiabilidade será estudado de forma mais aprofundada no capítulo seguinte.

2.4.1 - PMA (Programa de Manutenção)

Entende-se por Programa de Manutenção (PMA) o ‘documento no qual são definidas as ações de manutenção a executar sobre a aeronave, sistemas e componentes e a periodicidade ou frequência da sua execução a fim de assegurar a continuidade da sua condição de aeronavegabilidade’. (ANAC, 2008)

Todo o PMA é elaborado tendo por base os requisitos de manutenção programada estipulados pelo detentor do certificado tipo⁸. Depois de aprovados, estes requisitos serão utilizados como base de construção do PMA por cada operadora que, consoante o seu tipo de operação e necessidade, dará nuances diferentes ao seu programa. Desta forma, duas operadoras distintas a utilizar o mesmo modelo de aeronave têm Programas de Manutenção também distintos mas com as bases de construção iguais.

Os Programas de Manutenção na aviação comercial foram desenvolvidos pela indústria com duas abordagens fundamentais: a abordagem orientada para o processo e a abordagem orientada para a tarefa. No entanto, e segundo Kinnison (2004), nas aeronaves fabricadas em anos mais recentes os PMA são caracterizados pela abordagem focada na tarefa. A abordagem focada no processo ainda é utilizada para aeronaves mais antigas.

A abordagem orientada para o processo tem como base três processos fundamentais para realizar manutenção programada: *Hard Time* (HT), *On-Condition* (OC) e *Condition Monitoring* (CM). Por outro lado, abordagem orientada para a tarefa utiliza tarefas pré-determinadas de forma a evitar falhas durante o serviço. Nesta abordagem também é comumente utilizada a redundância para obter o mesmo fim.

2.4.2 - Manutenção Orientada para o Processo

Nos primórdios da aviação comercial, o fabricantes das aeronaves eram responsáveis pela manutenção das mesmas e desenvolviam os seu próprios Programas de Manutenção. Com o passar do tempo as companhias aéreas foram criando uma necessidade de se envolverem na manutenção das suas próprias aeronaves de modo a melhorar a sua segurança, fiabilidade, manutenção e custos associados. (Intergraph, 2006)

O MSG (*Maintenance Steering Group*) corresponde a uma abordagem moderna dum Programa de Manutenção que foi desenvolvida pela *Boeing Company* em 1968 com a origem do Boeing 747. Este grupo resulta da junção de várias organizações da aviação tal como a ATA (*Air Transport Association*), companhias aéreas, fabricantes de aeronaves, fornecedores e representantes da FAA (*Federal Aviation Administration*). (Ackert, 2010)

⁸ Emitido pela entidade reguladora responsável, certifica com aeronavegabilidade que a aeronave pode ser produzida como estipulado no projeto.

Este grupo de organizações criou a lógica MSG através dum processo que envolveu seis áreas fundamentais: estruturas, sistemas mecânicos, motores e unidades de energia auxiliar (APU), sistemas eléctricos e aviónicos, hidráulicos e controlos de voo, zonal. (Kinisson, 2004)

Após a implementação do MSG nas frotas de Boeing 747, assistiu-se a uma redução de custos de manutenção na gama dos 20-35%. O MSG-2 aparece como resultado da pressão exercida pelas companhias aéreas em retirar a terminologia do B747, tornando-o mais versátil. (Intergraph, 2006)

Kinisson (2004) aponta que o novo MSG-2 incluía melhoramentos em três áreas da manutenção: componentes e sistemas, estruturas e motores.

O *Maintenance Steering Group 2* é uma abordagem de baixo para cima (*bottom up approach*) onde a cada unidade é correspondido um processo primário de manutenção, HT, OC, ou CM.

Hard Time (HT) - Remoção de uma unidade num intervalo pré-determinado, normalmente definido em horas de voo ou em ciclos de voo.

On-Condition (OC) - Uma unidade *On-Condition* é aquela que sofre revisões em intervalos específicos, normalmente definidos em horas de voo ou ciclos de voo, para verificar a sua capacidade de serviço.

Condition Monitoring (CM) - Envolve a monitorização de taxas de falhas e taxas de remoções para facilitar o planeamento na manutenção. Neste processo não é realmente verificada a condição do equipamento, aqui só as taxas e indicadores são estudados. A verificação de condição é atribuída ao processo *On-Condition* (OC).

2.4.3 - Manutenção Orientada para a Tarefa

Para Gdalevitch (2000) um PMA orientado para a tarefa, é um conjunto de tarefas cuidadosamente seleccionadas de forma a lidar com uma dada falha funcional tendo em conta as características de fiabilidade do equipamento em questão. Estas tarefas são listadas hierarquicamente tomando por base a dificuldade e custo associados, do mais baixo para o mais elevado. O autor afirma ainda que ‘dependendo da consequência da falha (segurança operacional, económica (...)) uma única ou uma combinação de tarefas poderá ser seleccionada’.

A técnica MSG-3 representa uma modificação e um melhoramento ao seu antecessor MSG-2. O MSG-3 é uma técnica de ‘consequência de falha’, que ao contrário da análise ao equipamento característica do MSG-2, é conduzida uma análise ao mais alto nível dos sistemas da aeronave. A lógica MSG-3 é utilizada para identificar processos de manutenção programada que se adequem ao sistema de forma a manter a sua fiabilidade. (Kinisson, 2004)

O MSG é hoje a principal base de criação para um PMA pois possui grandes vantagens tais como: ser uma abordagem em desenvolvimento há quase 50 anos; é compatível com sistemas hierárquicos de manutenção, trabalhando com intervalos mais longos o que reduz o tempo de paragem duma aeronave; incorpora técnicas zonais de inspeção simples e padronizadas; reduz os intervalos de inspeção a níveis inferiores a manutenção de sistemas aumentando a fiabilidade e disponibilidade. (Intergraph, 2006)

Segundo Kinisson (2004) e Ackert (2010) existem três categorias de tarefas inerentes ao MSG-3:

Tarefas dos sistemas da 'airframe' - Lubrificação, *Servicing*, Inspeção, Verificação Funcional, Verificação Operacional, Verificação Visual, Restauração e Remoção - Estas tarefas são atribuídas de acordo com o resultado das análises e com as especificações do componente ou sistema que está a ser considerado.

Tarefas de unidades estruturais - Inspeção Visual Geral, Inspeção Detalhada e Inspeção Detalhada Especial - São as inspeções feitas à estrutura da aeronave para determinar qual o tipo de deteriorização (ambiental, dano acidental, dano de fadiga) para que seja aplicada a ação corretiva correspondente.

Tarefas zonais - Assegura que todos os sistemas, componentes e instalações numa dada zona da aeronave estão conforme o especificado para que seja mantida uma operação segura da aeronave. Estas incluem inspeções visuais.







Sendo um método "inteligente", O MSG-3 está em constante atualização, respondendo aos avanços tecnológicos e às necessidades do utilizador. Desta forma esperam-se sempre novos desenvolvimentos nesta área, com principal foco na redução dos custos de manutenção e no aumento do tempo em operação das aeronaves. (Gdalevitch, 2000)

2.4.4 - Padrões de Taxas de Falhas

A manutenção, no seu geral, não é tão simples como acima explicada pois esta não se comporta duma forma linear. Nem todos os sistemas têm a mesma taxa de degradação e por isso não é possível aplicar um mesmo tipo de manutenção a dois sistemas distintos sem primeiro perceber como é que estes se degradam.

Em Kinisson (2004) e Amborski (2009) são explicadas os vários padrões de Taxas de Falhas (explicados sucintamente na tabela abaixo) baseados num estudo feito pela *United Airlines*. No eixo vertical encontra-se a taxa de falha e no eixo horizontal o tempo. A percentagem referente a cada padrão representa a quantidade de sistemas em que a falha pode ser caracterizada por aquele padrão.

Tabela 2.1 - Padrões de Taxas de Falhas adaptado de (Kinisson, 2004) e (Amborski, 2009).

	<p>É mais conhecida como a 'curva da banheira'. Mostra uma grande taxa de falha no início da vida do componente. Depois de corrigidos os erros iniciais, o equipamento entra no seu comportamento padrão até ao fim onde o seu limite físico é atingido. (4%)</p>
	<p>Ao longo da vida do equipamento, nota-se um ligeiro crescimento da taxa de falha até se verificar um período definitivo de desgaste. (2%)</p>
	<p>Tem um crescimento da taxa de falha um pouco mais acentuado que o padrão anterior, mas no entanto não apresenta um período definitivo de desgaste. (5%)</p>
	<p>Mostra um crescimento da taxa de falha lento quando o equipamento é novo, o qual cresce para uma taxa de degradação quase constante até ao fim da vida do equipamento. (7%)</p>
	<p>Considerado o equipamento ideal. Não apresenta modificações especiais ou repentinas no seu comportamento. A taxa de falha é constante durante toda a sua vida. (14%)</p>
	<p>Mostra uma grande taxa de falha no início da vida do componente, seguido por uma taxa de degradação constante até ao fim do seu funcionamento. (68%)</p>

2.4.5 - Outras considerações sobre Manutenção Aeronáutica

Numa aeronave existem componentes que devem ser utilizados até à falha, antes que haja intervenção por parte da Manutenção. A indústria da aviação criou três técnicas essenciais para abordar este tipo de situação: redundância de equipamento, unidades de substituição em linha e requisitos mínimos de despacho de aeronaves. (Kinisson, 2004)

Segundo o autor o conceito de redundância é muito comum na Indústria Aeronáutica, especialmente em sistemas em que uma alta fiabilidade é desejada. Neste caso, se a unidade primária falhar, existe uma secundária de reserva que começa a funcionar.

O facto de um sistema ser redundante também afeta os requisitos da sua manutenção. Se as duas unidades forem instrumentadas⁹, de forma a que a tripulação esteja alerta para qualquer avaria não é necessário ser efetuada manutenção antes do voo. Se por outro lado nenhuma das unidades tiver este tipo de equipamento a equipa de manutenção tem de fazer uma revisão antes do voo.

É muito comum que o sistema de reserva seja instrumentado e o primário não, para que em caso de falha deste a tripulação já tenha indicação que o sistema de reserva está a funcionar. Esta técnica é utilizada para que se chegue a um meio termo entre quanto instrumentação é utilizada e quanta manutenção é necessária. Em alguns casos o sistema secundário entra em uso automaticamente após a falha do sistema principal. (Kinisson, 2004)

Outra técnica, segundo o autor, muito utilizada na Manutenção Aeronáutica é a de unidades de substituição em linha (LRU). Um LRU consiste numa unidade ou sistema que foi dimensionado de forma tal que as partes que falham de forma mais regular possam ser rapidamente removidas e substituídas da aeronave.

A terceira e última técnica dá pelo nome de requisitos mínimos de despacho de aeronaves ou lista de equipamento mínimo (MEL). Esta é a lista de equipamentos que mesmo inoperativos permitem uma operação segura da aeronave. Esta lista de equipamentos é minuciosamente selecionada pelo fabricante e pela entidade reguladora, sendo que são na sua maioria pertencentes a um sistema redundante.

Embora as falhas dum sistema tão complexo como uma aeronave possam ocorrer de forma aleatória e inoportuna, estas três técnicas dão um grande auxílio na carga de trabalho da manutenção. (Kinisson, 2004)

⁹ Unidade que tem incorporado um sistema de sensores/alerta que avisa a tripulação de quando está avariado ou inoperativo, bem como pode recolher e transmitir dados para efeitos de controlo da tripulação ou de outra entidade.

Capítulo 3 - Fiabilidade

Neste capítulo dá-se uma maior ênfase ao tema Fiabilidade na Manutenção. São apresentados os vários tipos de fiabilidade e a sua utilidade. Descreve-se o objetivo e a estrutura de um Programa de Fiabilidade, contextualizam-se os fatores de fiabilidade e são expostos alguns dos métodos para o cálculo de níveis de alerta.

Aborda-se a fiabilidade segundo a sua definição e deduz-se a equação geral da fiabilidade, contextualizando a fiabilidade na SATA ao dar foco ao caso especial de pequenas frotas (*small fleets*) e os cuidados a ter quando se está na presença de uma frota com estas características.

O conceito de RCM é também aqui explorado, sendo que é apresentado como uma alternativa ao método corrente de elaboração de um Programa de Fiabilidade.

3.1 - A Fiabilidade

Assis (1997) diz-nos que, ‘Em Engenharia, a fiabilidade é definida (...) como medida da capacidade de um órgão operar sem falha (...)’. Ou, nas palavras de Pham (2006), é o sucesso no desempenho de uma determinada função.

Por outro lado, Kinisson (2004), afirma que a fiabilidade pode ser descrita como ‘a probabilidade de um item realizar uma determinada função, sobre condições específicas sem falhar, por um determinado período de tempo especificado’.

Para o mesmo autor, existem duas formas distintas de olhar para a fiabilidade, uma mais geral onde a fiabilidade de despacho é o principal indicador e a outra, focada num Programa de Fiabilidade desenhado para resolver problemas de manutenção de forma a fornecer análise e ações corretivas para melhorar a fiabilidade do sistema ou componente.

De forma a se perceber melhor o conceito de fiabilidade e de como pode ser aplicado, as próximas páginas incluem algumas definições dos vários tipos de fiabilidade, assim como o estudo dum Programa de Fiabilidade.

É importante também realçar que segundo as normas internacionais (EASA) a frota da SATA (Dash 8 Q-400) está incluída na categoria de *Small Fleets*, ou seja, possui menos do que seis aeronaves. O estudo específico em fiabilidade para este tipo de frota é também exposto no decorrer deste capítulo.

3.2 - Tipos de Fiabilidade

Quando se fala de fiabilidade, pode-se referir não só a um sistema, mas também a funções, pessoas, etc. Para o caso em estudo, irão ser referidos os tipos de fiabilidade

relevantes para a manutenção de aeronaves, sendo eles os seguintes: Fiabilidade Estatística; Fiabilidade Histórica; Fiabilidade orientada para o evento e Fiabilidade de Despacho. (Kinisson, 2004)

3.2.1 - Fiabilidade Estatística

Tipo de fiabilidade que se baseia na reunião e análise de taxas de falhas, remoções e reparações de sistemas e componentes. Estas falhas são calculadas baseado em eventos por mil horas de voo ou eventos por mil ciclos. (Kinisson, 2004)

Embora seja uma forma bastante fidedigna de estudar a fiabilidade e de obter os resultados pretendidos, retira-se da bibliografia que para que sejam obtidos dados suficientes para se poder tirar conclusões utilizando este método é necessária uma frota com um número de aeronaves igual ou superior a trinta.

3.2.2 - Fiabilidade Histórica

A Fiabilidade Histórica é obtida através da comparação entre os dados atuais e os do passado. Se considerarmos que um dado equipamento é utilizado só num determinado período durante o ano, a fiabilidade estatística não dará resposta. Mas se olharmos para o mesmo período do ano anterior podemos obter informações de como se comportou o sistema/componente. Se estes eventos forem parecidos com a experiência passada então não há alerta. Se, pelo contrário, existir uma diferença significativa entre eles então já há probabilidade de existência de problema. (Kinisson, 2004)

Segundo o autor, a Fiabilidade Histórica não poderá ser utilizada quando se introduz um novo equipamento. Como ainda não se possui dados de eventos passados não há informação suficiente disponível para saber que taxas esperar. Na Fiabilidade Histórica reune-se meramente os dados relevantes e ‘vemos o que acontece’. Quando há informação suficiente disponível pode-se passar este equipamento para o estudo estatístico.

Uma outra forma de olhar para a Fiabilidade Histórica, pode ser olhar para eventos de há dois ou três anos e juntar toda essa informação organizada em tabelas ou gráficos para se poder analisar e retirar as conclusões.

3.2.3 - Fiabilidade orientada para o evento

Este tipo de fiabilidade foca-se em eventos únicos tais como: *birdstrikes*,¹⁰ *hard landings*¹¹, *in-flight shutdowns*¹², quedas de raios ou outros acidentes/incidentes. (Kinisson, 2004)

¹⁰ Colisão entre uma ave e uma aeronave.

¹¹ Danos causados por cargas excessivas no trem durante uma aterragem.

¹² Paragens de motor em voo.

Como são eventos únicos e onde a sua periodicidade não é regular não devem ser considerados para os estudos estatístico e histórico. Contudo, estes eventos ocorrem e por esta razão devem ser estudados para determinar as suas causas e prevenir eventuais futuras ocorrências.

3.2.4 - Fiabilidade de Despacho

A Fiabilidade de Despacho é uma medida geral da eficácia da companhia aérea baseada nas partidas sem atraso. (Kinisson, 2004)

Algumas companhias aéreas, assim como entidades reguladores dão alguma ênfase à Fiabilidade de Despacho, no entanto é preciso ter em conta que os atrasos ou cancelamentos nem sempre se devem à Manutenção. É importante reconhecer quando o problema tem origem externa e quando isso acontece ser-lhe atribuído a responsabilidade. É esse o papel preponderante dum PMA, identificar e eliminar o problema independentemente de quem o causou.

Como se lê em Kinisson (2004), não podemos apenas olhar para a Fiabilidade de Despacho como o nosso único indicador de fiabilidade. Leia-se o exemplo dado: 'Se tivermos 12 'write-ups' (registos) com problemas de *rudder* durante um mês e apenas um deles causou um atraso'. Podemos identificar aqui claramente dois problemas a resolver: O atraso que poderá estar associado a outros problemas que não ao leme vertical e os 12 'write-ups' que poderão estar associados a um problema de manutenção não detetado.

No exemplo acima dado, e segundo o autor, consideramos o atraso como um evento único e deve ser assim estudado e resolvido. Por outro lado, os 12 problemas encontrados com o leme vertical devem ser estudados estatisticamente (ou historicamente) como dado no Programa de Manutenção.

Podemos assim concluir que um problema pode não ter causado um atraso, mas não deixa de ser um problema e deve ser investigado.

3.3 - Programa de Fiabilidade

A ANAC (Autoridade Nacional de Aviação Civil) define um Programa de Fiabilidade como sendo 'um conjunto de ações de monitorização da condição da aeronave e dos seus componentes' e que, através dos níveis de alerta nos permite monitorizar 'a eficiência das tarefas de manutenção integradas no Programa de Manutenção'. (ANAC, 2010)

O propósito dum Programa de Fiabilidade é, na sua essência, através de um conjunto de regras e práticas poder melhorar um Programa de Manutenção. A sua principal função é monitorizar a performance dos equipamentos e alertar para a necessidade duma ação corretiva. (Kinisson, 2004)

Segundo o mesmo, ainda existem outras duas funções para o Programa de Fiabilidade e estas são: monitorizar a eficácia das medidas corretivas acima referidas e fornecer dados que justifiquem o ajuste dos intervalos de manutenção ou até mesmo os procedimentos previstos no Programa de Manutenção.

Um Programa de Fiabilidade pode ainda ser visto como um sistema de monitorização e de transmissão de dados estatísticos duma determinada operadora. (Marušić, Galović, & Pita, 2015)

Estes autores afirmam que, é preciso ter em conta que diferentes operadores operam em condições diferentes e por esta razão cada um deve fazer a avaliação do Programa de Fiabilidade que mais se adequa às suas condições de operação.

Estes mesmos autores acrescentam, ainda, que o propósito dum Programa de Fiabilidade é de 'providenciar informação estatística que pode ser utilizada para adaptar e melhorar o Programa de Manutenção para uma frota específica de apenas um tipo de aeronave'.

Algumas destas mudanças ao Programa de Manutenção podem ser o mau funcionamento de alguns componentes do sistema ou sistemas a mostrarem a necessidade de alguma alteração ou melhoramento na sua fase inicial ou ainda a substituição de equipamento durante a sua utilização. (Domitrović, Bazijanac, & Alić-Kosteajić, 2012)

Por forma a obter resultados estatísticos confiáveis é necessário obter um número elevado de amostras e eventos (Marušić, Galović, & Pita, 2015). Por isso, quanto maior for a frota, melhor serão as amostras estatísticas e portanto mais fidedigno será o Programa de Fiabilidade.

3.3.1 - Elementos de um Programa de Fiabilidade

Um Programa de Fiabilidade consiste numa série de procedimentos e funções administrativas que pode incluir sete elementos base, Recolha de Dados, Alerta da Área do Problema, Exibição de Dados, Análise de Dados, Ações Corretivas, Análise *follow-up* e Relatório Mensal. Estes elementos podem ser organizados sob a forme de um *iceberg*, representado na figura seguinte.

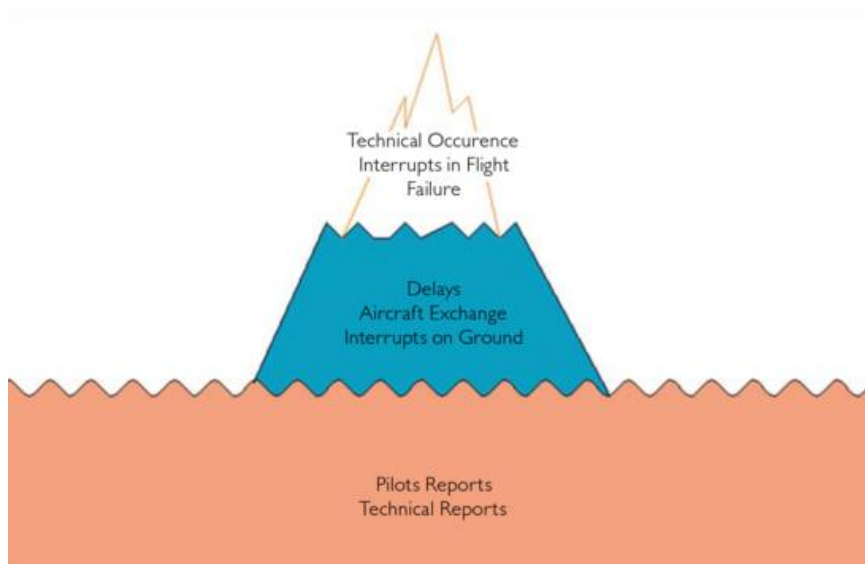


Figura 3.1 - *Iceberg* de parâmetros de monitorização de fiabilidade. (Domitrović, Bazijanac, & Alić-Kosteajić, 2012)

3.3.2 - Fatores de Fiabilidade

O estudo e identificação de fiabilidade é feito através da recolha de vários dados. Esta recolha de dados dá ao departamento de fiabilidade a informação necessária para observar a eficácia do Programa de Manutenção. Segundo Kinisson (2004) e Amborski (2009) esta recolha de dados é feita tendo como base uma variedade de indicadores chamados de Fatores de Fiabilidade: Horas e ciclos¹³ de voo por aeronave; cancelamentos e atrasos superiores a 15 minutos; remoções de componentes não programadas; remoções de motores não programadas; paragem de motor em voo; relatórios dos pilotos (PIREP); Relatórios do pessoal de cabine. Estes fatores serão explicados em maior detalhe de seguida.

- Horas de voo e ciclos por cada aeronave - Na maioria dos casos, os cálculos em fiabilidade são ‘taxas’ e estas taxas são baseadas em horas de voo ou ciclos. Por exemplo: 0.76 falhas por 1000 horas de voo ou 0.15 remoções por 100 ciclos.
- Cancelamentos e atrasos superiores a 15 minutos - Aqui são apenas considerados os atrasos provocados pela Manutenção. Considera-se 15 minutos porque este tempo pode, na maioria dos casos, ser recuperado durante o voo. Este parâmetro é normalmente convertido em Fiabilidade de Despacho.
- Fiabilidade de Despacho - Este fator analisa qualquer falha técnica que tenha resultado num atraso ou cancelamento. É definida por (Bombardier, 2016):

$$\text{Fiabilidade de Despacho} = 100\% * \left[1 - \frac{(\text{Atrasos} + \text{Cancelamentos})}{\text{Partidas Programadas}} \right] \quad (1)$$

¹³ Condisera-se um ciclo uma descolagem e uma aterragem, ou seja, na prática um ciclo é um voo.

- Remoções de componentes não programadas - Um dos pontos mais relevantes num Programa de Fiabilidade. A taxa de remoção não programada de componentes (URR) mostra-nos numa forma mais clara a quantidade de componentes removidos prematuramente por mil horas de voo e define-se por (Bombardier, 2016):

$$URR=1000*\frac{\text{Remoções Prematuras}}{\text{Horas de Operação*Quantidade de Componentes por Aeronave}} \quad (2)$$

- Remoções de motores não programadas - No geral muito semelhante às remoções de componentes não programadas acima referidos, mas devem ser tratadas separadamente pois requerem mais tempo e mão-de-obra.
- Paragem de motor em voo - Esta é uma das ocorrências mais graves na aviação, principalmente para aeronaves que possuem um ou dois motores.
- Relatórios dos pilotos (PIREP) - Este fator mostra a quantidade de avarias ou defeitos encontrados pelos pilotos durante o voo. É possível também que os pilotos detetem alguma avaria não detetada pelos mecânicos.
- Relatórios dos mecânicos (MAREP) - Mostra a quantidade de avarias detetadas pelos mecânicos de manutenção.
- Relatórios do pessoal de cabine - Embora, no geral, estas ocorrências não sejam tão graves como as reportadas pelos pilotos, têm um papel preponderante no que toca a segurança e conforto dos passageiros na cabine.
- *MTBUR (Mean Time Between Unscheduled Removals)* - Como o nome indica, este fator mostra-nos o tempo médio entre remoções prematuras de um dado componente por mil horas/ciclos de voo.
- *NFF (No Fault Found)* - Mostra a quantidade de falhas não encontradas aquando da inspeção ou remoção de um componente.
- *MTBF (Mean Time Between Failure)* - Dá-nos o tempo médio entre remoções de um determinado componente numa aeronave por mil horas/ciclos de voo e é matematicamente definido por (Bombardier, 2016).

$$MTBF=\frac{MTBUR}{1-NFF} \quad (3)$$

3.3.3 - Níveis de Alerta

Na base de fiabilidade está a recolha e análise de dados. Para que possamos chegar a uma boa conclusão temos de combinar a análise de dados com níveis de alerta que são estipulados segundo uma experiência mais vasta. Importa assim perceber como podem ser estipulados os referidos níveis de alerta.

Existe um variado espetro de formas para calcular Níveis de Alerta em fiabilidade, estes são mais conhecidos como erro estatístico. Para (Amborski, 2009) estas são as principais formas de cálculo de Níveis de Alerta (NA):

- $NA = \text{Média} + 3 * \text{Desvio Padrão}$ (4)
- $NA = \text{Média} + \text{Desvio Padrão Médio das Médias} + 3 * \text{Desvio Padrão}$ (5)
- $NA = \text{Média} * 1.3$ (6)
- $NA = \text{Média} + 2 * \text{Desvio Padrão}$ (7)
- Weibull Method

Como explicado em Kinisson (2004), podemos ver na figura abaixo que foi calculado um novo Nível de Alerta (linha sólida no topo direito) para um período de 12 meses (abril de 2000 até março de 2001). Os dados utilizados (média e desvio padrão) para obter este valor foram recolhidos num período de 12 meses (janeiro de 1999 a dezembro de 1999) e foi calculado utilizando a equação (7).

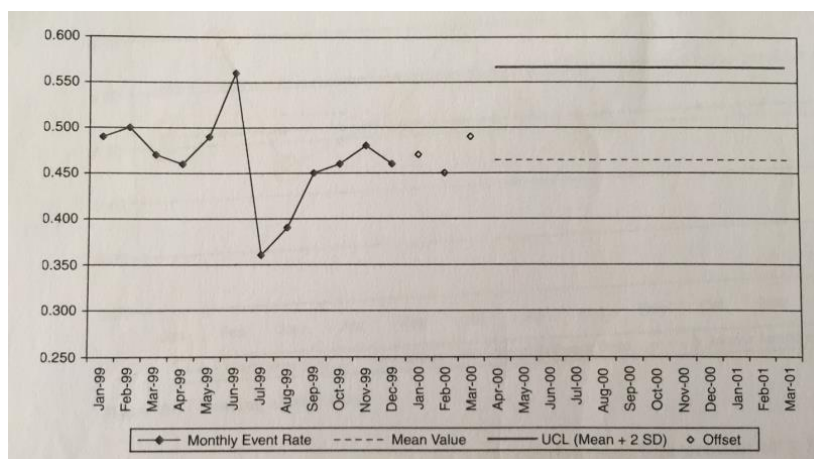


Figura 3.2 - Gráfico representativo do cálculo de um novo Nível de Alerta. (Kinisson, 2004)

Como o cálculo dos Níveis de Alerta depende de dados obtidos pela operadora, é normal que estes sejam atualizados com alguma regularidade. Cabe à operadora decidir o intervalo de tempo entre o cálculo de novos Níveis de Alerta que pode ser influenciado pelo número de horas de voo ou número de ciclos de voo realizados pela frota da operadora. (Amborski, 2009)

3.3.3.1 - Leitura de Níveis de Alerta

Kinisson (2004) sugere, que do gráfico abaixo podemos fazer várias leituras e tirar algumas conclusões. A primeira é que, precisamos de ter em conta que a nossa análise é feita mensalmente e não temos forma de prever, exatamente, o que vai acontecer no próximo mês. Por isto, quando a taxa de eventos passa acima da linha do nível de alerta (linha sólida superior) não é uma indicação de problema, mas sim uma alerta para um possível problema.

Se a reação for feita rápida demais e se se tentar resolver uma avaria ou defeito que não existe, resulta na perda desnecessária de tempo, dinheiro e recursos.

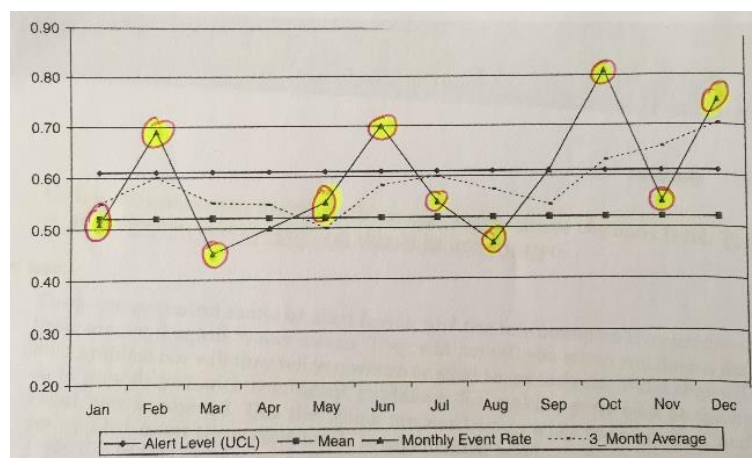


Figura 3.3 - Leitura de Níveis de Alerta. (Kinisson, 2004)

Para resolver este problema de altos e baixos no nível de alerta, muitos operadores utilizam a taxa da média dos últimos três meses (linha tracejada). Assim vemos que, mesmo que a linha representativa da taxa de eventos ande acima e abaixo do nível de alerta, a média de três meses mantém-se abaixo deste nível até outubro. Depois deste mês e ainda que a taxa de eventos tenha descido abaixo no nível de alerta, a média de três meses manteve-se acima, isto é um indicador de que pode haver algum problema associado e por isso há a necessidade de investigar mais a fundo.

3.3.4 - Requisitos Legais para implementar um Programa de Fiabilidade

Segundo a ANAC (2010), para se elaborar um Programa de Fiabilidade é necessário estar na presença de uma destas condições:

- O Programa de Manutenção é baseado na lógica MSG-3;
- O Programa de Manutenção inclui componentes em CM (*'Condition Monitoring'*);
- O Programa de Manutenção não define intervalos de revisão geral (*'overhaul'*) de todos os componentes de sistemas críticos;
- Quando especificado pelo fabricante – *Maintenance Planning Document* (MPD) ou pelo *Maintenance Review Board* (MRB) emitido pela entidade aeronáutica de certificação da Aeronave.

3.4 - Manutenção Centrada na Fiabilidade

Como vimos no capítulo anterior, a abordagem MSG-3 é a utilizada hoje em dia para se elaborar um PMA na aviação comercial. No entanto existem outras abordagens e a Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM) é uma delas. Nesta secção pretende-se explicar de uma forma generalizada este método, de modo a ter-se uma panorâmica mais completa sobre o tema.

Segundo Kiyak (2012), se aplicarmos Manutenção Preventiva, é possível reduzir o número de paragens e assim reduzir também a quantidade de manutenções não programadas.

Uma Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM - *Reliability Centered Maintenance*), é baseada em processos sistemáticos concebidos de forma a determinar o que tem de ser feito para que um equipamento ou sistema consiga desempenhar as suas funções de projeto durante toda a sua vida. (Dhillon, 2002)

Estes processos definem que tipo de abordagem de manutenção deve ser feita: Manutenção Preventiva (PM), Manutenção Preditiva (PdM), Monitorização em Tempo Real (RTM), Manutenção Reativa (RTF) e Manutenção Proativa. Como podemos observar na figura seguinte, todas estas abordagens formam um sistema integrado que permitem aumentar a probabilidade de um equipamento operar durante todo o seu ciclo de vida com a menor recorrência à Manutenção possível, tentando reduzir os custos ao máximo. (Hussain, 2003)

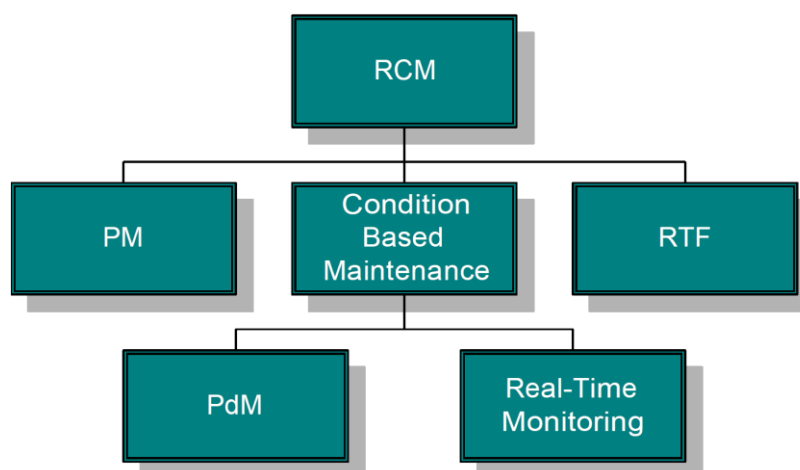


Figura 3.4 - Elementos de uma RCM, retirado de (Hussain, 2003)

Teve a sua origem na década de 1960 aquando da criação do MSG, filosofia esta tratada e explicada no capítulo anterior.

De uma forma geral, a RCM aborda sete tópicos fundamentais: (Wikoff, 2008)

1. Funções

A questão que se põe é quais são as funções que o equipamento deveria desempenhar e listar todas estas ações, definir as condições de operação e os padrões segundo os quais o equipamento deve operar.

2. Falhas Funcionais

Esta tarefa é simplificada se todas as funções forem bem identificadas e listadas. A Falha Funcional é toda a falha que ocorre mas o equipamento consegue desempenhar a sua função.

3. Modos de Falha

O Modo de Falha é considerado em RCM o evento que causa a Falha Funcional. Devem ser identificados todos os modos de falha que possam levar a uma Falha Funcional, todos os que já ocorreram e todos aqueles que estão previstos pelo PMA em vigor.

A RCM é tida como o processo analítico mais minucioso de elaboração de um PMA, e por esta razão é aceitável que todo o tipo de possibilidade de falha seja previsto.

4. Efeitos de Falha

Neste ponto pretende-se identificar o que ocorre depois da falha. Deve ser descrito o procedimento a ter, se nenhuma ação prévia for tomada para antecipar, prevenir ou detetar a falha.

5. Consequências da Falha

Em RCM lida-se com a consequência da falha como se nada estivesse a ser feito acerca desta. Isto é, mesmo que haja alguma ação previamente elaborada para lidar ou prever a falha, em RCM a falha é sempre verificada para garantir que se lida com a esta e a elimina.

6. Tarefas Proativas

As Tarefas Proativas servem para decifrar o que poderá ser feito para prever ou prevenir a ocorrência de falha. Estas tarefas podem ser designadas olhando de uma forma geral para o sistema de gestão de falha ou definindo tarefas específicas de forma a prevenir ou prever a falha.

7. Ações Padrão

Por fim, são endereçadas todas as falhas para as quais não há uma ação preventiva definida. Quando isto acontece uma de duas decisões pode ser tomada: deixar o equipamento operar até à falha ou alterar as suas condições de operação.

De uma forma geral podemos representar os princípios da RCM acima descritos num esquema de árvore:

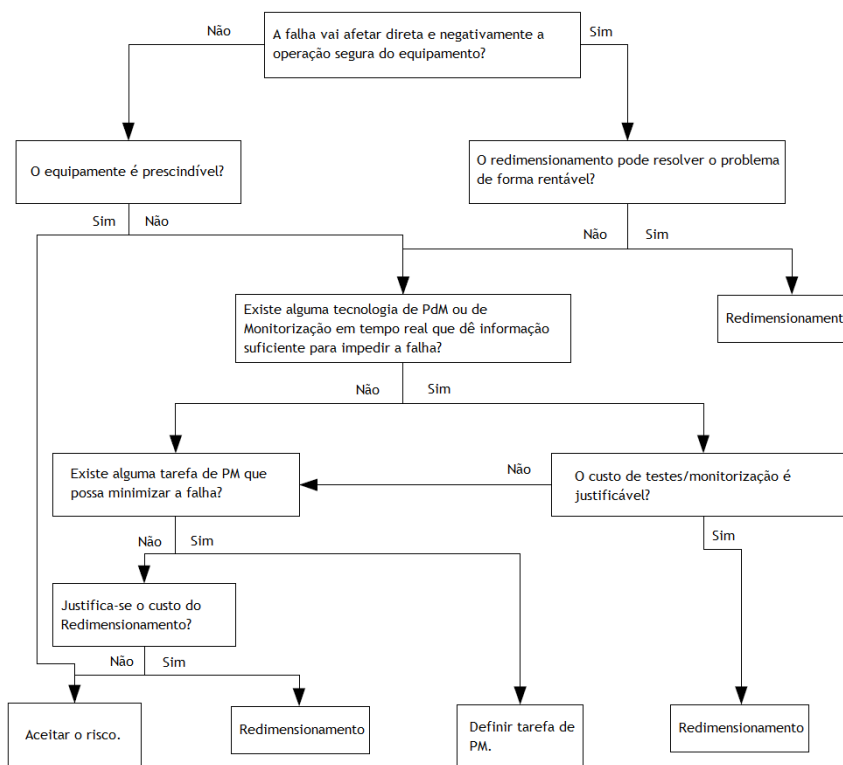


Figura 3.5 - Esquema em árvore de Ações de análise RCM baseado em (Hussain, 2003)

3.4.1 - Ações de Manutenção num Programa de RCM

O objetivo principal da RCM é identificar as técnicas de manutenção mais viáveis em termos de custos de forma a minimizar o risco de impacto da falha. Assim é possível manter o equipamento em operação de uma forma economicamente rentável.

No artigo de Hussain (2003) são citados dois autores, Nowlan e Heap que sugerem como objetivos da RCM:

- Assegurar a conceção dos níveis de segurança e fiabilidade inerentes ao equipamento;
- Assegurar que estes níveis de segurança e fiabilidade voltam aos níveis de conceção quando ocorre deterioração;
- Obter informação suficiente para redimensionar o equipamento quando os níveis de fiabilidade inerentes ao equipamento provam ser insuficientes;

- Conseguir completar estes objetivos da forma mais rentável possível, incluindo custos de manutenção, custo de suporte e as consequências económicas das falhas operacionais.

Assim, segundo o artigo acima referido, podemos identificar 4 resultados duma análise de RCM:

1. Não realizar Manutenção - Pode ser referida também como Manutenção Reativa, e assume que a falha ocorre com a mesma probabilidade em qualquer parte e que esta não impede a operação. Num PMA baseado apenas nesta lógica é natural que apareçam elevadas taxas de falha, inventários com um elevado número de peças e horas extra excessivas.
2. Realizar Manutenção Preventiva - Consiste em realizar tarefas programadas tais como inspeções, ajustes, limpeza, lubrificação e substituição de unidades ou equipamentos. É feita em intervalos pré-determinados com o objetivo de reduzir as falhas do equipamento. Para os autores acima referidos, este tipo de manutenção pode levar a ações corretivas desnecessárias que se traduzem em custos acrescidos e sem alterações visíveis na fiabilidade.
3. Realizar Manutenção baseada na condição (CBM) - Também designada de Manutenção Preditiva (PdM), realiza em primeiro lugar testes não intrusivos para medir o desempenho do equipamento. Este tipo de manutenção substituí as tarefas de manutenção programadas de Manutenção Preventiva e programa ações de manutenção apenas quando é garantido pela condição do equipamento. A monitorização continuada do equipamento permite a realização de ações de manutenção planeadas ou programadas sem que se assista a uma falha catastrófica do equipamento.
4. Redimensionamento - Quando um equipamento ou sistema tem-lhe associado um risco inaceitável e nenhuma das técnicas acima ajuda a melhorar a sua condição é necessário redimensionar o equipamento por forma a melhorar o seu desempenho. Em muitos dos casos a redundância de equipamento também é uma solução sendo que esta acarreta menos custos.

Uma Manutenção Centrada na Fiabilidade é, como vimos, um processo muito minucioso que pode até ser demorado e às vezes sem melhoramentos visíveis até ser encontrada a ação de manutenção apropriada a cada equipamento, no entanto a aplicação deste tipo de manutenção pode, segundo se encontra em (Hussain, 2003), incorrer numa redução dos custos anuais de Manutenção na ordem dos 30% a 50%.

3.5 - Fiabilidade de Sistemas

‘Um sistema é um conjunto de elementos de um género ou outro que, juntos, desempenham alguma função ou possibilitam algum resultado desejado.’ (Kinisson, 2004)

O estudo da fiabilidade de sistemas de aeronaves tem uma grande contribuição para a diminuição dos acidentes e incidentes na indústria da aviação. ‘A falha dum sistema ou componente é a terceira maior causadora de acidentes mortais na indústria aeronáutica’ cita (Georgiev, 2013).

A análise da fiabilidade de um sistema é uma atividade complexa e morosa. Por essa razão podem ser feitas várias aproximações, suposições e simplificações para chegar ao resultado pretendido. Nesta secção vamos apresentar a dedução da fórmula geral da fiabilidade assim como a sua aplicação a sistemas redundantes e não redundante que servirá como base para a primeira parte do trabalho prático.

3.5.1 - Definição de Falha

Podemos assumir a falha como sendo a ‘cessação de funcionamento ou (...) a degradação de um parâmetro de funcionamento até um nível considerado insatisfatório’. (Assis, 1997)

No âmbito da fiabilidade consideram-se dois tipo de falhas (ver figura 3.6): a falha catastrófica que ocorre de forma súbita e violenta, é completamente imprevisível e inclui a destruição parcial ou total do sistema; e a falha por degradação que aparece devido ao desgaste progressivo dum dado equipamento para além dos seus limites de resistência. Esta última é normalmente combatida através da Manutenção Preventiva.

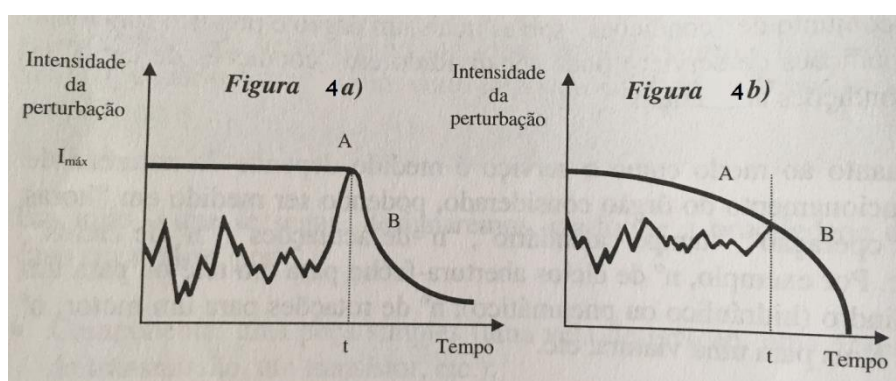


Figura 3.6 - Figura 4.a) Falha catastrófica; Figura 4.b) Falha por degradação ou deriva. (Assis, 1997)

3.5.2 - Fiabilidade Intrínseca e Extrínseca

Para melhor perceber o estudo em questão e entender a fiabilidade como uma probabilidade temos que olhar mais a fundo e avaliar o que realmente os números nos dizem.

Assis (1997), afirma que ‘a fiabilidade, sendo uma probabilidade, constitui um estado do conhecimento das coisas e não o estado real ou intrínseco das coisas’. O nosso objetivo é aproximar o máximo possível este ‘estado de conhecimento’ ao ‘estado real’. O mesmo autor refere que para que esta aproximação seja possível temos que considerar a dimensão da amostra e o período de observação, isto é, ‘se a dimensão da amostra for pequena há que empreender um período longo de observação, se a dimensão da amostra for grande o período pode ser encurtado’.

Precisamos de ter em atenção ainda que, por se conhecer a fiabilidade de um equipamento, nada nos garante que esse equipamento se comportará da forma prevista. A probabilidade dá-nos a indicação da ocorrência num número médio de avarias num dado intervalo de tempo. (Assis, 1997)

O cálculo da fiabilidade pode ser obtido por duas formas essenciais, ou pelos fabricantes, que por via de testes intensivos chegam a um valor base de fiabilidade (valor de fábrica) ou então por valores obtidos pelos operadores, que por via da experiência conseguem ter uma base de dados suficientemente grande para calcular valores de fiabilidade fidedignos.

3.5.3 - Custo do Ciclo de Vida de um equipamento (*life cycle cost*)

As preocupações com os custos do ciclo de vida de um equipamento são uma realidade desde a década de 60 do século passado. Segundo (Fei, 2008), um perito em economia da fiabilidade, em termos de *life cycle cost* as principais preocupações de então eram mudar de comerciantes para se conseguir preços mais reduzidos. Desde então o custo de ciclo de vida tem evoluído para um dos parâmetros de maior importância principalmente na procura de um equipamento e na aquisição do mesmo.

Embora a fiabilidade da operação dum equipamento seja de maior importância, há que ter em conta todas as fases inerentes ao seu ciclo de vida.

Segundo Assis (1997), a vida de um equipamento pode ser dividida em quatro fases: Projeto (ou conceção); Fabricação (ou construção); Operação (ou exploração); Desativação (ou eliminação).

Durante estas fases e nas transições entre elas, é da mais extrema importância que as características do equipamento se mantenham fiéis à sua conceção. Assis (1997) diz-nos, ainda, que em fiabilidade importam as três primeiras fases do equipamento, sendo que no Projeto ‘decidem-se os requisitos funcionais em compromisso com os custos e com o nível de

segurança' e atribuí-se um valor intrínseco de fiabilidade depois de serem analisadas todas as possibilidades de falha. No processo de fabricação o foco vira-se para o Controlo de Qualidade que deve garantir que os níveis de fiabilidade estipulados na fase anterior passam do conceito para o equipamento propriamente dito. Por fim, há que garantir a fiabilidade na fase mais longa do equipamento, e para a qual ele foi desenhado e concebido, a Operação. Nesta fase é preciso ter em conta as condições reais do operador para que se possa introduzir um Programa de Manutenção adequado e se possam fazer as alterações devidas para que se mantenham os níveis de fiabilidade o mais próximo dos níveis de conceito.

Apesar da manutenção ser pouco significativa no custo total do ciclo de vida (figura 3.7) dum equipamento (3% a 5%), as considerações sobre a fiabilidade e a introdução de um Programa de Manutenção equilibrado podem significar reduções de custos significativas ao longo de um ano de operação. (Hussain, 2003)

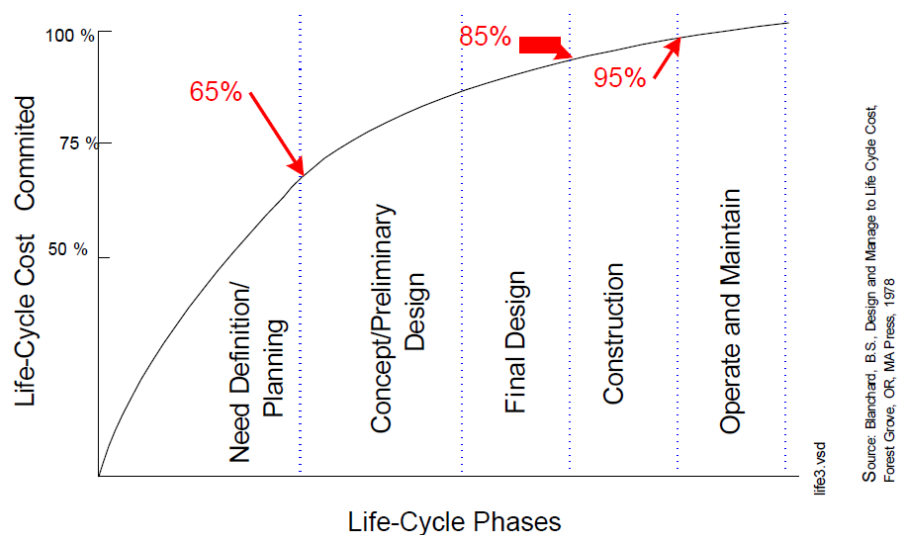


Figura 3.7 - Life Cycle Cost de uma unidade normal. (Hussain, 2003)

3.5.4 - Definição matemática de Fiabilidade

Considerando a fiabilidade $R(t)$ como a probabilidade de sobrevivência de um determinado equipamento desempenhar a sua função durante um certo intervalo de tempo, matematicamente podemos representar por: (Pham, 2006)

$$R(t) = P(T > t) \quad \text{para } t \geq 0 \quad (8)$$

T - variável aleatória que representa o tempo até à falha

t - variável que representa o tempo de operação

Por outro lado, podemos considerar a probabilidade de falha (ou de insucesso), expressada por:

$$F(t)=P(T\leq t) \quad \text{para} \quad t\geq 0 \quad (9)$$

Onde $F(t)$ é a função de probabilidade de falha.

Estas duas funções, $R(t)$ e $F(t)$, são complementares e por isso podemos concluir que: (Assis, 1997)

$$R(t)+F(t)=1 \quad (10)$$

Como é possível observar pelas equações acima representadas, a fiabilidade é uma função dependente do tempo, isto significa que só faz sentido falar de fiabilidade quando associada a um intervalo de tempo (tempo esperado de operação). Por exemplo, podemos concluir que a fiabilidade de um sistema é igual a 0.995 para um intervalo de tempo de 1000 horas. Contudo, se apenas for dito que a fiabilidade dum sistema é de 0.995 sem qualquer referência de tempo este valor não tem significado. (Pham, 2006)

Em Assis (1997), podemos ver um exemplo para melhor compreendermos o acima mostrado: digamos que a fiabilidade de um dado equipamento é de 75% em 1000 horas, prevê-se que este equipamento funciona sem falhar 75 vezes em cada 100, ou seja, 750 horas. Por outro lado, este mesmo equipamento falha 25 vezes em cada 100. No entanto, a falha associada pode ser repentina e aleatória ou constante ao longo da vida do equipamento, ou seja, não é tão linear como acima descrito.

Como vimos anteriormente, a fiabilidade depende do tempo e para melhor perceber este conceito consideremos um ensaio contendo um número grande N_0 de unidades iguais, que operam nas mesmas condições durante um determinado intervalo de tempo t .

Podemos, desta forma reescrever as funções (8) e (9) sabendo que existem N_s unidades que sobrevivem e N_f unidades que falham num dado intervalo t . Assim, vem que:

$$R(t)=\frac{N_s(t)}{N_0} \quad (11)$$

$$F(t)=\frac{N_f(t)}{N_0} \quad (12)$$

Ao longo de um ensaio, com o passar do tempo t , vemos que $R(t)$ diminui e que, pelo contrário $F(t)$ aumenta. Estes resultados são visíveis no gráfico seguinte:

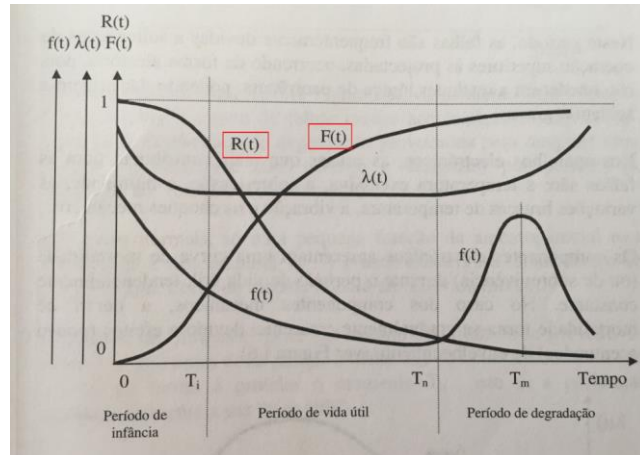


Figura 3.8 - Gráfico das curvas de sobrevivência R(t) e de falha F(t). (Assis, 1997)

A função densidade de probabilidade de falha é a função densidade de probabilidade aplicada à fiabilidade. Esta função dá-nos a quantidade de unidades a falhar (em percentagem), referentes a uma dada amostra N_0 num intervalo de tempo t . É obtida após derivação da equação (12): (Assis, 1997)

$$\frac{dF(t)}{dt} = \frac{1}{N_0} * \frac{dN_f(t)}{dt} = f(t) \quad (13)$$

Da integração da função anterior entre o instante inicial 0 e o instante t resulta a função de probabilidade acumulada de falhas:

$$F(t) = \int_0^t f(t) * dt \quad (14)$$

Graficamente representa-se:

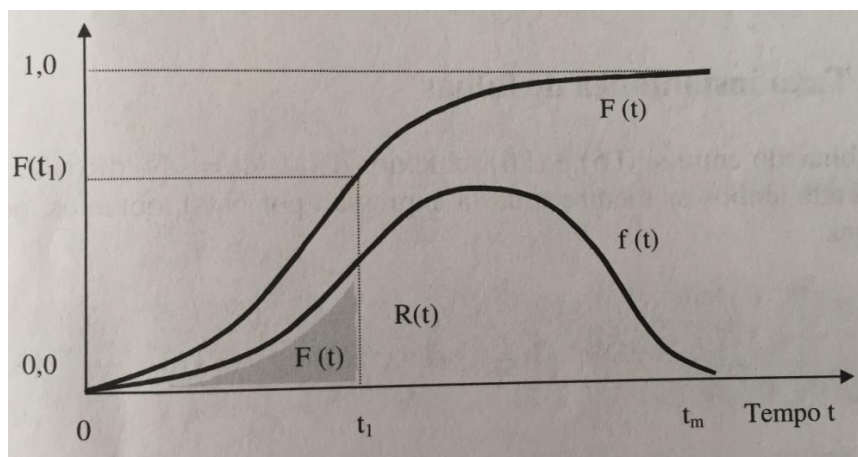


Figura 3.9 - Função densidade de falhas e função probabilidade acumulada de falhas. (Assis, 1997)

Através da análise do gráfico podemos observar que é possível obter o valor de F(t) para qualquer momento t_1 através da observação do eixo das abcissas ou do cálculo da área a

sombreado. Podemos ver também que todas as unidades da amostra N_0 considerada falham no instante t_m , sendo que a função $F(t)$ e $f(t)$ tomam os valores de um e zero respetivamente.

Para chegarmos à equação final de fiabilidade importa perceber que esta função é obtida através da probabilidade de um equipamento sobreviver sem falhar durante um determinado tempo t . Temos então ainda de fazer outras quatro deduções:

De (10) e (14) resulta:

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(t) * dt \quad (15)$$

Graficamente temos:

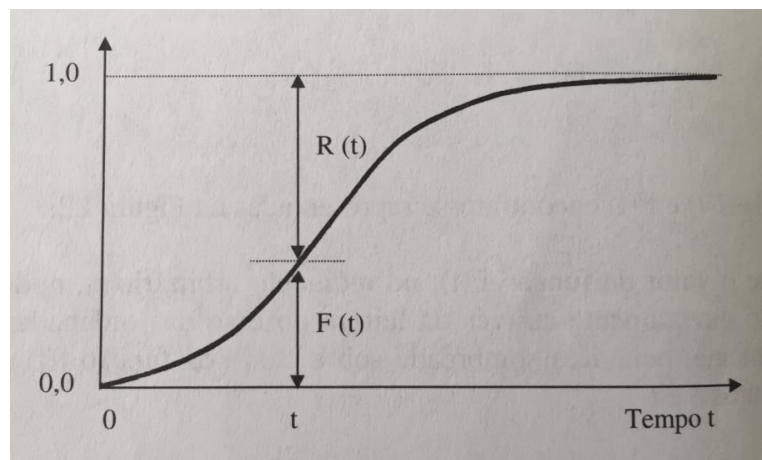


Figura 3.10 - Figura 6 - Gráfico das curvas de probabilidade de sobrevivência $R(t)$ e probabilidade de falha $F(t)$. (Assis, 1997)

3.5.4.1 - Equação Geral da Fiabilidade

A próxima dedução faz-se juntando as equações (13) e (14) e dividindo os dois membros por $N_s(t)$:

$$\frac{1}{N_s(t)} * \frac{dN_f(t)}{dt} = \frac{-N_0}{N_s(t)} * \frac{dR(t)}{dt} = \lambda(t) \quad (16)$$

Esta também é uma função de densidade de probabilidade que, por sua vez, representa 'a taxa à qual os órgãos estão a falhar por unidade de tempo no momento t , em relação ao número de órgãos sobreviventes N_s , até t .' (Assis, 1997)

Graficamente temos:

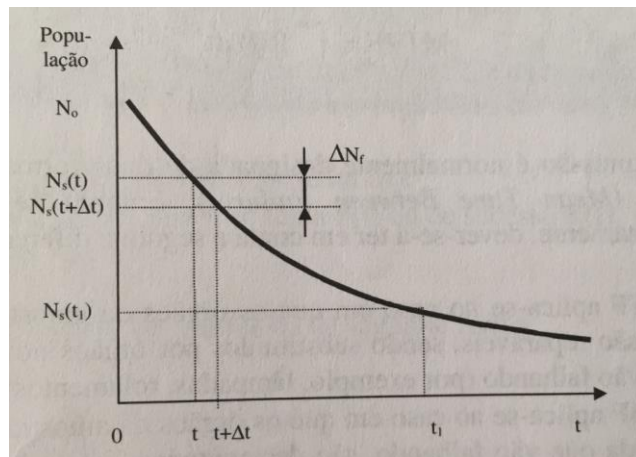


Figura 3.11 - Curva de sobrevivência. (Assis, 1997)

Rearranjando a última equação damos o penúltimo passo para obter a equação de fiabilidade:

$$\lambda(t) = \frac{-1}{R(t)} * \frac{dR(t)}{dt} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (17)$$

Resolvendo em ordem a $R(t)$ e integrando ente 0 e t obtemos a equação geral da fiabilidade, uma função independente da forma da falha:

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) * dt} \quad (18)$$

3.5.5 - Tempo Médio de Falha - MTBF

Para perceber bem o conceito de MTBF é necessário perceber o conceito de falha e para isso, podemos nos basear na explicação dada anteriormente neste capítulo.

O MTBF pode ser calculado através da média estatística dos tempos de falha: (Assis, 1997)

$$MTBF = \int_0^{tm} t * f(t) * dt \quad (19)$$

De onde resulta:

$$MTBF = \int_0^{tm} R(t) * dt \quad (20)$$

O MTBF tem uma grande influência na fiabilidade e é um dos seu principais indicadores. A sua unidade representativa é em horas (ou ciclos) e quanto mais elevado for o MTBF maior será também a fiabilidade do componente. A relação entre fiabilidade de MTBF pode ser expressada matematicamente por: (Torell & Avelar, 2010)

$$R(t) = e^{-\frac{t}{MTBF}} \quad (21)$$

Torell e Avelar (2010) apontam que, no que toca ao MTBF por vezes são feitas algumas suposições que não correspondem à verdade. Os autores apontam que o valor de MTBF não é representativo do tempo de operação do equipamento, e enquanto frequentemente vemos valores de MTBF na ordem de um milhão de horas, os autores afirmam que ‘a razão pela qual estes valores são tão altos é por serem baseados na taxa de falha do produto enquanto estão na sua vida útil ou vida normal, e é assumido que eles vão continuar nessa condição infinitamente’. Esta afirmação não se verifica uma vez os modelos de desgaste limitam a vida útil do equipamento muito antes de este atingir o valor referido de MTBF. Portanto não deverá ser feita nenhuma relação entre o tempo de vida útil de um equipamento e a sua taxa de falha ou MTBF.

O conceito de MTBF é normalmente empregue em unidades que são reparadas à medida que vão falhando e voltam à sua operação normal. Este tipo de unidades pode também ser chamado de unidade rotável¹⁴. (Assis, 1997)

3.5.6 - Fiabilidade de um Sistema Não Redundante (em Série)

Num sistema com os elementos dispostos em série, se ocorrer a falha de um deles, todo o sistema falha. (Assis, 1997)

O diagrama de um sistema em série tem o seguinte aspeto:

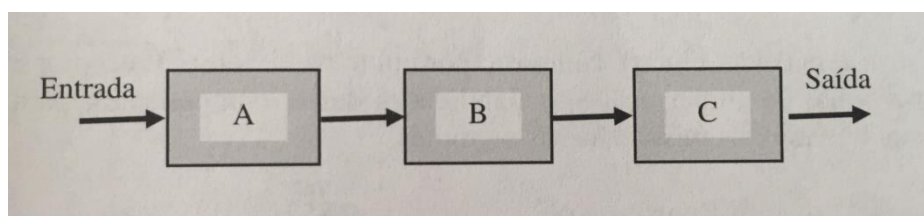


Figura 3.12 - Disposição de um sistema em série com os componentes A, B e C. (Assis, 1997)

A fiabilidade para um sistema deste género pode ser calculado de duas formas básicas, sendo uma através do produto das fiabilidades dos componentes do sistema (para o caso específico do sistema acima representado): (Assis, 1997)

$$R = R_A * R_B * R_C \quad (22)$$

Generalizando para n sistemas:

$$R = \prod_{i=1}^n R_i \quad (23)$$

¹⁴ Todo o componente reparável que re-inicia o seu ciclo de vida. Por regra tal denomina-se em aeronáutica de potencial. No fundo os órgãos realizam uma revisão geral e são colocados a zero horas de funcionamento.

Por outro lado, podemos olhar para a fiabilidade do sistema usando o indicador MTBF:

$$\lambda = \frac{1}{\text{MTBF}} \quad (24)$$

E, com base na equação geral da fiabilidade deduzida anteriormente ficamos com:

$$R(t) = e^{(-\sum \lambda_i t)} \quad (25)$$

3.5.7 - Fiabilidade de um Sistema Redundante (em Paralelo)

Num sistema com unidades em paralelo, estas estão organizadas de forma tal que o sistema só falha se todas as unidades a ele pertencentes falharem também. (Assis, 1997)

Um sistema em paralelo com três unidades tem o seguinte aspeto:

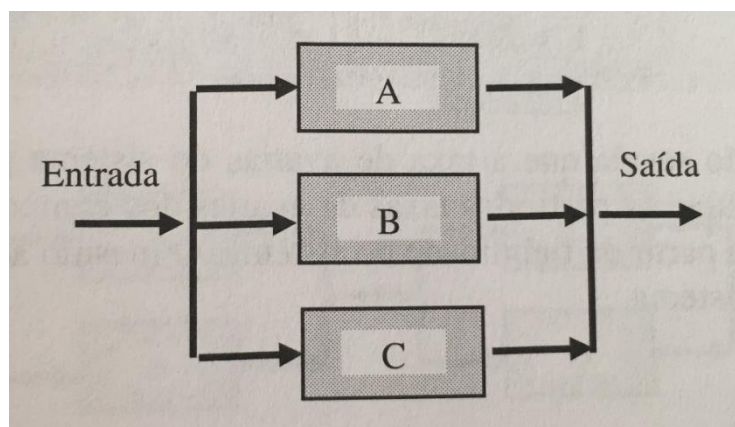


Figura 3.13 - Disposição de um sistema em paralelo com os componentes A, B e C. (Assis, 1997)

Para este sistema específico, a fiabilidade total calcula-se da seguinte forma: (Assis, 1997)

$$R = R_A + R_B + R_C - R_A * R_B * R_C \quad (26)$$

Ou:

$$R = 1 - (1 - R_A) * (1 - R_B) * (1 - R_C) \quad (27)$$

De uma forma geral, estas duas equações representam-se da seguinte forma:

$$R = \sum_1^n R_i - \prod_1^n R_i \quad (28)$$

Ou:

$$R = 1 - \prod_i^n (1 - R_i) \quad (29)$$

Se os componentes se encontrarem na sua vida útil, podemos usar como indicador de fiabilidade o MTBF, e utilizando a equação (25) temos que:

E portanto:

$$R(t) = \sum_1^n e^{(-\lambda_i t)} - \prod_1^n e^{(-t^* \sum \lambda_i)} \quad (30)$$

3.5.8 - Fiabilidade de um Sistema em Série e em Paralelo

Diferentes sistemas obrigam a diferentes níveis de fiabilidade e por isso por vezes são organizados em série e em paralelo ao mesmo tempo para que se possa obter o nível de fiabilidade ótimo e adequado ao sistema.

Considera-se um sistema em série e em paralelo qualquer um dos representados abaixo:

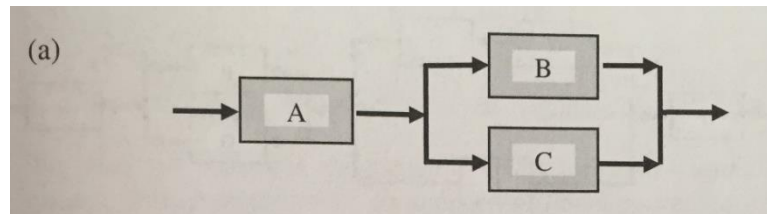


Figura 3.14.1 - Disposição de um sistema em série e em paralelo com os componentes A, B e C. (Assis, 1997)

A fiabilidade é dada por:

$$R = R_A * [1 - (1 - R_B) * (1 - R_C)] \quad (31)$$

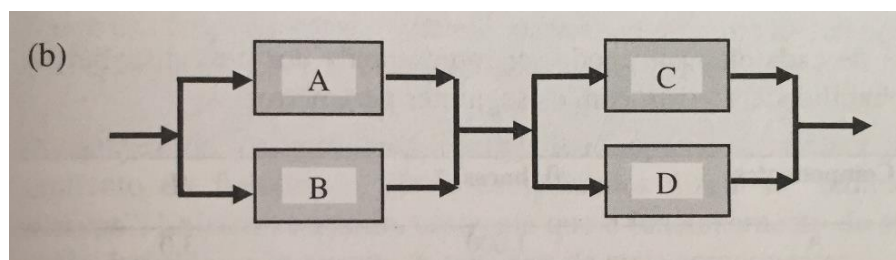


Figura 3.14.2 - Disposição de um sistema em série e em paralelo com os componentes A, B, C e D. (Assis, 1997)

Aqui, temos que a fiabilidade é:

$$R = [1 - (1 - R_A) * (1 - R_B)] * [1 - (1 - R_C) * (1 - R_D)] \quad (32)$$

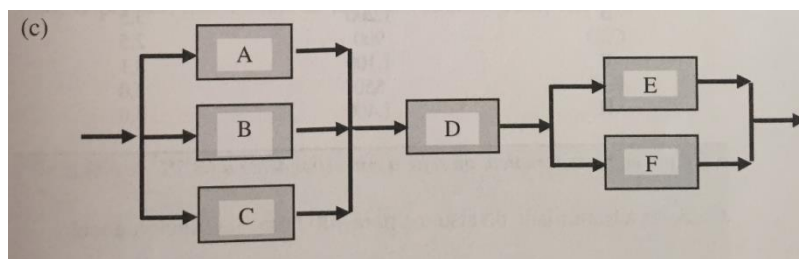


Figura 3.14.3 - Disposição de um sistema em série e em paralelo com os componentes A, B, C, D, E e F. (Assis, 1997)

Por fim, temos que:

$$R=[1-(1-R_A)*(1-R_B)*(1-R_C)]*R_D*[1-(1-R_E)*(1-R_F)] \quad (33)$$

Nos sistemas em série, quando adicionados elementos em paralelo serve para dar redundância ao sistema. Os sistemas redundantes têm uma fiabilidade inerente superior. Podemos assim concluir que se adicionarmos unidades em paralelo estamos também a ‘adicionar fiabilidade’ ao sistema.

3.6 - Fiabilidade para Pequenas Frotas

Um Programa de Fiabilidade é tido como uma ferramenta essencial para a fiabilidade de uma frota de aeronaves, porque possibilita uma melhor performance operacional uma vez que diminui problemas relacionados com a manutenção operacional e aumenta a segurança operacional (*safety*). (Marušić, Galović, & Pita, 2015)

É considerada uma pequena frota, o operador que tiver menos de 6 aeronaves. (ANAC, 2010)

Uma frota deste tipo produz material estatístico insuficiente para obter dados estatisticamente significativos. Deste modo, a utilização dum Programa de Fiabilidade numa pequena frota é questionável. A principal razão é que uma frota com uma número de aeronaves mais pequeno gera poucos e uma grande dispersão de dados. (Marusic, Galovic & Pita, 2015)

Por esta razão a ANAC (2010) afirma que ‘Um programa de fiabilidade complexo poderá ser inapropriado para um operador com uma frota reduzida de aeronaves e portanto, os requisitos aplicados serem inconsequentes.’

Duma forma geral, existem duas formas de tornar os dados estatísticos duma pequena frota utilizáveis, de forma a obter resultados realísticos e fiáveis: através do cálculo de valores acumulados ou fundir dados de outras operadoras com uma operação idêntica. (Marušić, Galović, & Pita, 2015)

No primeiro caso, e segundo os autores, estuda-se a fiabilidade utilizando dados dos últimos três meses. Este processo triplica artificialmente o número de aeronaves em operação suavizando os resultados obtidos. Estes dados estatísticos, embora não reais, são representativos apenas da frota da operadora em questão e não estão influenciados por dados de outras operadoras.

Afirmam ainda que um problema inerente a este método é que, se houver um defeito associado a um equipamento numa só aeronave, esse defeito aparece nos resultados como um defeito da frota e não da aeronave em questão. Deste modo é preciso ter em atenção este tipo de falsos indicadores.

Outro problema encontrado ao fazer este estudo é que, ao longo do ano os tipos de operação mudam consoante a estação em que nos encontramos (inverno/verão IATA), por este motivo é necessário ter em atenção quais os meses a utilizar para juntar informação.

Por isso, ao fazer o estudo de valores acumulados é necessário explicar e diferenciar todos os problemas isolados dos restantes que são encontrados em toda a frota.

O segundo método, gera dados sintéticos que embora sejam bastante significativos em termos de fiabilidade podem estar contaminados por uma única frota e por em causa todos os resultados obtidos.

Qualquer um destes métodos deverá ser sujeito a autorização por parte das entidades reguladoras antes de ser posto em prática. (Marušić, Galović, & Pita, 2015)

Na CTI (Circular Técnica de Informação) publicada pela ANAC em 2010 podemos ver que 'A Organização de Gestão da Continuidade de aeronavegabilidade deve adotar um Programa de Fiabilidade que se adapte à dimensão e complexidade da operação da sua frota'. Esta autoridade apela ainda ao cuidado na definição de índices de alerta e na interpretação dos dados por não haver material estatístico suficiente para obter resultados satisfatórios e para que se tomem decisões claras e em sintonia com o tipo de operação.

No mesmo documento, a ANAC sugere que se aplique o conceito de *pooling* (agrupamento de artigos), ou seja, que se troque dados e informações com outras operadoras de modo a que se consiga ter informação suficiente para obter resultados satisfatórios.

Muitas operadoras criam o seu Programa de Fiabilidade para satisfazer as regras da autoridade reguladora. Estas operadoras geralmente resolvem os problemas diariamente (quando aparecem) e não dão relevância aos dados estatísticos a à informação que estes fornecem. É preciso ainda notar que um Programa de Fiabilidade não responde a eventos únicos, ele descobre os problemas e tendências dum dado sistema e desencadeia eventos associados. Estes problemas têm um grande impacto na segurança de voo e na rentabilidade numa operadora. (Marušić, Galović, & Pita, 2015)

3.7 - A Fiabilidade e a SATA

A fiabilidade na SATA é regida por um Programa de Fiabilidade elaborado pelo Serviço de Engenharia e aprovado pela ANAC.

O Programa de Fiabilidade tem como objeto:

- Monitorizar a eficácia geral das especificações do programa de manutenção aplicadas aos sistemas, componentes e motores incluídos no PMA;
- Identificar as especificações do programa de manutenção que estejam de alguma forma desajustadas;
- Indicar e promover ações corretivas para as especificações do Programa de Manutenção que estejam de alguma forma desajustadas;
- Monitorizar a eficácia das medidas de correção tomadas.

De uma forma geral trabalha-se com a fiabilidade de sistemas, componentes e de motores seguindo um processo lógico de três etapas:

1. Recolha e tratamento de dados
2. Análise e interpretação dos dados
3. Ação corretiva e respetivo *follow-up*

Uma das tarefas mais importantes é a análise e interpretação dos dados das quais resulta a tomada de ações corretivas que pretendem ser o mais eficazes possível. Esta análise é feita através da comparação dos resultados com *standards*; avaliação de tendências; comparação dos resultados com os níveis de alerta calculados; comparação dos resultados com os dos anos anteriores; análise dos defeitos que se repetem.

Por fim, o Serviço de Engenharia toma a responsabilidade de:

- Definir as linhas orientadoras do Programa de Fiabilidade
- Assegurar a execução integral do Programa de Fiabilidade
- Elaboração e revisão periódica de Relatórios e Programa de Fiabilidade

(SATA, Programa de Fiabilidade Dash 8-402, 2012)

3.7.1 - PMA

O Programa de Manutenção de aeronaves da SATA Air Açores para o Dash 8 Q-400 é elaborado tendo como base o *Maintenance Requirements Manual* da *Bombardier Aerospace*.

Na elaboração de base do PMA foram tidos como princípios orientadores aqueles definidos no documento *Maintenance Steering Group 3* incluídos no *MRBR (Maintenance Review Board Report)*. Para que estes princípios fossem cumpridos, procedeu-se à elaboração de uma lista

contendo as unidades consideradas no *Maintenance Significant Items* (MSI) a qual resultou das recomendações expressas no *MRB Report* e tendo em atenção as limitações impostas pela *Master Minimum Equipment List* (MMEL).

Na lista de operações de manutenção programada encontram-se:

- Inspeções/Ensaios *On Condition*;
- Tarefas de revisão geral e de reparação;
- Tarefas de remoção/substituição de componentes e sistemas;
- Ensaios operacionais e funcionais.

O Programa de Fiabilidade e os respetivos Relatórios de Fiabilidade são documentos essenciais de suporte ao PMA e portanto devem ser elaborados e revistos com intervalos de no máximo um ano (SATA, 2016).

Capítulo 4 - Descrição de Sistemas

Neste capítulo faz-se uma descrição detalhada dos componentes dos Sistemas ATA29 - Sistema Hidráulico e ATA32 - Sistema de Trem de Aterragem intervenientes no subsistema extensão do trem de aterragem.

O sistema do trem de aterragem é um dos mais críticos do Q-400. Com um vasto historial de incidentes (trens que não retraem; trens que não baixam; trens que não bloqueiam) tornou pertinente o estudo do mesmo.

Portanto escolheram-se os dois sistemas com maior interveniência na extensão do trem e estudaram-se os componentes principais e mais críticos.

4.1 - Bombardier Dash 8 Q-400

O Dash 8-Q400 é uma aeronave com configuração de asa alta, equipada com dois motores turbohélice Pratt&Whitney PW150A com 6 pás Dowty, tendo entrado em serviço no ano de 1999.

Algumas das suas principais especificações são:

- Envergadura: 28.4 metros
- Comprimento: 32.81 metros
- Altura: 8.3 metros
- Alcance: 2389 kilometros
- MTOW: 28600 kg
- Velocidade Cruzeiro: 360 nós
- Teto máximo: 27000 pés
- Capacidade Lugares Passageiros: 90 (máx.)

A Bombardier tem uma frota mundial do modelo Dash 8-Q400 de 492 aeronaves. Apenas quatro destas aeronaves pertencem à frota da SATA Air Açores.

4.2 - Subsistema de Extensão do Trem de Aterragem

Nesta secção será apresentada uma breve descrição do funcionamento deste subsistema tendo como base alguns dos componentes principais dos Sistemas ATA29 - Sistema Hidráulico e ATA32 - Sistema de Trem de Aterragem.

Os sistemas ATA29 e ATA32 são complexos, o que torna o seu estudo muito intensivo e moroso, portanto, por questão de simplificação, optou-se por escolher apenas o subsistema de extensão do trem. Este subsistema é de extrema importância, uma vez que em voo, é um

dos sistemas essenciais para a operação da aeronave. Assim, os subsistemas estudados foram (por código ATA):

- 29-11 - Sistemas hidráulicos principais No.1 e No.2
- 29-21 - Sistema hidráulico de extensão alternativa do trem
- 32-11 - Trem de aterragem principal
- 32-12 - Portas do trem de aterragem principal
- 32-21 - Trem de aterragem do nariz
- 32-22 - Portas do trem de aterragem do nariz
- 32-31 - Sistema principal de extensão e retração
- 32-34 - Sistema de libertação de emergência
- 32-64 - Sistema de sensores de proximidade

Todas as descrições de componentes e sistemas feitas nas próximas secções foram retiradas do (Maintenance Trainig Manual - Bombardier Aerospace, 2010) da *Bombardier Aerospace* e do seu *software Infotools*.

4.2.1 - ATA29 - Sistema Hidráulico (Extensão do Trem)

4.2.1.1 - Introdução

Os sistemas hidráulicos principais e auxiliar (figura 4.1) são responsáveis por fornecer energia hidráulica aos sistemas e componentes assistidos hidraulicamente.

O Dash 8 Q-400 tem incorporados quatro sistemas hidráulicos sendo que três deles são principais e o restante é auxiliar. Todos estes sistemas utilizam fluido hidráulico de éster de fosfato.

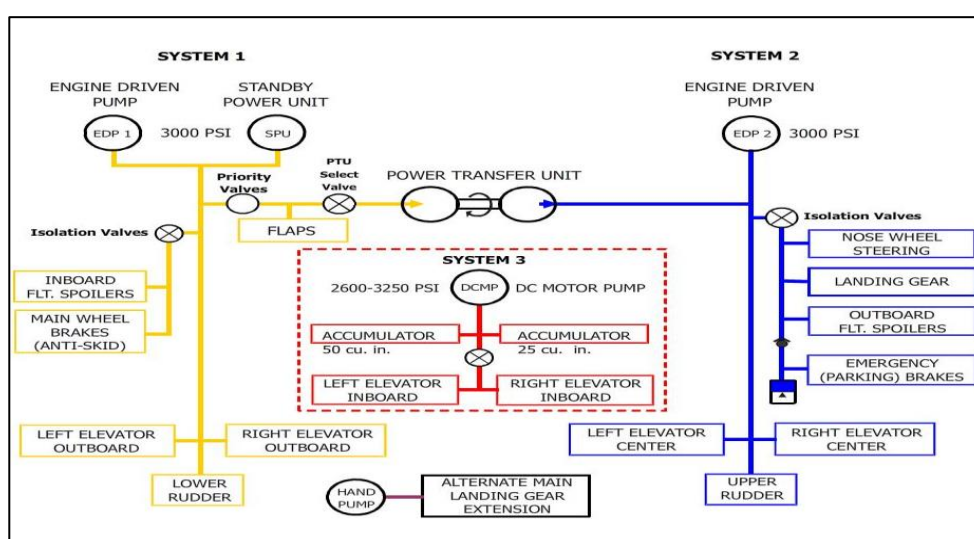


Figura 4.1 - Vista geral do sistema ATA29 - Sistema Hidráulico.

Tomemos como referência a figura acima apresentada. Daqui podemos tirar que os sistemas No. 1 e No. 2 providenciam energia para operar:

- Controlos de Voo
- Trem de Aterragem
- Direção do Trem do Nariz
- Sistemas de Travagem

O sistema hidráulico No. 3 fornece energia para os elevadores da esquerda e da direita e o sistema hidráulico auxiliar para o sistema de extensão do trem de aterragem de emergência.

4.2.1.2 - Operação

A pressão hidráulica primária é fornecida aos sistemas hidráulicos No.1 e No.2 pelas EDP (*Engine-Driven Pumps*). A pressão hidráulica secundária chega ao sistema hidráulico No.1 através do SPU (*Standby Power Unit*). O sistema hidráulico No.1 fornece energia à bomba PTU (*Power Transfer Unit*) que por sua vez fornece pressão hidráulica para o sistema hidráulico No.2.

Os reservatórios de fluido hidráulico fornecem cada sistema com 55 PSI para a linha de sucção através da *Firewall Shut Off Valve (FSOV)* para a EDP ou diretamente para a SPU do sistema No.1.

Desta forma, a pressão do sistema No1 é fornecida para:

- *Lower Rudder PCU*
- *L/R Outboard Elevator PCUs*
- *Normal Brakes*
- *Inboard roll spoilers*
- *PTU Input Power*

Do sistema No.2, a pressão hidráulica é fornecida para:

- *Landing Gear*
- *Rudder (upper PCU)*
- *Outboard roll spoilers*
- *Elevator*
- *Nosewheel Steering*

As válvulas sensitivas do nível de fluido nos reservatórios, direcionam a pressão para a *isolation valve*. Se for detetado um nível baixo de fluido hidráulico, estas válvulas sensitivas deixam de deixar passar o fluido para a *isolation valve*. A *isolation valve* fecha sobre pressão e isola a pressão hidráulica do sistema para a traseira da aeronave.

4.2.1.3 - Descrição dos Componentes

De seguida estão descritos os componentes considerados para o estudo de fiabilidade para o sistema ATA29. Os números à frente de cada componente são relativos ao código ATA do componente correspondente.

Reservatórios dos Sistemas Hidráulicos No.1 e N.2 (29-11-16/29-11-21)

O Reservatório de fluido hidráulico para o sistema No.1 situa-se na *Nacelle* No.1. O reservatório de fluido hidráulico do sistema No.2 está instalado na *nacelle* No.2.

Os reservatórios do sistema hidráulico (figura 4.2) armazenam e fornecem fluido hidráulico para todo o sistema hidráulico.

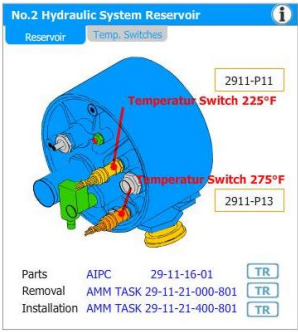
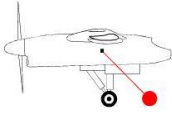
Componente	Posição na aeronave												
 <table border="1" data-bbox="501 1093 767 1151"> <tr> <td>Parts</td> <td>AIPC</td> <td>29-11-16-01</td> <td>TR</td> </tr> <tr> <td>Removal</td> <td>AMM TASK</td> <td>29-11-21-000-801</td> <td>TR</td> </tr> <tr> <td>Installation</td> <td>AMM TASK</td> <td>29-11-21-400-801</td> <td>TR</td> </tr> </table>	Parts	AIPC	29-11-16-01	TR	Removal	AMM TASK	29-11-21-000-801	TR	Installation	AMM TASK	29-11-21-400-801	TR	
Parts	AIPC	29-11-16-01	TR										
Removal	AMM TASK	29-11-21-000-801	TR										
Installation	AMM TASK	29-11-21-400-801	TR										

Figura 4.2 - Reservatório Hidráulico No.1 e No.2.

Fire Shut-off Valves (29-11-06)

As FSOV hidráulicas estão instaladas nas *nacelles* No.1 e No.2 na linha de sucção da EDP.

Esta electro-válvula (figura 4.3) está equipada com um motor elétrico de 28 V CC e tem duas posições, aberta e fechada, e tem associado o respetivo indicador de posição.

O conjunto da válvula fornece fluido hidráulico sem restrição quando aberta e pára o fluxo quando na posição fechada.

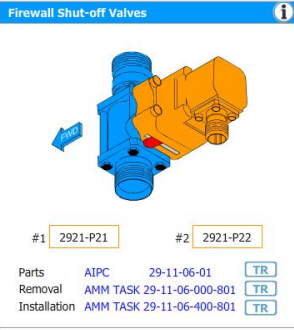
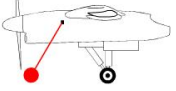
Componente	Posição na aeronave
	

Figura 4.3 - Fire Shut-off Valve.

Engine Driven Pumps (EDPs) (29-11-01)

A EDP (figura 4.4) está aparafusada à caixa de velocidades de redução e é acionada através de um *splined input shaft* (veio de estrias). A *discharge port*, a *suction port* e a *case drain port* da EDP estão diretamente ligadas ao sistema hidráulico através de tubagens flexíveis.

As EDP para os sistemas hidráulicos No.1 e No.2 fornecem a energia primária.

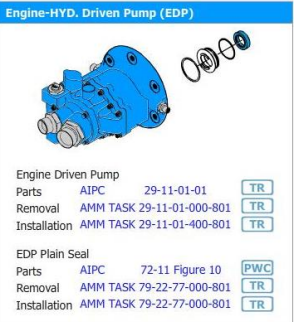
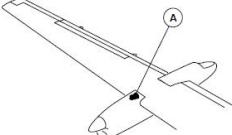
Componente	Posição na aeronave
	

Figura 4.4 - Engine Driven Pump.

Standby Power Unit (SPU) (29-11-36)

A SPU (figura 4.5) está instalada na *nacelle* No.1

O sistema hidráulico No.1 usa uma bomba accionada por um motor de 115V AC que serve de fonte de reserva para o sistema hidráulico No.1.

A SPU é normalmente seleccionada para a posição *ON* (ligado) durante a descolagem e a aterragem.


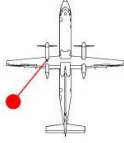
Componente	Posição na aeronave												
 <p>STANDBY POWER UNIT (SPU)</p> <p>#1 STBY HYD PUMP HOT</p> <p>2921-P25</p> <table border="0"> <tr> <td>Parts</td> <td>AIPC</td> <td>29-11-36-01</td> <td>TR</td> </tr> <tr> <td>Removal</td> <td>AMM TASK</td> <td>29-11-36-000-801</td> <td>TR</td> </tr> <tr> <td>Installation</td> <td>AMM TASK</td> <td>29-11-36-400-801</td> <td>TR</td> </tr> </table>	Parts	AIPC	29-11-36-01	TR	Removal	AMM TASK	29-11-36-000-801	TR	Installation	AMM TASK	29-11-36-400-801	TR	
Parts	AIPC	29-11-36-01	TR										
Removal	AMM TASK	29-11-36-000-801	TR										
Installation	AMM TASK	29-11-36-400-801	TR										

Figura 4.5 - Standby Power Unit.

Hidraulic Filter Manifold (29-11-31)

A função primária do *hidraulic filter manifold* (figura 4.6) é de remover contaminantes do circuito constituído pelos fluídos de *pressure*, *return*, *case drain*, *filling* e *ground power*. O *filter manifold* é também um ponto de fornecimento do fluído que vem das bombas e um ponto de retorno do fluxo que vem do sistema para os reservatórios.

Os sistemas hidráulicos No.1 e No.2 incluem ambos um *hidraulic filter manifold* que se situa na *nacelle*.

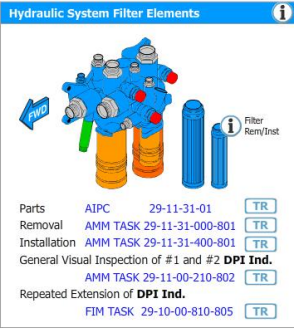
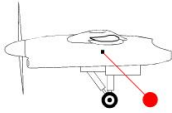
Componente	Posição na aeronave																				
 <p>Hydraulic System Filter Elements</p> <p>Filter Rem/Inst</p> <table border="0"> <tr> <td>Parts</td> <td>AIPC</td> <td>29-11-31-01</td> <td>TR</td> </tr> <tr> <td>Removal</td> <td>AMM TASK</td> <td>29-11-31-000-801</td> <td>TR</td> </tr> <tr> <td>Installation</td> <td>AMM TASK</td> <td>29-11-31-400-801</td> <td>TR</td> </tr> <tr> <td>General Visual Inspection of #1 and #2 DPI Ind.</td> <td>AMM TASK</td> <td>29-11-00-210-802</td> <td>TR</td> </tr> <tr> <td>Repeated Extension of DPI Ind.</td> <td>FIM TASK</td> <td>29-10-00-810-805</td> <td>TR</td> </tr> </table>	Parts	AIPC	29-11-31-01	TR	Removal	AMM TASK	29-11-31-000-801	TR	Installation	AMM TASK	29-11-31-400-801	TR	General Visual Inspection of #1 and #2 DPI Ind.	AMM TASK	29-11-00-210-802	TR	Repeated Extension of DPI Ind.	FIM TASK	29-10-00-810-805	TR	
Parts	AIPC	29-11-31-01	TR																		
Removal	AMM TASK	29-11-31-000-801	TR																		
Installation	AMM TASK	29-11-31-400-801	TR																		
General Visual Inspection of #1 and #2 DPI Ind.	AMM TASK	29-11-00-210-802	TR																		
Repeated Extension of DPI Ind.	FIM TASK	29-10-00-810-805	TR																		

Figura 4.6 - Filter Manifold.

Heat Exchanger Bypass Valve (29-11-46)

A *heat exchanger bypass valve* (figura 4.7) está instalada entre as linhas de entrada e saída do *heat exchanger* na *nacelle* No.1 e No.2.

Esta válvula controla o fluxo de fluído hidráulico desde a *pump case-drain* até ao *heat exchanger*.

A *heat exchanger bypass valve* começa a abrir quando o fluido atinge a temperatura de 35°C e fica completamente aberta aos 52°C.

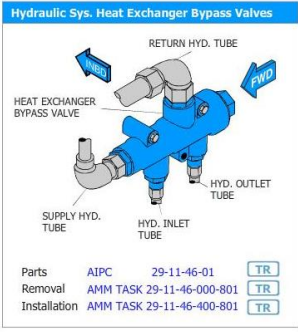
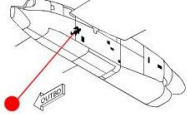
Componente	Posição na aeronave
	

Figura 4.7 - *Heat Exchanger Bypass Valve*.

Isolation Valve (29-11-11)

A *isolation valve* (figura 4.8) situa-se no espaço entre a montagem da asa e a fuselagem.

A principal função desta válvula é impedir a passagem de fluido hidráulico quando a sua pressão é inferior à desejada.

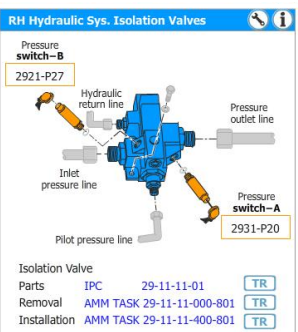
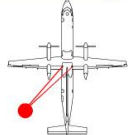
Componente	Posição na aeronave
	

Figura 4.8 - *Isolation Valve*.

PTU Select Valve (29-11-66)

A *PTU select valve* (figura 4.9) está instalada entre a junção da asa com a fuselagem.

Esta válvula controla o fluxo de fluido hidráulico para o motor PTU. Ela encontra-se normalmente fechada e abre apenas quando o fluido exerce pressão suficiente sobre ela.

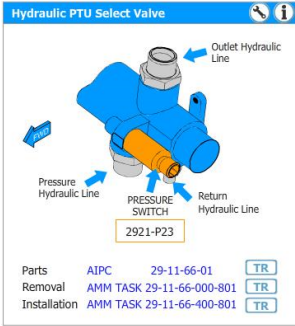
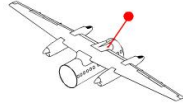
Componente	Posição na aeronave
	

Figura 4.9 - PTU Selector Valve.

Power Transfer Unit (PTU) (29-11-61)

A PTU (figura 4.10) está instalada entre a junção da asa com a fuselagem.

Esta unidade é utilizada para fornecer pressão hidráulica de reserva ao sistema hidráulico No.2. A pressão do sistema hidráulico No.1 aciona a bomba que fornece, por sua vez, pressão hidráulica para o sistema hidráulico No.2.

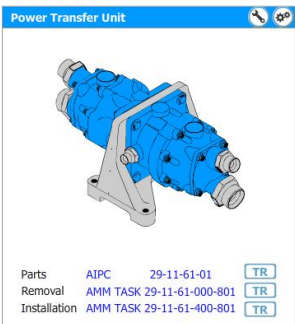

Componente	Posição na aeronave
	

Figura 4.10 - PTU.

4.2.2 - ATA32 - Sistema de Trem de Aterragem (Extensão)

4.2.2.1 - Introdução

O trem de aterragem do Dash 8 Q-400 é eletricamente controlado, operado hidráulicamente e bloqueado mecanicamente (figura 4.11).

O Trem em triciclo é retrátil e tem uma instalação em dupla roda. O trem principal recolhe para trás e para dentro de ambas as *nacelles*, enquanto que o trem do nariz recolhe

para a frente, para dentro do poço do trem colocado no nariz da fuselagem. A PSEU (*Proximity Switch Electronics Unit*) monitoriza e controla a operação do Trem de Aterragem.

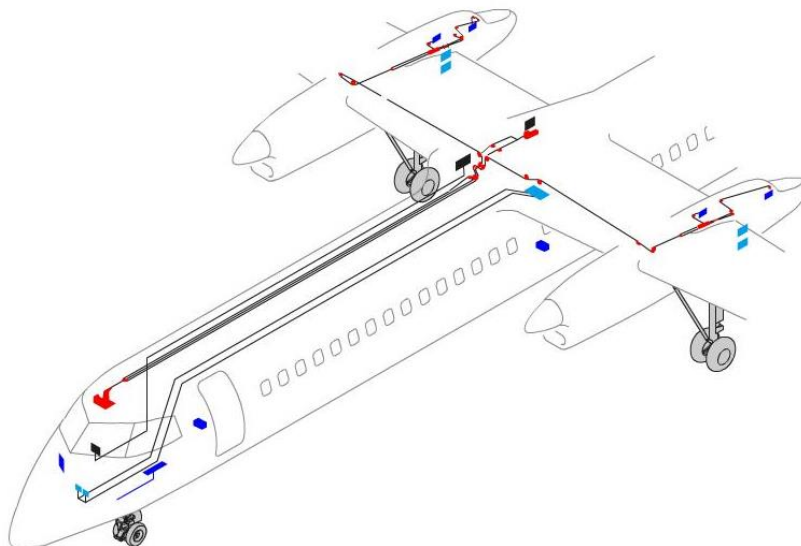


Figura 4.11 - Vista Geral do Sistema ATA32 - Sistema de Trem de Aterragem.

Se o sistema de extensão do trem de aterragem falhar, existe um sistema de emergência que pode ser utilizado. Existe também um sistema de verificação de bloqueio do trem estendido.

4.2.2.2 - Operação

A extensão do trem principal é diferenciada da extensão do trem do nariz, mas ambas têm um processo sequencial de eventos.

Extensão do Trem Principal (MLG)

- A *landing gear lever* é selecionada para a posição DN (Em baixo);
- A *landing gear selector valve* é energizada pelo PSEU;
- As portas do MLG abrem;
- *MLG uplocks* são desbloqueados;
- O MLG começa a estender lentamente e quando está 93% estendido a *mechanical sequence valve* é aberta e o trem estende completamente;
- A *stabilizer brace* do MLG bloqueia o trem na posição de estendido.

A *solenoid sequence valve* é energizada pelo PSEU quando os sensores de proximidade do *stabilizer brace* indicam a posição em baixo e bloqueado.

Extensão do Trem do Nariz (NLG)

- A *landing gear lever* é selecionada para a posição DN (*Down*);
- A *landing gear selector valve* é energizada pelo PSEU;
- O *door actuator* do NLG abre as portas da frente;
- O NLG começa a extender lentamente e quando está 92% extendido a *mechanical sequence valve* é aberta e o trem estende completamente;
- A *solenoid sequence valve* é energizada pelo PSEU quando os sensores ‘NGDN’ e ‘NGLK’ indicam a posição de em baixo e bloqueado respetivamente.

4.2.2.3 - Descrição dos Componentes

De seguida estão descritos os componentes considerados para o estudo de fiabilidade para o sistema ATA32. Os números à frente de cada componente são relativos ao código ATA do componente respondente.

Landing Gear Selector Lever (32-31-01)

O *landing gear selector lever* (figura 4.12) é constituído por uma alavanca que tem duas posições (UP e DN) que são selecionadas pelo piloto conforme ele pretenda o trem recolhido ou extendido respetivamente.

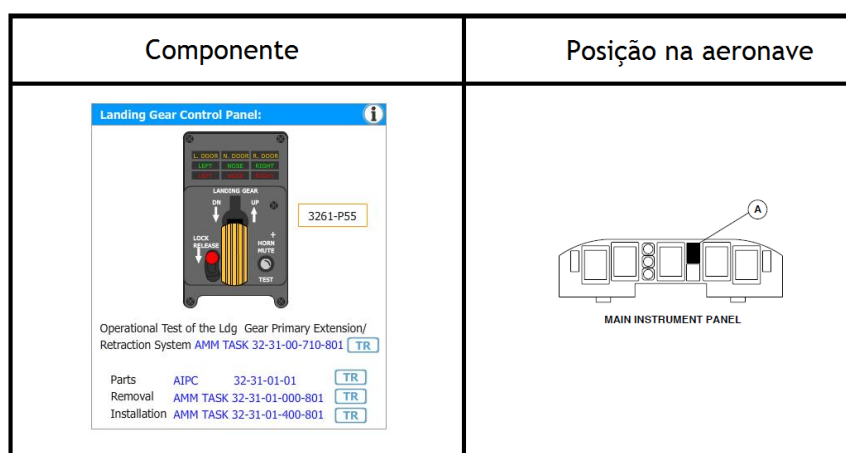


Figura 4.12 - *Landing Gear Control Panel*.

Proximity Sensor Electronic Unit (PSEU) (32-61-01)

O PSEU (figura 4.13) encontra-se instalado na *rack* (armário) dos aviónicos.

As funções principais do PSEU são as seguintes:

- Monitorizar e operar o sistema de extensão e recolha do trem de aterragem
- Monitorizar e fornecer os dados do *uplock*, *downlock* e *WOW* para outros sistemas
- Dá informação para as portas dos passageiros e dos porões

- Dá indicação visual para os pilotos da posição do trem e da posição das portas do trem.

Os circuitos do PSEU utilizam as condições de ‘near’ e ‘far’ (perto e longe) dos *proximity sensors* na sua lógica de equações.

Componente	Posição na aeronave
	

Figura 4.13 - PSEU.

Landing Gear Selector Valve (32-31-06)

A *landing gear selector valve* (figura 4.14) está instalada na asa direita junto da fuselagem. Esta válvula contém duas *solenoid valves* que controlam a pressão hidráulica para os circuitos de extensão e retração do trem de aterragem.

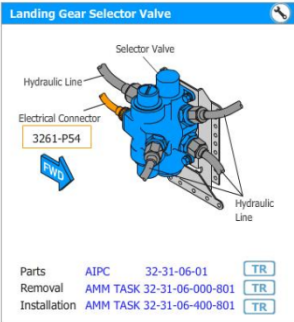
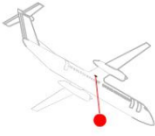
Componente	Posição na aeronave
	

Figura 4.14 - Landing Gear Selector Valve.

MLG Door Actuator (32-31-26)

Este atuador (figura 4.15) é responsável pela abertura e fecho das portas do trem principal. Cada trem tem um atuador.

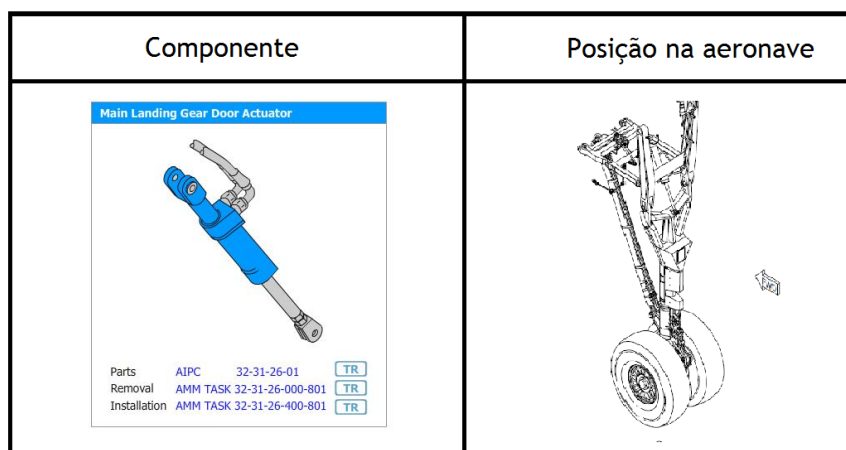


Figura 4.15 - Main Landing Gear Door Actuator.

Mechanical Sequence Valve (32-31-36)

A *mechanical sequence valve* (figura 4.16) está instalada na parte da frente de cada Trem Principal.

A função desta válvula é de sequenciar corretamente a operação da libertação do *uplock* do trem principal e dos *retraction actuators* também deste trem.

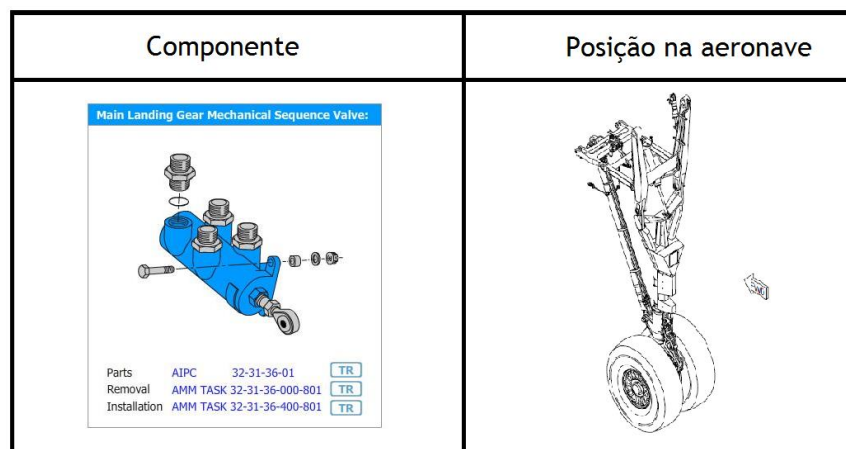


Figura 4.16 - Mechanical Sequence Valve.

Uplock Actuator (32-31-20)

O *uplock actuator* (figura 4.17) encontra-se ligado à estrutura do poço do trem.

Este atuador bloqueia o trem principal na posição de recolhido, caso contrário este cairia por efeito da gravidade.

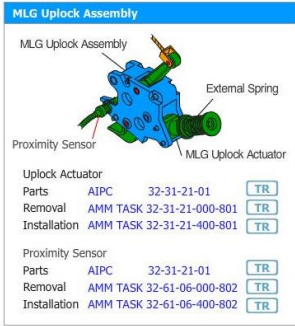
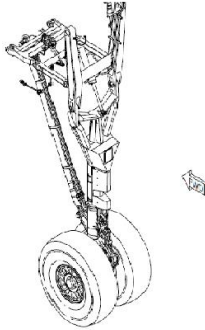
Componente	Posição na aeronave
 <p>MLG Uplock Assembly</p> <p>MLG Uplock Assembly</p> <p>External Spring</p> <p>Proximity Sensor</p> <p>MLG Uplock Actuator</p> <p>Uplock Actuator</p> <p>Parts AIPC 32-31-21-01 <input type="button" value="TR"/></p> <p>Removal AMM TASK 32-31-21-000-801 <input type="button" value="TR"/></p> <p>Installation AMM TASK 32-31-21-400-801 <input type="button" value="TR"/></p> <p>Proximity Sensor</p> <p>Parts AIPC 32-31-21-01 <input type="button" value="TR"/></p> <p>Removal AMM TASK 32-61-06-000-802 <input type="button" value="TR"/></p> <p>Installation AMM TASK 32-61-06-400-802 <input type="button" value="TR"/></p>	

Figura 4.17 - Uplock Actuator.

Retraction Actuator (32-31-11)

O cilindro do *retraction actuator* (figura 4.18) do MLG está localizado na parte inferior do *yoke cross beam* do MLG. A extremidade da haste está localizada na parte superior da *shock strut* do MLG.

Este atuador é acionado hidráulicamente e aciona a extensão e recolha do trem de aterragem principal.

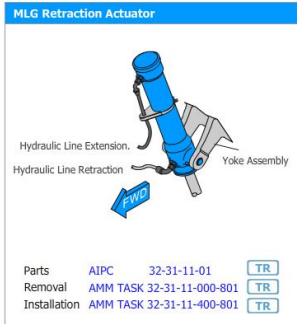
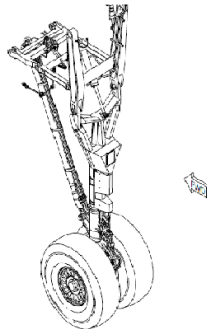
Componente	Posição na aeronave
 <p>MLG Retraction Actuator</p> <p>Hydraulic Line Extension</p> <p>Hydraulic Line Retraction</p> <p>Yoke Assembly</p> <p>Parts AIPC 32-31-11-01 <input type="button" value="TR"/></p> <p>Removal AMM TASK 32-31-11-000-801 <input type="button" value="TR"/></p> <p>Installation AMM TASK 32-31-11-400-801 <input type="button" value="TR"/></p>	

Figura 4.18 - MLG Retraction Actuator.

Stabilizer Brace (32-11-16)

A *stabilizer brace* (figura 4.19) está unida à estrutura do trem de aterragem em dois pontos de articulação. A parte da frente deste componente está unido ao *yoke* através de dois pontos de articulação.

A sua função principal é de bloquear o trem na posição de estendido.

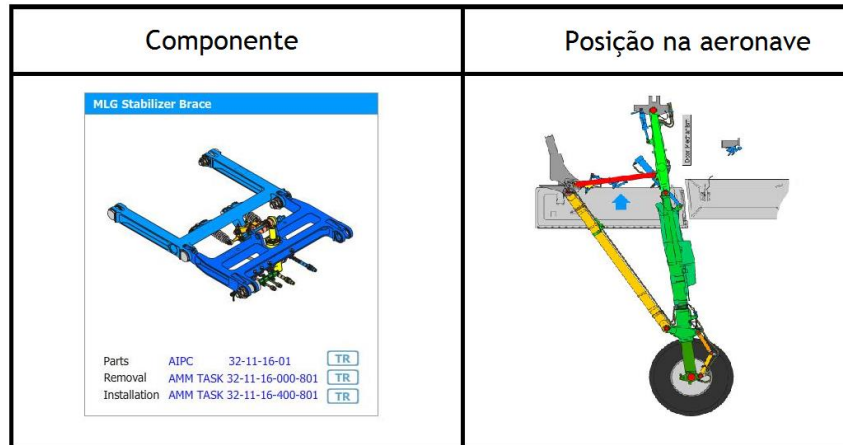


Figura 4.19 - Stabilizer Brace.

MLG Solenoid Sequence Valve (32-31-41)

A *solenoid sequence valve* (figura 4.20) está situada no poço de descanso da roda. A válvula é diretamente acionada por uma bobina.

A válvula controla a abertura e fecho das portas do MLG através do controlo do fluxo de pressão hidráulica o sistema de atuadores.

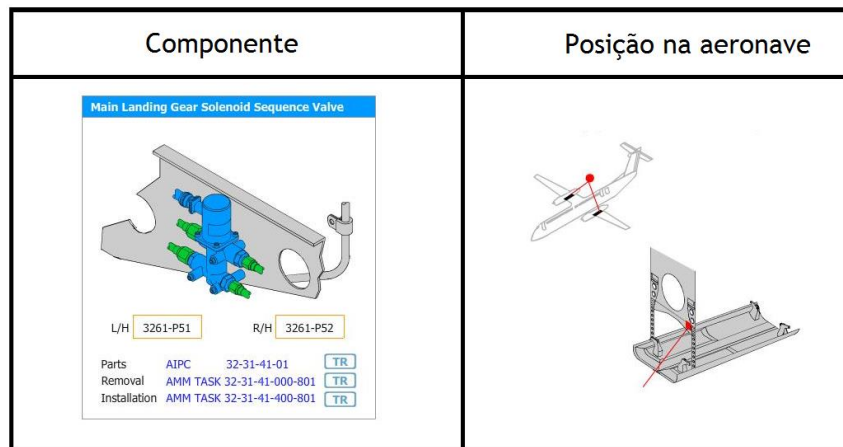


Figura 4.20 - MLG Solenoid Sequence Valve.

Proximity Sensors (32-61-06)

Existem 31 *proximity sensors* instalados em cada aeronave. Cada trem principal (figura 4.21) tem seis destes sensores e o trem do nariz (figura 4.22) contém outros oito.

Existem onze sensores que monitorizam:

- Portas dos passageiros
- Portas dos porões
- Portas de saída de emergência

- Porta de serviço

Estes sensores não são reparáveis e a sua função principal é fornecer dados de posição para o PSEU.

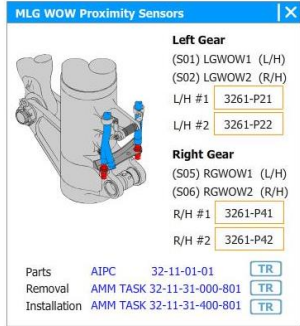
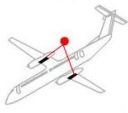
Componente	Posição na aeronave
	

Figura 4.21 - MLG Proximity Sensors.

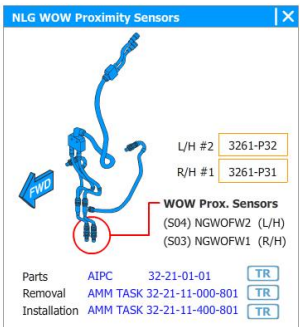
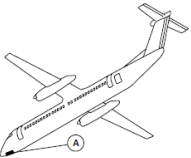
Componente	Posição na aeronave
	

Figura 4.22 - NLG Proximity Sensors.

NLG Door Actuator (32-31-56)

Este atuador (figura 4.23) é responsável pela abertura e fecho das portas do trem do nariz.

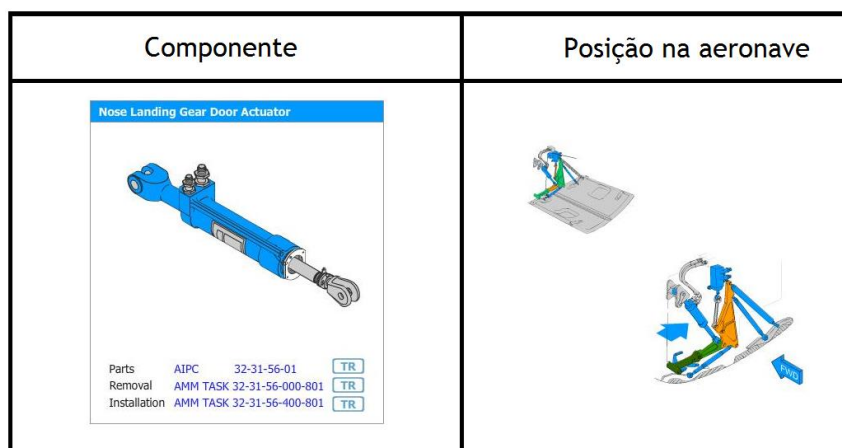


Figura 4.23 - NLG Door Actuator.

NLG Mechanical Sequence Valve (32-31-66)

A *mechanical sequence valve* (figura 4.24) está instalada na parte da frente do trem do nariz.

A função desta válvula é de sequenciar corretamente a operação da libertação do *uplock* do trem do nariz e dos *retraction actuators* também deste trem.

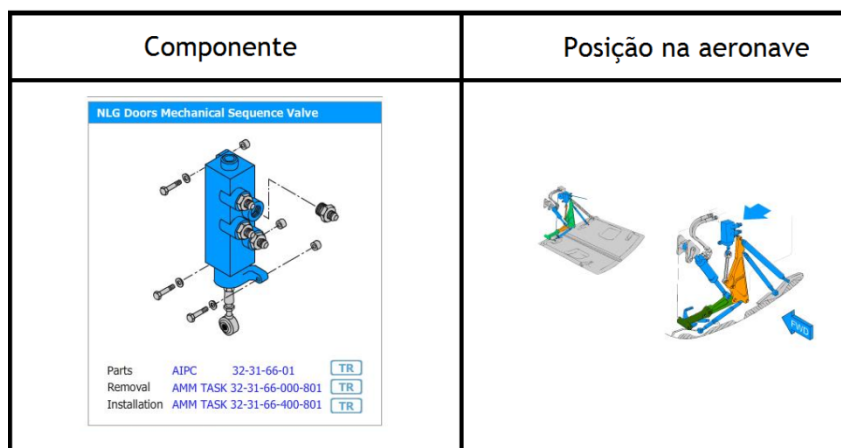


Figura 4.24 - NLG Mechanical Sequence Valve.

NLG Lock Actuator (32-31-51)

O NLG *lock actuator* (figura 4.25) situação no trem do nariz.

A função deste atuador é bloquear o trem de aterragem do nariz na posição de recolhido.

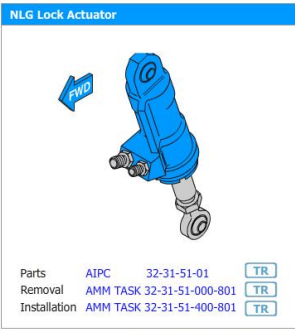
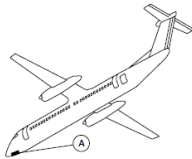
Componente	Posição na aeronave												
 <p>The diagram shows a blue NLG Lock Actuator with a blue arrow pointing left labeled 'FWD'. Below the image is a table with the following information:</p> <table border="1"> <tr> <td>Parts</td> <td>AIPC</td> <td>32-31-51-01</td> <td>TR</td> </tr> <tr> <td>Removal</td> <td>AMM TASK</td> <td>32-31-51-000-801</td> <td>TR</td> </tr> <tr> <td>Installation</td> <td>AMM TASK</td> <td>32-31-51-400-801</td> <td>TR</td> </tr> </table>	Parts	AIPC	32-31-51-01	TR	Removal	AMM TASK	32-31-51-000-801	TR	Installation	AMM TASK	32-31-51-400-801	TR	 <p>The diagram shows a top-down view of an aircraft with a circled 'A' at the nose landing gear location.</p>
Parts	AIPC	32-31-51-01	TR										
Removal	AMM TASK	32-31-51-000-801	TR										
Installation	AMM TASK	32-31-51-400-801	TR										

Figura 4.25 - NLG Lock Actuator.

NLG Retraction Actuator (32-31-46)

O NLG *retraction actuator* (figura 4.26) situa-se no trem do nariz.

Este atuador é acionado por pressão hidráulica e proporciona a extensão e retração do trem do nariz.

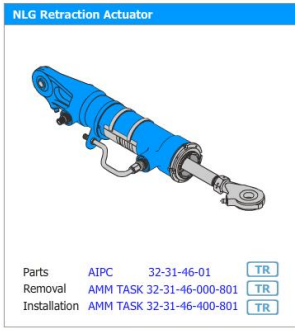
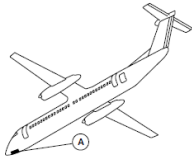
Componente	Posição na aeronave												
 <p>The diagram shows a blue NLG Retraction Actuator. Below the image is a table with the following information:</p> <table border="1"> <tr> <td>Parts</td> <td>AIPC</td> <td>32-31-46-01</td> <td>TR</td> </tr> <tr> <td>Removal</td> <td>AMM TASK</td> <td>32-31-46-000-801</td> <td>TR</td> </tr> <tr> <td>Installation</td> <td>AMM TASK</td> <td>32-31-46-400-801</td> <td>TR</td> </tr> </table>	Parts	AIPC	32-31-46-01	TR	Removal	AMM TASK	32-31-46-000-801	TR	Installation	AMM TASK	32-31-46-400-801	TR	 <p>The diagram shows a top-down view of an aircraft with a circled 'A' at the nose landing gear location.</p>
Parts	AIPC	32-31-46-01	TR										
Removal	AMM TASK	32-31-46-000-801	TR										
Installation	AMM TASK	32-31-46-400-801	TR										

Figura 4.26 - NLG Retraction Actuator.

NLG Solenoid Sequence Valve (32-31-41)

A *solenoid sequence valve* (figura 4.27) do NLG está situada na parte da frente da estrutura do NLG. A válvula é diretamente acionada por uma bobina.

A válvula controla a abertura e fecho das portas do NLG através do controlo do fluxo de pressão hidráulica para os *door actuators*.

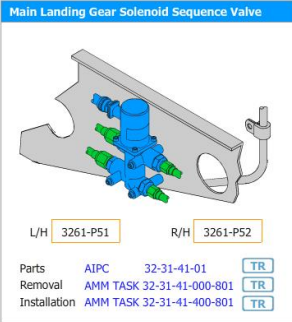
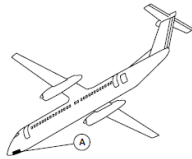
Componente	Posição na aeronave
 <p>Main Landing Gear Solenoid Sequence Valve</p> <p>L/H 3261-P51 R/H 3261-P52</p> <p>Parts AIPC 32-31-41-01 TR Removal AMM TASK 32-31-41-000-801 TR Installation AMM TASK 32-31-41-400-801 TR</p>	

Figura 4.27 - NLG Solenoid Sequence Valve.

4.2.3 - ATA32 - Sistema Alternativo de Extensão de Trem de Aterragem

4.2.3.1 - Introdução

O sistema alternativo de extensão do trem de aterragem atua quando não estão disponíveis ou estão com avaria os sistemas hidráulico No.2 e o PSEU.

Este sistema também pode ser utilizado para bloquear o trem em baixo caso o sistema primário falhe e para abrir as portas do trem para propósitos de manutenção.

4.2.3.2 - Operação

O sistema alternativo de extensão do trem de aterragem é atuado por cabos e inclui uma *bypass valve* para isolar do sistema hidráulico No.2.

O Sistema de bomba manual (*hand pump*) serve para assistir a extensão do trem e bloqueá-lo na posição em baixo.

Depois de abrir as portas, todos os trens baixam por gravidade e o NLG bloqueia por ação aerodinâmica do vento incidindo sobre ele. No caso do MLG não bloquear pode-se utilizar a *hand pump* como auxílio para bloqueá-lo na posição em baixo.

4.2.3.3 - Descrição dos Componentes

De seguida estão descritos os componentes considerados para o estudo de fiabilidade do sub-sistema ATA32-34 - Sistema Alternativo de Trem de Aterragem. Os números à frente de cada componente são relativos ao código ATA do componente respondente.

Cham Mechanism (32-34-26)

Este mecanismo (figura 4.28) encontra-se no poço do trem e é responsável pelo bloqueio do trem e das portas. É possível puxar um cabo (em caso de emergência) que desbloqueie o trem e as portas e por força da gravidade este abre as portas e estende-se.

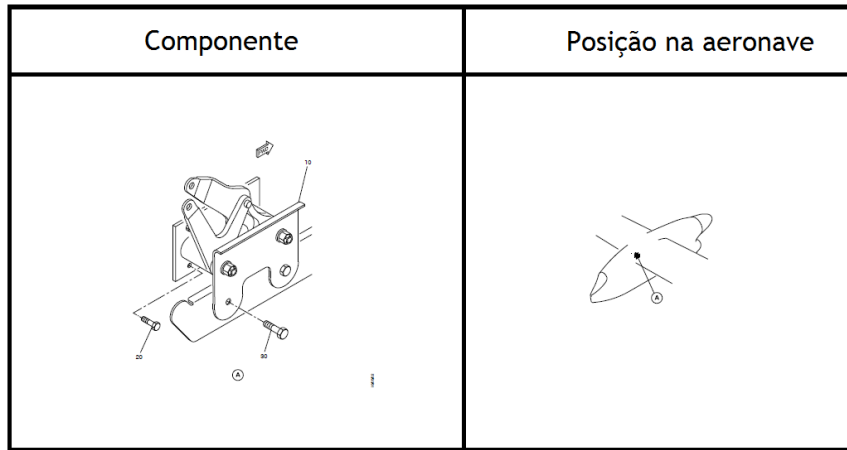


Figura 4.28 - *Cham Mechanism*.

Emergency Hydraulic Reservoir (29-21-11)

Este reservatório hidráulico de emergência (figura 4.29) situa-se no nariz do avião e fornece fluido hidráulico para o sistema alternativo de extensão do trem.

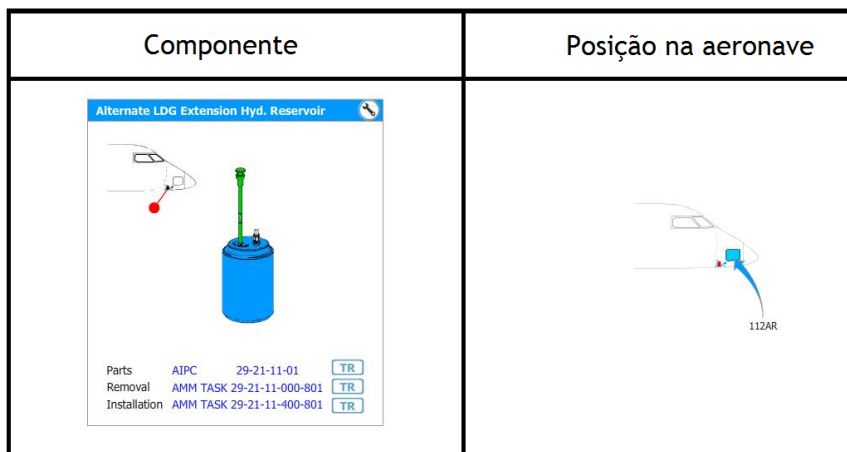


Figura 4.29 - *Emergency Hidraulic Reservoir*.

Hand Pump (29-21-01)

A bomba hidráulica manual (figura 4.3) situa-se no *cockpit* e serve para bombear fluido hidráulico para a válvula e para o atuador do sistema alternativo de extensão do trem.

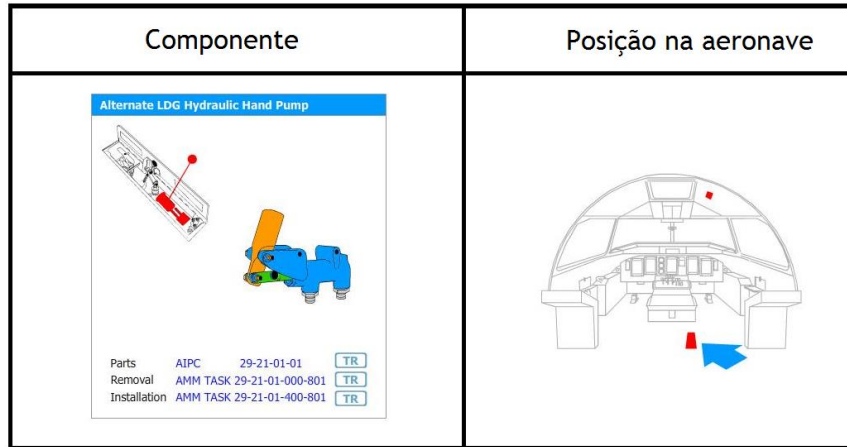


Figura 4.30 - Hand Pump.

Emergency Selector Valve (292406)

Válvula responsável pelo controlo da pressão hidráulica até aos atuadores de emergência do trem de aterragem. Situa-se no *cockpit* da aeronave (figura 4.31).

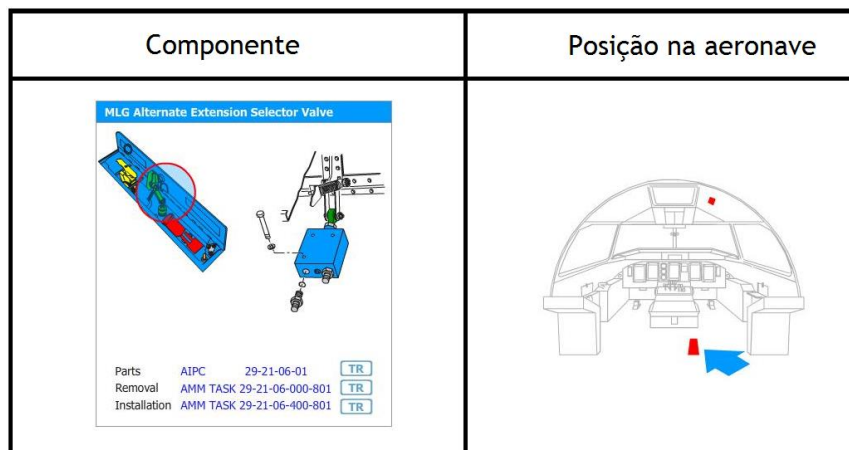


Figura 4.31 - Emergency Selector Valve.

Alternate Extension Actuator (32-34-06)

Os *alternate extension actuators* (figura 4.32) estão instalados no poço da roda do trem principal.

A pressão hidráulica necessária para operar estes atuadores é fornecida pela bomba manual (*hand pump*) que está localizada no *cockpit*. Este atuador é de entrada única que tem como função extender o trem de aterragem.

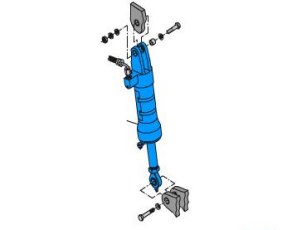
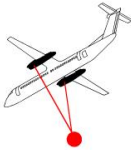
Componente	Posição na aeronave
<p data-bbox="491 282 782 300">MLG Alternate Extension Actuator</p>  <p data-bbox="504 542 769 600">Parts AIPC 32-34-06-01 TR Removal AMM TASK 32-34-06-000-801 TR Installation AMM TASK 32-34-06-400-801 TR</p>	

Figura 4.32 - *Alternate Extension Actuator*.

Capítulo 5 - Cálculo da Fiabilidade

Nesta secção será efetuado o cálculo da Função Fiabilidade - Extensão do Trem de Aterragem, utilizando os principais componentes dos sistemas ATA29 e ATA32 que intervêm de forma ativa neste subsistema.

Todos os cálculos da fiabilidade estão apresentados em detalhe no Anexo 1, aqui apresentar-se-ão apenas as fórmulas utilizadas e resultados finais para mil horas de operação.

Os dados utilizados foram os fornecidos pela *Bombardier Aerospace* e são referentes à operação da sua frota mundial (492 aeronaves) durante o ano de 2015. Estes valores podem ser encontrados nos Anexos 2 e 6. As fórmulas utilizadas foram deduzidas e demonstradas no capítulo anterior.

Fez-se também o cálculo de todos os sistemas utilizando valores Alvo de fiabilidade, tendo em consideração os valores de MTBUR TARGET retirados do relatório FRACAS da Bombardier (2016). Os diagramas de blocos utilizados para estes cálculos são os mesmos.

5.1 - Fiabilidade do sistema ATA29 (Extensão do trem)

O sistema hidráulico é disposto da seguinte forma e fazem parte deles os componentes:

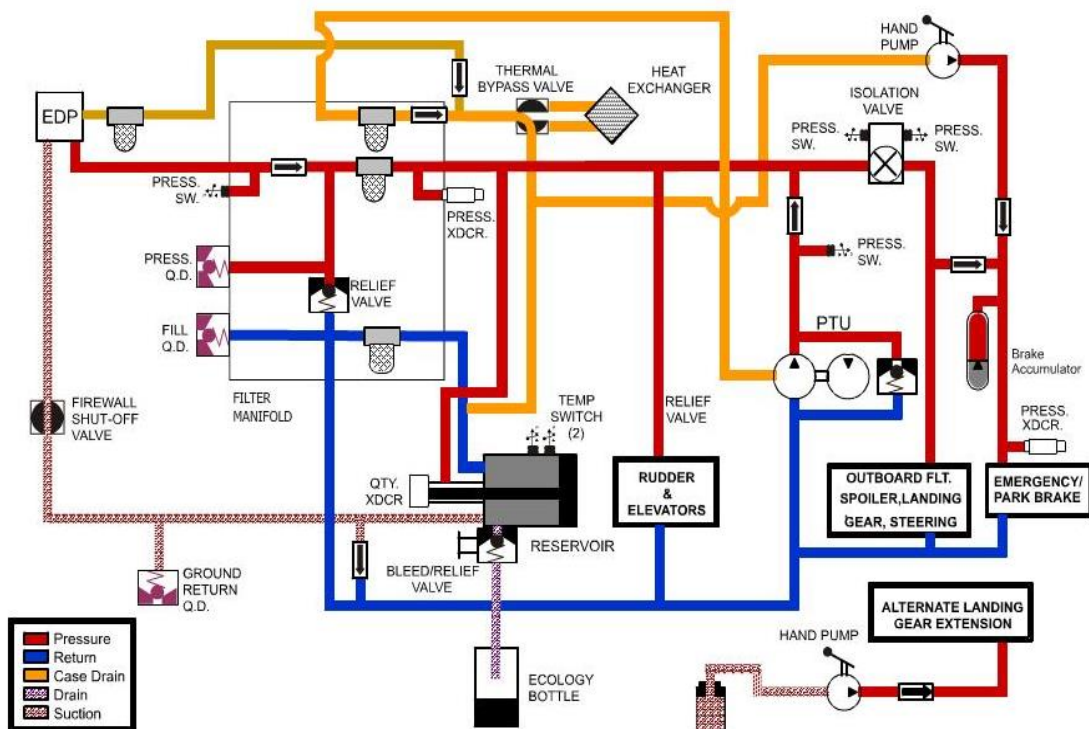


Figura 5.1 - Diagrama ATA29 sistema No.2.

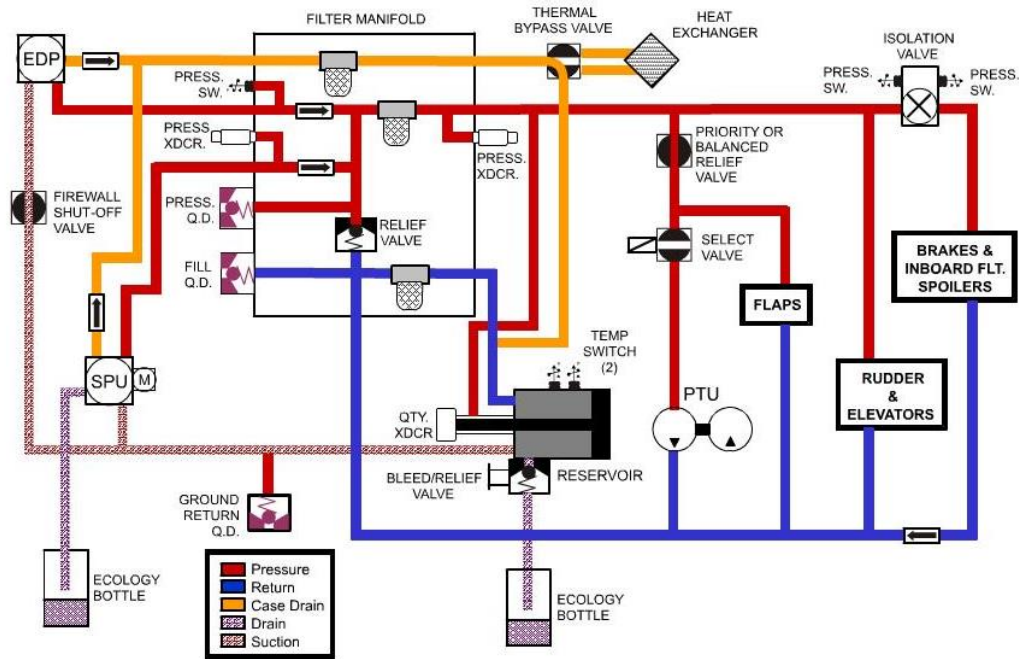


Figura 5.2 - Diagrama ATA29 sistema No.1

5.1.1 - Cálculo da Fiabilidade

O Sistema ATA29 tem-lhe associadas algumas redundâncias que foram acima explicadas. Os Sistemas #1 (e SPU) e #2 funcionam em paralelo o que quer dizer que embora se considere que se um componente do Sistema #2 falha, todo este sistema falha, e neste caso entra em funcionamento um dos sistemas secundários.

De seguida apresentar-se-ão os diagramas de blocos elaborados para cada subsistema e o respetivo cálculo da fiabilidade. No fim apresenta-se a fiabilidade total do sistema ATA29.

5.1.1.1 - Sistema #2

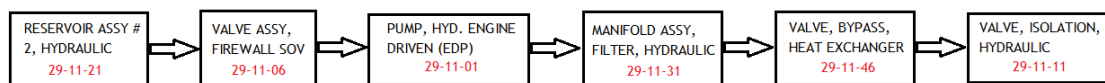


Figura 5.3 - Diagrama de Blocos ATA29 No.2

Para este cálculo utilizou-se a fórmula geral da fiabilidade (25) deduzida no capítulo anterior:

$$R(t) = e^{(-\sum \lambda_i \cdot t)}$$

Assim, temos que

$$R(1000)_{ATA29\#2} = e^{(-0.0001588 \cdot 1000)}$$

$$= 0.8531 \approx 85.31\%$$

5.1.1.2 - Sistema #2 TARGET

$$R_{ATA29\#2TARGET}=0,8413\approx 84.13\%$$

5.1.1.3 - Sistema #1

O diagrama de blocos obtido para o sistema ATA29 No.1 foi o seguinte:

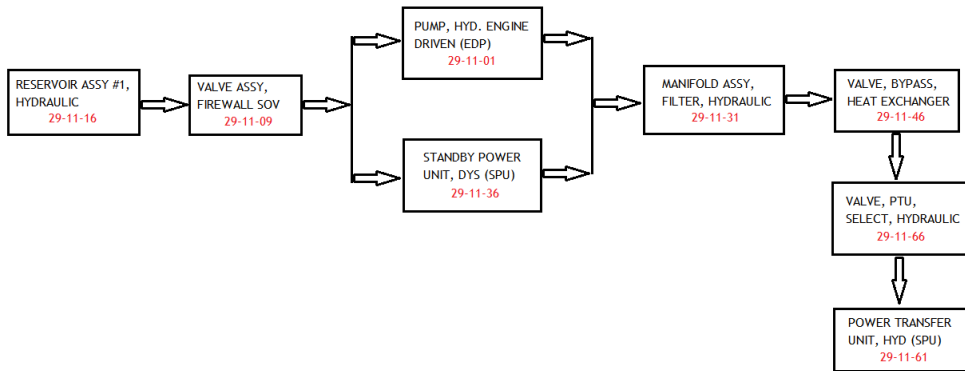


Figura 5.4 - Diagrama de Blocos ATA29 No.1

Para o cálculo da fiabilidade do Sistema Hidráulico No.1 recorreu-se à equação (21):

$$R=e^{\frac{-1000}{MTBF}}$$

$$R_{ATA29\#1}=0.9660*0.9721*(1-(1-0.9099)*(1-0.9645))*0.9907*0.0.9966*0.9647*0.9601$$

$$R_{ATA29\#1}=0.8560\approx 85.60\%$$

5.1.1.4 - Sistema #1 TARGET

$$R_{ATA29\#1TARGET}=0,8749\approx 87.49\%$$

5.1.1.5 - ATA29

Obteve-se o seguinte diagrama de blocos para os sistema ATA29:

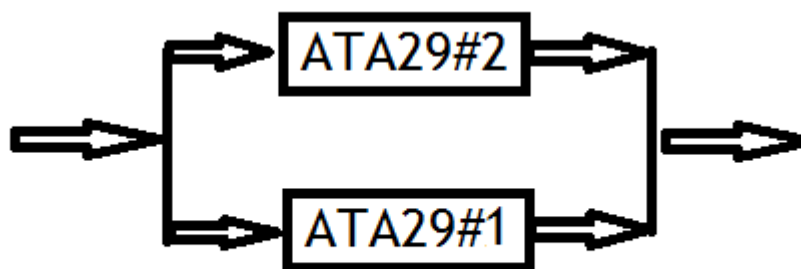


Figura 5.5 - Diagrama de Blocos ATA29

$$R_{ATA29TOTAL} = (1 - (1 - R_{ATA29\#2}) * (1 - R_{ATA29\#1}))$$

$$R_{ATA29TOTAL} = (1 - (1 - 0.8531) * (1 - 0.85600))$$

$$R_{ATA29TOTAL} = 0.9789 = 97.89\%$$

5.1.1.6 - ATA29 TARGET

$$R_{ATA29TOTALTARGET} = (1 - (1 - R_{ATA29\#2TARGET}) * (1 - R_{ATA29\#1TARGET}))$$

$$R_{ATA29TOTALTARGET} = 0,9801 \approx 98.01\%$$

Tabela 5.1 - Quadro Resumo do sistema ATA29

SISTEMA - CÓDIGO Ispec2200	VALOR DA FIABILIDADE
ATA29 #2	85,31%
ATA29 #2 TARGET	84,13%
ATA29 #1	85,60%
ATA29 #1 TARGET	87,49%
ATA29 TOTAL	97,89%
ATA29 TARGET TOTAL	98,01%

5.2 - Fiabilidade do sistema ATA32 (Extensão do trem)

O sistema de Trem de Aterragem é disposto da seguinte forma e fazem parte dele os componentes:

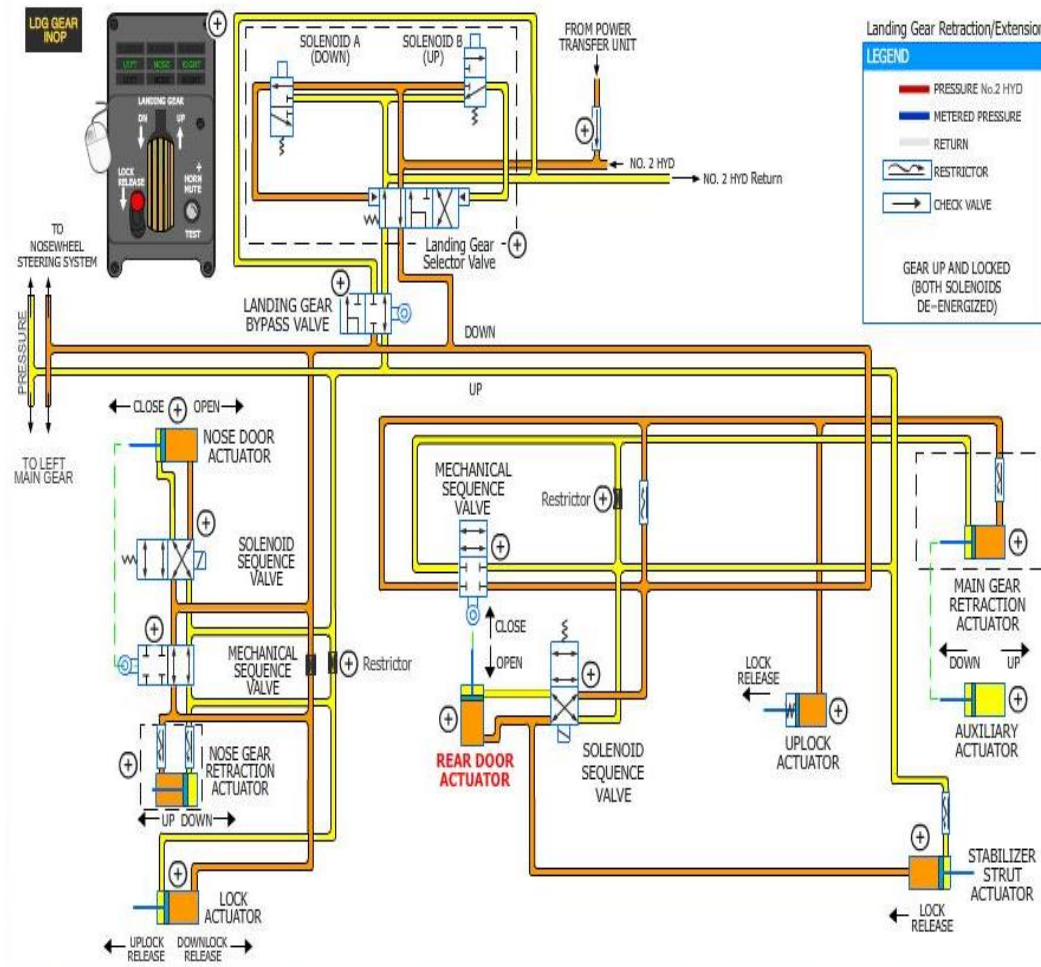


Figura 5.6 - Diagrama ATA32 Extensão

5.2.1 - Cálculo da Fiabilidade

O sistema ATA32 é um pouco mais complexo que o estudado anteriormente e na maior parte dos casos considerou-se que todos os elementos são interdependentes exceto no caso de dois sensores de proximidade instalados no trem principal.

Deste modo, o diagrama de blocos e a fiabilidade calculada para os subsistemas e o sistema na sua globalidade foram os seguintes:

5.2.1.2 - Sistema Principal TARGET

$$R_{ATA32MAINTARGET}=0,6733\approx 67.33\%$$

5.2.1.3 - Sistema Emergência

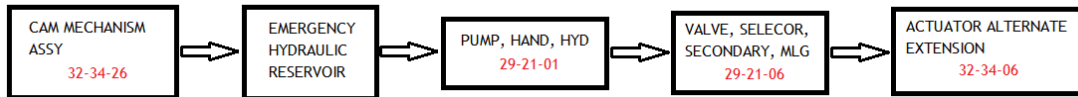


Figura 5.8 - Diagrama de Blocos para ATA32 Emergência

$$R_{ATA32EMER.} = 0.9938 * 1 * 0.9949 * 0.9898 * 0.9849$$

$$R_{ATA32EMER.} = 0.9639 \approx 96.39\%$$

5.2.1.4 - Sistema Emergência TARGET

$$R_{ATA32EMER.TARGET} = 0,9552 \approx 95.52\%$$

5.2.1.5 - ATA32

O diagrama de blocos final para o sistema ATA32 Extensão é o seguinte:

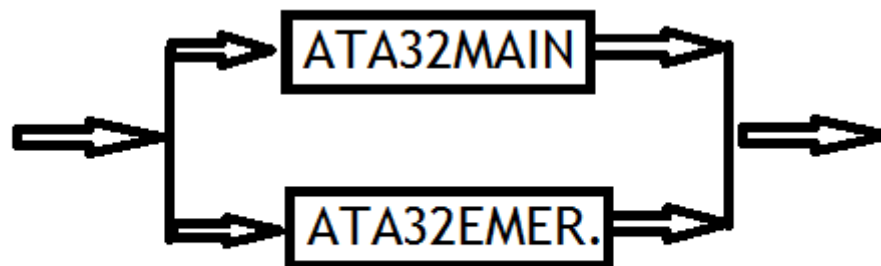


Figura 5.9 - Diagrama de Blocos ATA32 Extensão.

$$R_{ATA32TOTAL} = (1 - (1 - R_{ATA32EMER.}) * (1 - R_{ATA32MAIN}))$$

$$R_{ATA32TOTAL} = (1 - (1 - 0.9639) * (1 - 0.688))$$

$$R_{ATA32TOTAL} = 0.9887 \approx 98.87\%$$

5.2.1.6 - ATA32 TARGET

$$R_{ATA32TOTALTARGET} = (1 - (1 - R_{ATA32EMER.TARGET}) * (1 - R_{ATA32MAINTARGET}))$$

$$R_{ATA32TOTALTARGET} = 0,9854 \approx 98.54\%$$

Tabela 5.2 - Quadro Resumo do sistema ATA32.

SISTEMA - CÓDIGO Ispec2200	VALOR DA FIABILIDADE
ATA32 MAIN	68,81%
ATA32 MAIN TARGET	67,33%
ATA32 EMER.	96,39%
ATA32 EMER. TARGET	95,52%
ATA32 TOTAL	98,87%
ATA32 TARGET TOTAL	98,54%

5.3 - Fiabilidade do subsistema Extensão do Trem de Aterragem

Calculou-se também a fiabilidade total do subsistema em estudo, considerando a globalidade dos subsistemas do sistema ATA29 em série com os do sistema ATA32.

O diagrama e conseqüente valor de fiabilidade são os seguintes:

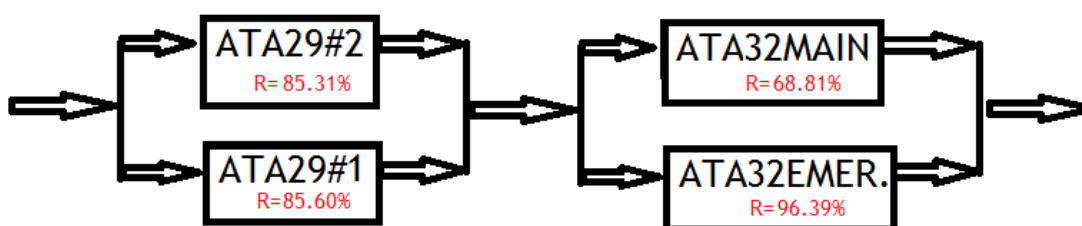


Figura 5.10 - Diagrama de Blocos Total Subsistema Extensão Trem de Aterragem.

$$R_{TOTAL} = R_{ATA29TOTAL} * R_{32TOTAL}$$

$$R_{TOTAL} = 0.9789 * 0.9889$$

$$R_{TOTAL} = 0.9678 = 96.78\%$$

5.3.1 - Fiabilidade Total TARGET

Por fim, podemos calcular o valor alvo da fiabilidade para o subsistema considerado.

O diagrama de blocos com as fiabilidades TARGET fica:

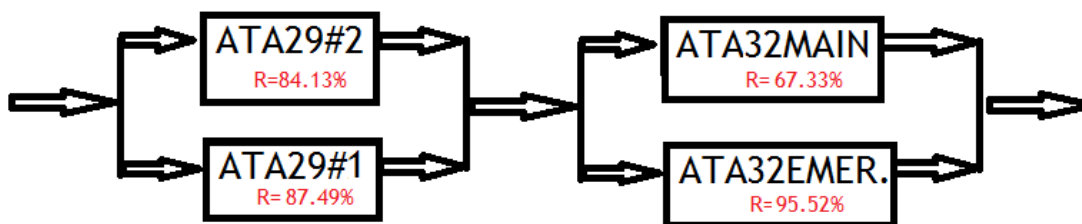


Figura 5.11 - Diagrama de Blocos referente à Fiabilidade TARGET Total do Subsistema Extensão Trem de Aterragem.

$$R_{TOTALTARGET} = R_{ATA29TOTALTARGET} * R_{32TOTALTARGET}$$

$$R_{TOTALTARGET} = 0.9801 * 0.9854$$

$$R_{TOTALTARGET} = 0.9658 = 96.58\%$$

5.4 - Discussão de Resultados

Nesta secção será apresentada a discussão dos resultados obtidos no cálculo da fiabilidade da Extensão do Trem.

Para este cálculo, considera-se que os resultados foram satisfatórios, tendo em conta as considerações iniciais que foram efetuadas. Sendo que os sistemas ATA29 e ATA32 apresentam um fiabilidade de 97.89% e 98.97% respetivamente.

Com uma fiabilidade global da ordem dos 96%, é um nível de fiabilidade elevado mas não tanto como desejado pois um sistema tão crítico como este deverá ter uma fiabilidade de quase 100%.

Também com fiabilidade que importaria aprofundar encontram-se os dois sistemas hidráulicos, No.1 e No.2, ambos com fiabilidade na ordem dos 85%.

Observa-se também que a fiabilidade TARGET total é superior à fiabilidade total da frota mundial.

Capítulo 6 - Estudo Estatístico da Fiabilidade da frota da SATA

Nesta secção encontra-se o estudo estatístico da frota de aeronaves Dash 8-Q400.

6.1 - Gráficos

Como vimos no capítulo 3, uma frota com poucas aeronaves deve ter um tratamento estatístico adequado. Por este motivo, propõe-se neste trabalho e segundo Verma, Gagliardi e Ferretti (2009) calcular-se a URR média tendo por base os anos de 2014 e de 2015 tornando os dados estatísticos mais densos e portanto uma melhor amostra estatística.

Este cálculo da média foi feito da seguinte forma:

$$\text{Fiabilidade (Mês de 2015)} = \text{Média (Mês de 2015; Mês de 2014)}$$

Segundo os autores acima referidos este tipo de método ajuda a obter resultados ‘mais robustos’ e estes ‘aumentam a precisão dos resultados, ajudam a suavizar as tendências a curto prazo e ajudam na relação entre os outros elementos em estudo’.

Os valores de URR foram calculados através de UR dos últimos 12 meses (por exemplo a URR de janeiro de 2015 foi calculada com a UR de fevereiro de 2014 a janeiro de 2015) utilizando a fórmula (2) apresentada no capítulo 3

$$\text{URR} = 1000 * \frac{\text{UR}}{\text{Horas de Operação} * \text{Quantidade de Componentes por Aeronave}}$$

Selecionaram-se os 10 componentes (exceto motores) com maior taxa de remoções prematuras do ano de 2015 e estabeleceram-se ainda níveis de alerta tendo em conta os dados do ano de 2013 e 2014.

Os níveis de alerta foram calculados tendo em conta as equações (4) e (7):

$$\text{ALERT\#1} = \text{Média(URR12Meses)} + 3 * \text{Desvio Padrão(URR12Meses)} \quad (4)$$

$$\text{ALERT\#2} = \text{Média(URR12Meses)} + 2 * \text{Desvio Padrão(URR12Meses)} \quad (7)$$

Pretende-se escolher qual destes dois métodos mais se adequa ao estudo em questão, ou seja, pretende-se obter um nível de alerta que seja o mais fiável possível e que não desperte falsos alertas.

Assim sendo, neste capítulo apresentar-se-ão os gráficos de URR média, UR e Níveis de Alerta dos 10 componentes mais problemáticos para a frota Dash 8-Q400 assim como a sua avaliação.

Os gráficos estão ordenados por ordem decrescente em termos de URR no ano de 2015. Abaixo de cada gráfico segue-se o comentário ao resultado obtido considerando a URR média e os Níveis de Alerta:

ARCDU 23-81-01

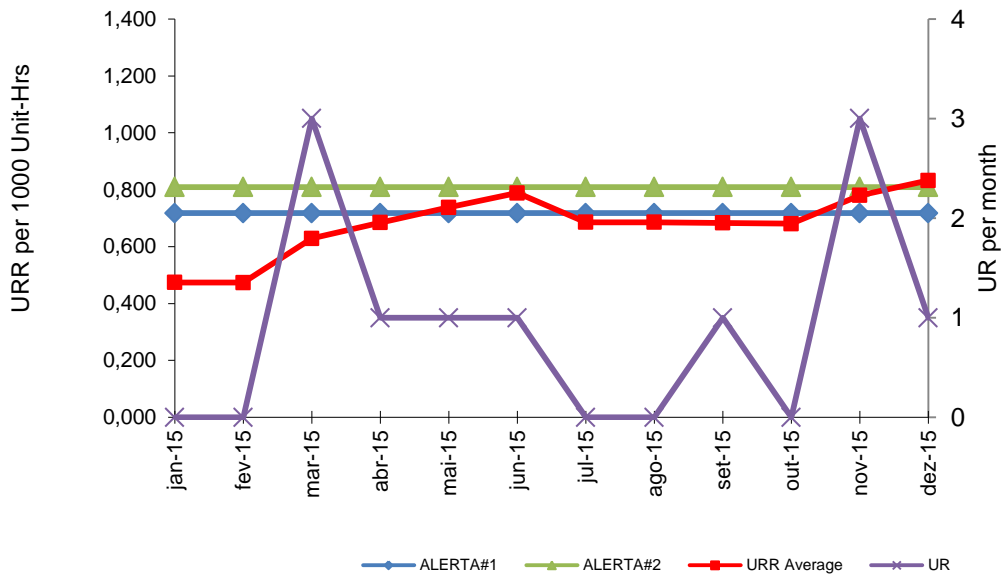


Figura 6.1 - Gráfico de URR média, UR e Níveis de Alerta ARCDU

Comentário: Este componente apresenta-se como aquele que tem uma maior taxa de remoções não programadas. Neste gráfico podemos ver que existem dois picos de UR que originam um aumento gradual de URR média no mês de março e novembro. Após o mês de março há uma densidade de remoções (1 por mês) o que resulta num aumento da URR média ultrapassando o nível de alerta #1 em maio. O nível de alerta#2 é também ultrapassado pela URR média após o pico de UR em novembro. Como a tendência no fim do ano é para a URR média aumentar, esta é uma unidade a ser monitorizada e possivelmente investigada para futuras correções.

BREWER, COFFEE 25-32-06

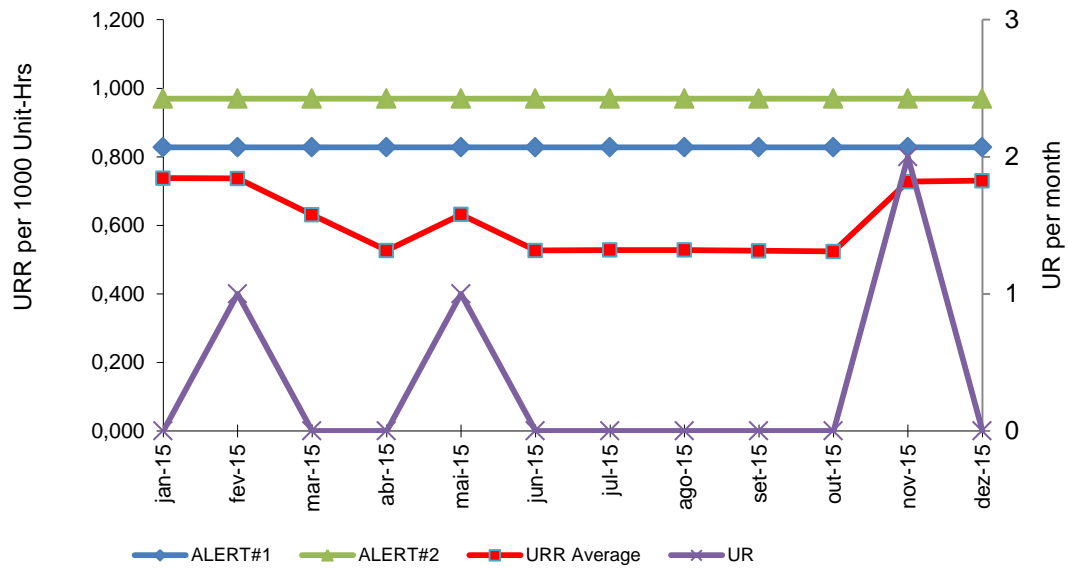


Figura 6.2 - Gráfico de URR média, UR e Níveis de Alerta BREWER, COFFEE

Comentário: A curva de URR média manteve-se abaixo dos níveis de alerta durante todo o ano. Através da análise destes dados e da descrição do componente e embora este seja um dos componentes com maior URR este não constitui um problema para a segurança operacional devido à sua função.

EXCITER-IGNITION 74-11-01

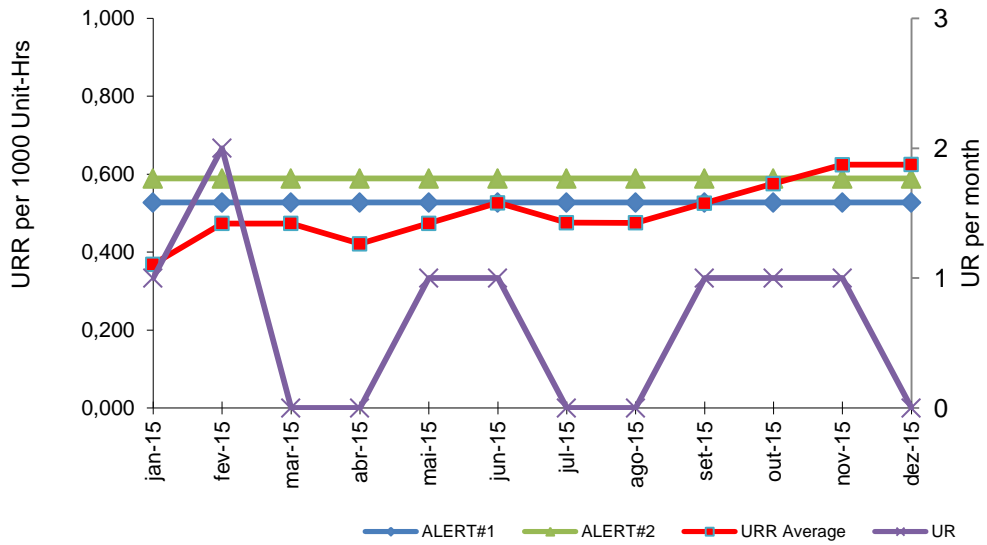


Figura 6.3 - Gráfico de URR média, UR e Níveis de Alerta EXCITER-EGNITION

Comentário: Do gráfico, podemos concluir que este constituiu um componente ao qual se deve dar atenção no fim do ano de 2015 e início de 2016 pois há uma dispersão de UR ao longo do ano, o que faz com que a URR média atinja o nível de alerta#1 em junho e depois em setembro volte a aumentar e assim se mantém até ao fim do ano. Esta tendência no fim do ano da URR média faz deste componente um a ser monitorizado para a deteção de possíveis problemas.

FUEL HEATER THERMAL VALVE 73-11-03

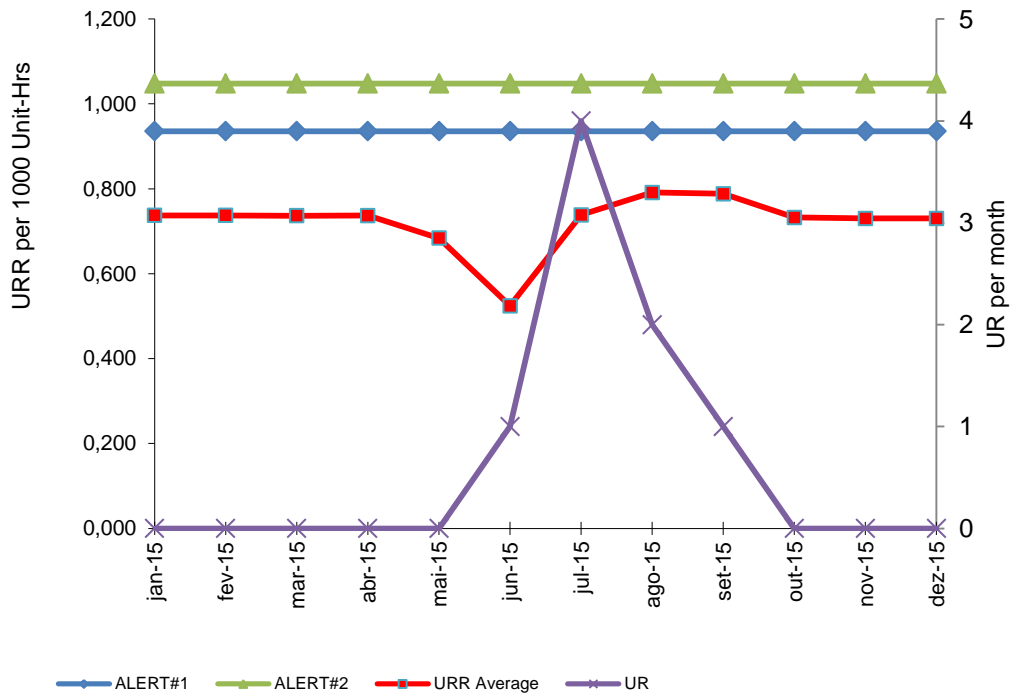


Figura 6.4 - Gráfico de URR média, UR e Níveis de Alerta FUEL HEATER THERMAL VALVE

Comentário: Tal como tínhamos visto para o segundo componente, a curva de URR média nunca passa os níveis de alerta, embora haja um pico de 4 remoções prematuras no mês de julho, estas não provocam alerta nem razão de preocupação com o componente.

VHF TRANSCEIVER 23-11-01

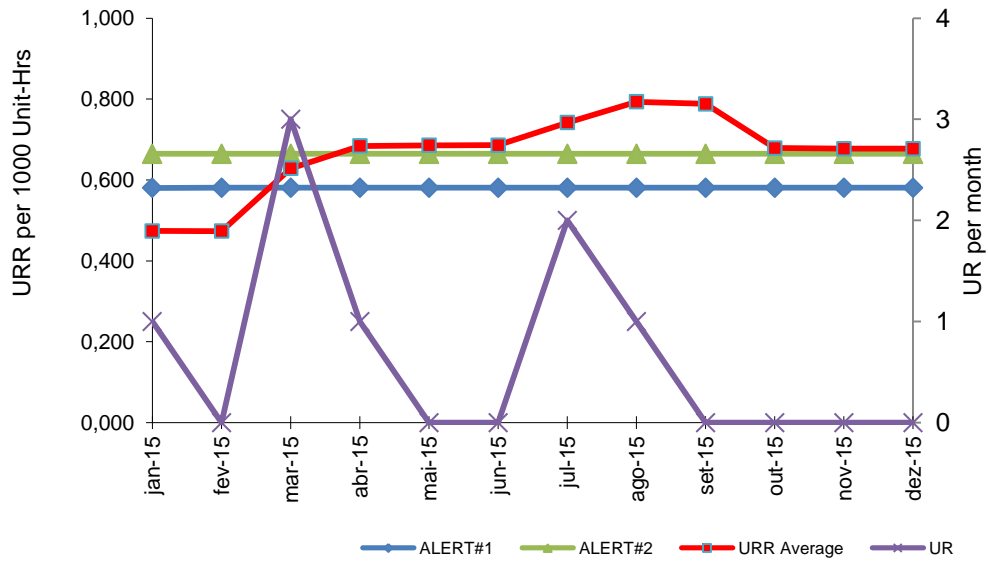


Figura 6.5 - Gráfico de URR média, UR e Níveis de Alerta VHF TRANSCEIVER

Comentário: Aqui assistimos a um caso crítico onde a curva de URR média ultrapassa o nível de alerta#1 em março após um pico de UR nesse mesmo mês e ultrapassa também o nível de alerta#2 em abril mantendo-se acima dos dois até ao fim do ano. Observa-se outro pico no mês de julho o que eleva a URR média a valores muito superiores dos de níveis de alerta.

VALVE - INTERSTAGE BLEED. P2.2 75-31-11

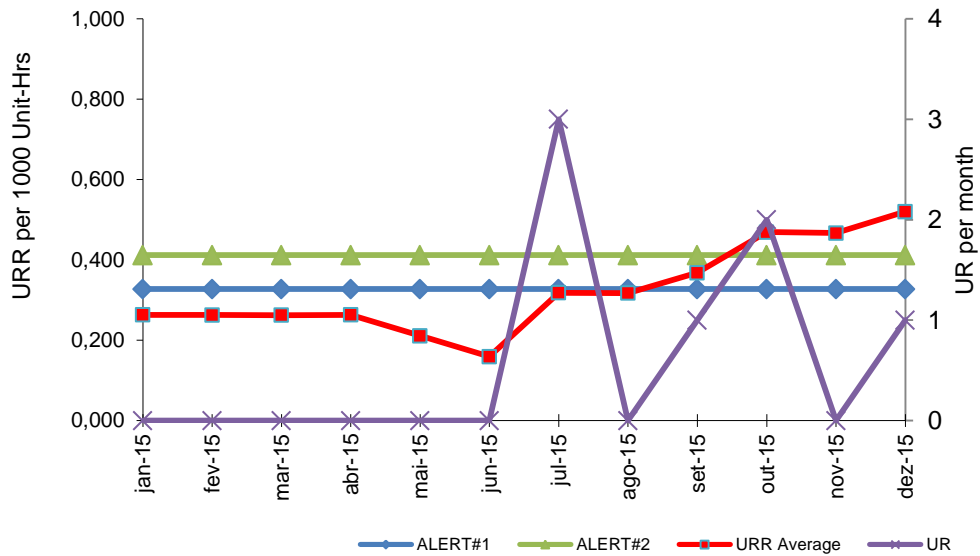


Figura 6.6 - Gráfico de URR média, UR e Níveis de Alerta VALVE INTERSTAGE BLEED

Comentário: Após meio ano sem remoções prematuras, assistiu-se a um pico de UR em julho que levou a um crescimento da URR média, não ultrapassando os níveis de alerta. Ainda que isto não seja representativo de um problema claro deve-se ficar atento à situação e de facto, em outubro assistiu-se a outro pico, o que elevou a URR média acima de ambos os níveis de alerta. Após se assistir ao segundo pico de UR, deve-se monitorizar.

DC STARTER GENERATOR 24-31-01

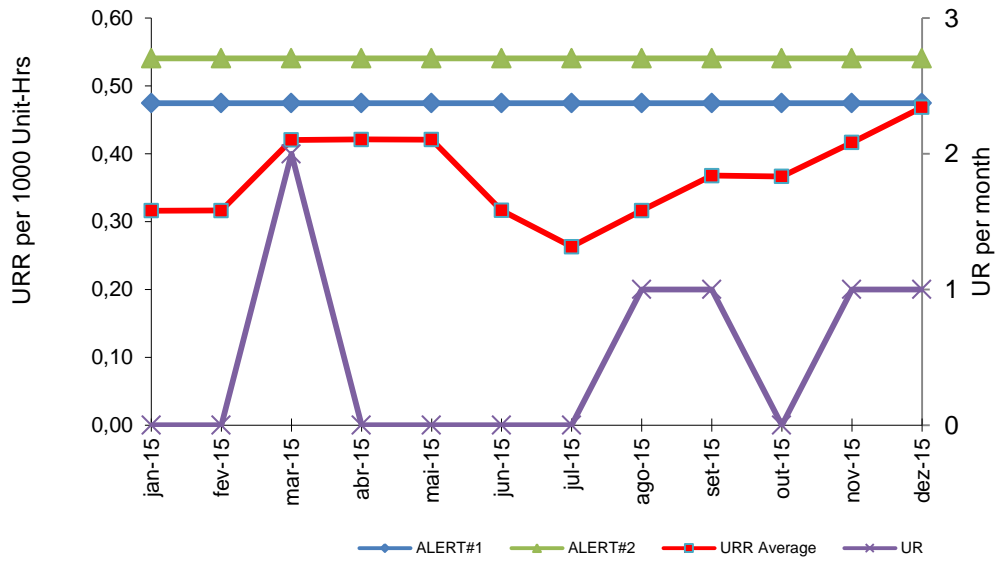


Figura 6.7 - Gráfico de URR média, UR e Níveis de Alerta DC STARTER GENERATOR

Comentário: Este também é um componente pouco problemático, como se pode comprovar através do gráfico. Podemos ver que um pico de UR mensal em março fez subir a URR média sem a levar acima dos níveis de alerta. Uma maior densidade de UR para o fim do ano traduz-se num aumento gradual da URR média mas sem passar acima dos níveis de alerta. Este aumento de URR média do fim do ano deixa em aberto a possibilidade de no início de 2016 podermos entrar em alerta, mas para o ano de 2015 nenhum problema significativo é evidente.

VALVE ASSEMBLY - FLOW DIVIDER 73-11-11

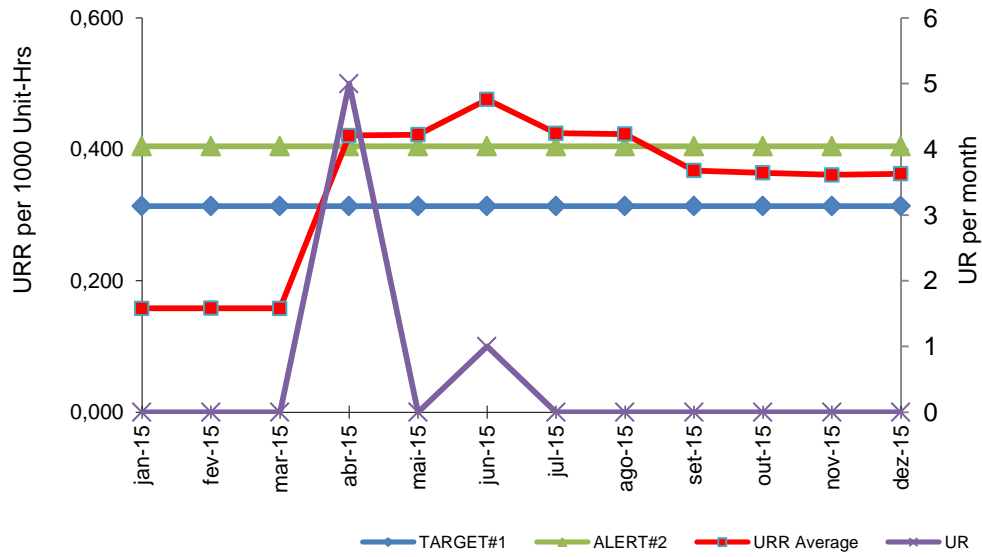


Figura 6.8 - Gráfico de URR média, UR e Níveis de Alerta VALVE ASSY - FLOW DIVIDER

Comentário: Numa primeira análise, podemos ver claramente um pico de UR no mês de abril que dispara a URR média para cima dos níveis de alerta. Mas, observando o resto do ano, apenas no mês de julho se voltou a assistir a uma UR e nos restantes meses ficaram nulos no que toca a UR. Embora a curva de URR média se mantenha em alerta até ao fim do ano, na segunda metade de 2015 não se verificaram UR (em 2014 houve apenas uma remoção) e por isso pode-se considerar este componente como um a monitorizar mas sem indícios de ser problemático.

FUEL METERING UNIT 73-21-06

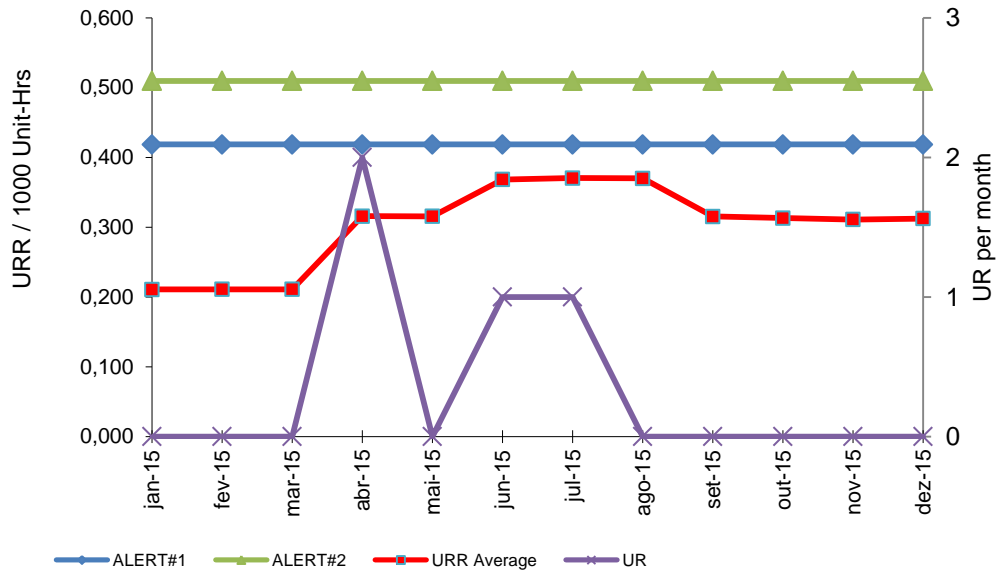


Figura 6.9 - Gráfico de URR média, UR e Níveis de Alerta FUEL METERING UNIT

Comentário: Embora se assista a um pico de UR no início do ano e a uma maior densidade de remoções a meio do ano, a curva de URR média nunca ultrapassa os níveis de alerta.

DISPLAY UNIT 31-61-01

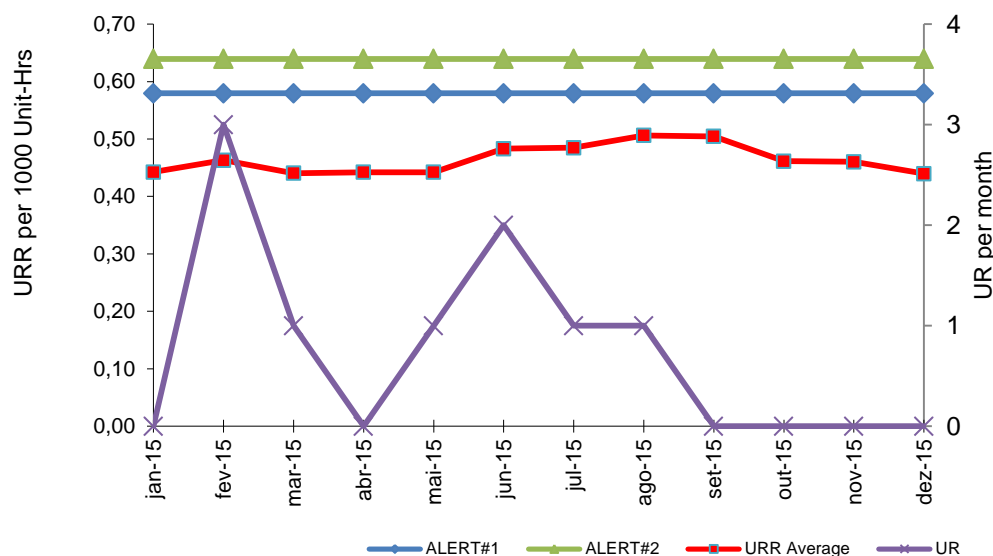


Figura 6.10 - Gráfico de URR média, UR e Níveis de Alerta DISPLAY UNIT

Comentário: Por fim, o componente escolhido com URR menor. A URR média deste mantém-se abaixo dos níveis de alerta mesmo após um pico em fevereiro e outro em junho. Esta unidade não representa motivo de alerta.

6.2 - Discussão de Resultados

Através da Análise dos gráficos acima podemos verificar que no geral as taxas se comportam como esperado tendo em conta o volume de componentes removidos prematuramente. A cada aumento de UR corresponde um aumento gradual ou mais acentuado de URR média consoante a densidade de UR.

Podemos ainda verificar a importância dos níveis de alerta estipulados que representam valores de referência, que ao serem ultrapassados, pode-se dar início a uma segunda fase do estudo, as ações corretivas e monitorização das mesmas.

6.3 - Ações Corretivas

Após a avaliação dos resultados acima obtidos é importante perceber quais dos componentes são críticos na medida em que afetam a segurança operacional da aeronave ou a sua aeronavegabilidade. Após percebermos quais são estes componentes avança-se para a etapa de ações corretivas onde se pode reparar a unidade, removê-la ou substituí-la conforme a situação.

O primeiro passo é aceder ao relatório de reparação da unidade e perceber quais foram as causas para a remoção ou avaria desta. Uma das formas de corrigir esta avaria é a de incorporar modificações (*Service Bulletins* - SB) sugeridas pelo fabricante da unidade, se existirem. Geralmente estes SB's são classificados como 'altamente recomendados'.

No caso da primeira unidade 'ARCDU 23-81-01' e após se observar que em 11 remoções no ano de 2015, 3 delas tinham o mesmo sintoma, o qual poderia ter sido evitado se tivesse sido incorporado um determinado SB - ver Anexo 7.

Esta mesma unidade foi enviada para o fabricante ('THALES') por forma a ser avaliada e reparada.

A unidade 'VHF TRANSCEIVER 23-11-01' encontra-se em condições um pouco diferentes pois, embora haja um SB altamente recomendado pelo fabricante, no caso da operação da SATA apenas 12% das remoções foram avarias confirmadas e portanto não se justificaria o investimento na atualização da unidade.

Por outro lado, o componente 'VALVE - INTERSTAGE BLEED. P2.2 75-31-11' que também tem associado um SB opcional que possivelmente justificaria o investimento. Chega-se a esta avaliação pois o fabricante desta válvula do motor (Pratt&Whitney) mudou de fornecedor de válvulas e estas desempenham a mesma função mas com uma *performance* consideravelmente mais elevada, no entanto só poderíamos chegar a esta conclusão após análise e comparação com a restante frota mundial e se realmente esta melhoria se verificasse então o investimento era justificável.

Noutros casos, como por exemplo no componente 'EXCITER-IGNITION 74-11-01' verifica-se que o custo de reparação é semelhante ao custo de uma unidade nova. Assim sendo e por uma questão de poupança de tempo aprovisiona-se o *stock* em quantidades suficientes para responder aos picos de remoções prematuras.

Por fim, existem algumas falhas mais comuns normalmente características de válvulas e sistema elétrico onde se altera diretamente no PMA a tarefa de manutenção e se muda as inspeções e limpezas mais regulares.

De uma forma geral, podemos considerar também que sempre que a URR média se mantenha acima do nível de alerta mais do que 3 meses se proceda a uma monitorização mais acentuada ao componente em questão.

Capítulo 7 - Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste capítulo apresentam-se as conclusões gerais deste trabalho e dos estudos que foram realizados assim como sugestões de trabalhos futuros.

7.1 - Conclusões Gerais

Na manutenção aeronáutica o Programa de Manutenção de Aeronaves é uma peça essencial e fundamental que rege toda a manutenção de uma operadora e faz cumprir as instruções de aeronavegabilidade continuada.

Estes programas são dinâmicos na medida em que estão constantemente a receber *inputs* gerados pelos relatórios/programas de fiabilidade, entre outros aspetos.

Os Programas de Fiabilidade permitem-nos também monitorizar a condição da aeronave e a eficiência das tarefas de manutenção especificadas no PMA.

Do primeiro estudo, pode-se concluir que a associação dos componentes e dos vários sistemas dá-nos uma visão global da fiabilidade dos mesmos e que componentes contribuem para uma menor fiabilidade e por este motivo devem ser monitorizados ou até mesmo removidos/substituídos.

Retiramos então, que entre os componentes mais contribuídores para uma menor fiabilidade são, no sistema Hidráulico o EDP (90.99%), o PTU (96.01%) e o SPU (96.44%). No sistema de Trem de Aterragem os componentes menos fiáveis são *Landing Gear Control Panel* (90.15%), o *NLG Door Actuator* (97.26%) e *NLG Lock Actuator* (97.44%).

Podemos concluir que os valores de fiabilidade finais dos sistemas ATA29#1 e ATA29#2 foram influenciados por valores elevados de MTBUR nos componentes '291131 MANIFOLD ASSY, FILTER, HYDRAULIC' e '291146 VALVE, BYPASS, HEAT EXCHANGER'. E no sistema ATA32MAIN há a influência de MTBUR elevado na unidade '311116 STABILIZER STRUT'. De concluir ainda que quanto maior for o indicador MTBUR maior é também o valor de fiabilidade do componente.

Este estudo apresenta-se como inovador na medida em que aplica diretamente a fórmula da fiabilidade num caso concreto e nos dá a ideia de como a fiabilidade de um componente pode afetar o funcionamento de todo o sistema.

Considera-se que o estudo estatístico de fiabilidade é de grande importância para uma operadora uma vez que a avaliação dos resultados e os indicadores estatísticos vão dar

indicações para alterações de tarefas e técnicas de manutenção, fornecedores e metodologias.

Através da análise dos gráficos referentes ao 'DISPLAY UNIT 31-61-01' e à 'FUEL METERING UNIT 73-21-06' observamos que a URR média mantém-se sempre abaixo dos níveis de alerta, assim podemos concluir que se isto se verifica para alguns dos 10 componentes menos fiáveis, os restantes (que não foram considerados) não representam um problema.

A escolha de uma URR média em relação à URR referente a um ano, dá-nos resultados mais conclusivos, uma vez que a curva de URR média não é tão acentuada e não ultrapassa o nível de alerta tantas vezes como a referente a um ano. Nesta última, quando se observava uma oscilação acima do nível de alerta nem sempre obrigava à tomada de medidas corretivas. Antes pelo contrário, se as medidas fossem tomadas considera-se que poderiam haver, eventualmente, gastos de tempo e recursos em vão.

Temos também de ter em consideração que a frota da SATA Air Açores é pouco representativa a nível mundial, pois das 492 aeronaves em operação, apenas 4 pertencem a esta operadora e portanto, quando estamos a falar em termos de ações corretivas e de alterações na aeronave se há algum componente que causa problemas apenas à SATA, dificilmente o fabricante irá alterar ou atualizar esse componente devido aos custos não recorrentes que isto acarreta. Nestes casos, na maioria das vezes assiste-se a uma atualização do componente apenas quando é exercida forte pressão por parte dos operadores principais do modelo da aeronave em questão.

Ambos os níveis de alerta geram resultados muito idênticos e portanto escolher-se-ia o nível de alerta #1 por ter um valor inferior. Este valor mais baixo de nível de alerta faz com que para o estudo de fiabilidade e para a implementação de medidas corretivas se aja de forma mais rápida do que se o nível de alerta fosse superior. Por este motivo podemos afirmar que estamos mais em segurança com um nível de alerta mais baixo.

A escolha do nível de alerta#1 também pode ser justificada pela utilização da URR média por esta produzir uma curva mais suave onde não se assiste a picos de URR acima do nível de alerta. Assim, com um nível de alerta inferior podemos detetar problemas, mesmo que o gráfico apresentado tenha apenas ligeiras nuances.

Conclui-se ainda que é da maior importância estabelecer um nível de alerta que seja adequado e que nos garante uma fiabilidade elevada. Se isto não se verificar, implica esforços (recursos humanos e monetários) desnecessários por parte da engenharia.

Desta forma, esta análise aos 10 componentes menos fiáveis, embora já estivesse implementada pela SATA Air Açores, assume-se como uma inovação por utilizar a URR média em vez da URR referente um ano, pelo estabelecimento de níveis de alerta e pela inclusão da

curva de UR que nos permite uma visão mais clara e direta de como a URR média é influenciada pelos picos de UR.

No geral, conclui-se que a monitorização constante da fiabilidade dos sistemas e componentes, para além de satisfazer a regulamentação a ele associada permite-nos também identificar os componentes que interferem com o despacho; identificar componentes que carecem de atualização, substituição ou remoção; identificar componentes nos quais se devem adotar medidas específicas de manutenção; perceber que alterações devem ser feitas ao PMA de forma a diminuir o número de componentes com menor fiabilidade; dá-nos também a possibilidade de ajustar os *stocks* de unidades rotáveis tendo em conta os vários indicadores de fiabilidade como o MTBUR.

Por fim, toda a teoria apresentada neste trabalho serve de suporte para o aprofundamento e melhor conhecimento das diferentes vertentes da Fiabilidade e que poderá ser utilizado para futuros melhoramentos ao Programa de Fiabilidade da SATA.

7.2 - Trabalhos Futuros

Durante a elaboração deste trabalho, principalmente na etapa final, surgiram algumas propostas e desafios no sentido de se elaborar um trabalho que dê continuidade ao presente.

De seguida enumeram-se algumas sugestões e propostas de trabalhos futuros:

- No estudo estatístico avaliar a fiabilidade da frota tendo em conta outros indicadores de forma a comparar os resultados obtidos pelos diferentes indicadores (PIREPS, Fiabilidade de Despacho);

- Obter junto do fabricante dados sobre a fiabilidade real de cada unidade e procurar através dos relatórios de manutenção a causa de avaria/remoção e criar um fator de multiplicação pela fiabilidade final de um sistema de forma a eliminar todas estas avarias/remoções que não tenham um impacto direto na função do sistema. O objetivo é eliminar/minimizar as considerações iniciais onde se afirma haver remoções prematuras que podem não levar ao bloqueio total do sistema. Este fator permitiria que se olhasse para o MTBUR de forma mais direta onde todas as remoções consideradas tivessem sido originadas por uma falha catastrófica.

- Tendo por base os resultados do estudo sobre o 'STABILIZER STRUT' - o qual apresenta falhas frequentes (em número superior às que ocorrem nas restantes operadoras da mesma aeronave) - devido essencialmente ao número elevado de ciclos que as aeronaves da SATA Air Açores executam, sugere-se o redimensionamento desta unidade aumentando a sua resistência ao impacto nas dobradiças (zonas de concentração de tensões).

Bibliografia

- Abbott, A. (9-Junho-2015). *Covington Aircraft*. Consultado a 21 de Setembro de 2016 de What Are The Differences between Service Bulletins and Airworthiness Directives?: <http://blog.covingtonaircraft.com/2015/06/09/service-bulletins-and-airworthiness-directives/>
- Ackert, S. P. (2010). Basics of Aircraft Maintenance Programs for Financiers. *Evaluation & Insights of Commercial Aircraft Maintenance Programs* .
- Amborski, J. (2009). Calculation of Alert Levels for Reliability. *23rd European Conference on Modelling and* .
- ANAC. (2015). ANAC. Consultado a 25 de Agosto de 2016 de from ANAC - Quem somos: <http://www.anac.pt/vPT/Generico/ANAC/QuemSomos/Paginas/QuemSomos.aspx>
- ANAC. (2010). Aprovação de Programas de Fiabilidade das Aeronaves. *Circular Técnica de Informação 10-03* .
- ANAC. (2008). Aprovação de Programas de Manutenção das Aeronaves 01-01. *Circular Técnica de Informação* .
- ANAC. (2014). Regulamento relativo à aeronavegabilidade permanente das aeronaves e dos produtos, peças e equipamentos. *Jornal Oficial da União Europeia* .
- Assis, R. (1997). *Manutenção Centrada na Fiabilidade*. Portugal: LIDEL.
- Bombardier. (2016). Issue 122. *Quarterly FRACAS Report Q400 Dash 8* .
- Chaplin, J. C. (2011). Safety Regulation - The First 100 Years. *Journal of Aeronautical History* , 75-96.
- Dhillon, B. S. (2002). *Engineering Maintenance - A Modern Approach*. CRC Press.
- Domitrović, A., Bazijanac, E., & Alić-Kosteajić, V. (2012 йил 2-Fevereiro). *maintworld*. Consultado a 28 de Abril de 2016 de Aircraft Reliability Programme: <http://www.maintworld.com/R-D/Aircraft-Reliability-Programme>
- EASA. (2016). EASA. Consultado a 25 de Agosto de 2016 de European Aviation Safety Agency: <https://www.easa.europa.eu/the-agency/the-agency>
- FAA. (2015). *FAA Aircraft Certification*. Consultado a 21 de Setembro de 2016 Airworthiness Directives and Service Bulletins: <http://www.faa-aircraft-certification.com/airworthiness-directives-and-service-bulletins.html>

- Fei, R. (2008). Economics of Reliability. In R. K. Mobley, L. R. Higgins, & D. J. Wikoff, *Maintenance Engineering Handbook* (pp. 209-224). McGraw-Hill.
- Franklin, S. (2008). Redefining Maintenance - Delivering Reliability. In R. K. Mobley, L. R. Higgins, & D. J. Wikoff, *Maintenance Engineering Handbook* (pp. 29-34). McGraw-Hill.
- Gdalevitch, M. (2000, Novembro). *Aviation Pros*. Consultado em Setembro de 2016 MSG-3, The Intelligent Maintenance: <http://www.aviationpros.com/article/10388498/msg-3-the-intelligent-maintenance>
- Georgiev, K. (2013). Implementation of Reliability Analysis of an. *International Conference on Military Technologies* .
- Hussain, M. (2003). What is Reliability Centered Maintenance? *A White Paper* , 1-7.
- IATA. (2016). *About IATA*. Consultado a 31 de Agosto de 2016 de <http://www.iata.org/about/pages/index.aspx>
- IATA. (2014). Airline Maintenance Cost - Executive Comentary. *IATA's Maintenance Cost Task Force* .
- IATA. (2016). *Annual Review 2016*. Dublin.
- IATA. (2015). MCTF FY2014 Data Preliminary Analysis. *Maintenance Cost Conference* .
- ICAO. (2016). *About ICAO*. Consultado a 25 de Agosto de 2016 de ICAO - Uniting Aviation: <http://www.icao.int/about-icao/Pages/default.aspx>
- Intergraph. (2006). Maintenance Steering Group-3 (MSG-3)-based Maintenance and Performance-based Planning and Logistics (PBP&L) Programs. *Security, Government & Infrastructure* .
- Kinisson, H. A. (2004). *Aviation Maintenance Management*. New York: McGraw-Hill.
- Kiyak, E. (2012). The Effects of Aircraft Preventive Maintenance. *International Journal of Applied Mathematics and Informatics* , 9-16.
- Maintenance Trainig Manual - Bombardier Aerospace. (2010). *Dash 8 Q-400* .
- Marušić, Ž., Galović, B., & Pita, O. (2015). Optimizing maintenance reliability program for small fleets. *Transport* , 174-177.
- Mobley, R. K. (2008). Corrective Maintenance. In R. K. Mobley, L. R. Higgins, & D. J. Wikoff, *Maintenance Engineering Handbook* (pp. 96-99). McGraw-Hill.
- Pham, H. (2006). System Reliability Concepts. In H. Pham, *System Software Reliability* (pp. 9-75). Springer.

SATA. (2016). Manual de Organização de Manutenção.

SATA. (2012). Programa de Fiabilidade Dash 8-402.

SATA. (2016). Programa de Manutenção de Aeronaves - PMA Dash 8-402.

SATA. (2013). SATA Breifpack.

Stalnaker, T., Usman, K., & Taylor, A. (2015). Airline Economic Analysis . *Raymond James Global Airline Book* .

Torell, W., & Avelar, V. (2010). Mean Time Between Failure: Explanation and Standards. *White Paper 78 - APC Schneider Electric* .

Verma, V., Gagliardi, F., & Ferretti, C. (2009). On pooling of data and measures. *Working Paper* .

Wikoff, D. (2008). Reliability-Centered Maintenance. In R. K. Mobley, L. R. Higgins, & D. J. Wikoff, *Maintenance Engineering Handbook* (pp. 128-132). McGraw-Hill.

Anexos

Anexo 1 - Cálculos Auxiliares

Para este cálculo utilizámos a fórmula geral da Fiabilidade (25) deduzida no capítulo anterior:

$$R(t) = e^{(-\sum \lambda_i * t)}$$

Através da tabela da Bombardir, conseguimos obter os vários valores de λ (última coluna da tabela):

$$\lambda_{29-11-21} = 1.72E-05$$

$$\lambda_{29-11-06} = 2.83E-05$$

$$\lambda_{29-11-01} = 9.45E-05$$

$$\lambda_{29-11-31} = 9.37E-06$$

$$\lambda_{29-11-46} = 3.45E-06$$

$$\lambda_{29-11-11} = 6.04E-06$$

O somatório das **taxas de falha λ** é igual a:

$$\begin{aligned} \sum_1^n \lambda_i &= \lambda_{29-11-21} + \lambda_{29-11-06} + \lambda_{29-11-01} + \lambda_{29-11-31} + \lambda_{29-11-46} + \lambda_{29-11-11} \\ &= 1.72 * 10^{-5} + 2.83 * 10^{-5} + 9.45 * 10^{-5} + 9.37 * 10^{-6} + 3.45 * 10^{-6} + 6.04 * 10^{-6} \\ &= 1.59 * 10^{-4} = 0.0001588206 \end{aligned}$$

A Fiabilidade do Sistema Hidráulico #2 para 1000 horas de operação fica:

$$\begin{aligned} R(1000)_{ATA29\#2} &= e^{(-0.0001588206 * 1000)} \\ &= 0.8531 \approx 85.31\% \end{aligned}$$

Para o Sistema Hidráulico No.1, como temos dois componentes em paralelo, a equação geral da fiabilidade é a seguinte:

$$R_{ATA29\#1} = R_{29-11-16} * R_{29-11-06} * (1 - (1 - R_{29-11-01}) * (1 - R_{29-11-36})) * R_{29-11-31} * R_{29-11-46} * R_{29-11-66} * R_{29-11-61}$$

Podemos calcular agora a Fiabilidade de cada um dos componentes utilizando a equação $R = e^{\left(\frac{-1000}{MTBF}\right)}$:

$$R_{29-11-16} = e^{\left(\frac{-1000}{28948}\right)} = 0.9660 \approx 96.60\%$$

$$R_{29-11-06} = e^{\left(\frac{-1000}{35311}\right)} = 0.9721 \approx 97.21\%$$

$$R_{29-11-01} = e^{\left(\frac{-1000}{10585.99}\right)} = 0.9099 \approx 90.99\%$$

$$R_{29-11-36} = e^{\left(\frac{-1000}{27665.59}\right)} = 0.9645 \approx 96.45\%$$

$$R_{29-11-31} = e^{\left(\frac{-1000}{106710}\right)} = 0.9907 \approx 99.07\%$$

$$R_{29-11-46} = e^{\left(\frac{-1000}{289565}\right)} = 0.9966 \approx 99.66\%$$

$$R_{29-11-66} = e^{\left(\frac{-1000}{27860}\right)} = 0.9647 \approx 96.47\%$$

$$R_{29-11-61} = e^{\left(\frac{-1000}{24578.02}\right)} = 0.9601 \approx 96.01\%$$

Logo,

$$R_{ATA29\#1} = 0.9660 * 0.9721 * (1 - (1 - 0.9099) * (1 - 0.9645)) *$$

$$0.9907 * 0.9966 * 0.9647 * 0.9601$$

$$R_{ATA29\#1} = 0.8560 \approx 85.60\%$$

$$R_{ATA29TOTAL} = (1 - (1 - R_{ATA29\#2}) * (1 - R_{ATA29\#1}))$$

$$R_{ATA29TOTAL} = (1 - (1 - 0.8531) * (1 - 0.8560))$$

$$R_{ATA29TOTAL} = 0.9789 \approx 97.89\%$$

ATA32

Sistema de extensão alternativo

A equação geral do sistema em série é a seguinte:

Nota: Por insuficiência de dados, considerou-se a Fiabilidade do Reservatório de Emergência igual a 100%.

$$R_{ATA32EMER.} = R_{32-34-26} * R_{EMER.RES.} * R_{29-21-01} * R_{29-21-06} * R_{32-34-06}$$

Calculando a Fiabilidade de cada um dos componentes utilizando a equação $R = e^{\left(\frac{-1000}{MTBF}\right)}$:

$$R_{32-34-26} = e^{\left(\frac{-1000}{161121}\right)} = 0.9938 \approx 99.38\%$$

$$R_{EMER.RES.} = 1 = 100\%$$

$$R_{29-21-01} = e^{\left(\frac{-1000}{194910.77}\right)} = 0.9949 \approx 99.49\%$$

$$R_{29-21-06} = e^{\left(\frac{-1000}{97518}\right)} = 0.9898 \approx 98.98\%$$

$$R_{32-34-06} = e^{\left(\frac{-1000}{66005.88}\right)} = 0.9849 \approx 98.49\%$$

Então,

$$R_{ATA32EMER.} = 0.9938 * 1 * 0.9949 * 0.9898 * 0.9849$$

$$R_{ATA32EMER.} = 0.9639 \approx 96.39\%$$

Caulculemos agora a Fiabilidade para o sistema de extensão principal, onde se inclui em série a extensão do trem principal da direita, trem principal da esquerda e trem do nariz. Assim sendo, fica:

$$R_{ATA32MAIN} = R_{32-31-01} * R_{32-60-01} * R_{32-31-06} * R_{32-31-26} * R_{32-61-06} * R_{32-31-36} * R_{32-31-20} * R_{32-31-11} *$$

$$R_{32-11-16} * (1 - (1 - R_{32-61-06}) * (1 - R_{32-61-06})) * R_{32-31-41} * R_{32-31-01} * R_{32-60-01} * R_{32-31-06} *$$

$$R_{32-31-26} * R_{32-61-06} * R_{32-31-36} * R_{32-31-20} * R_{32-31-11} * R_{32-11-16} * (1 - (1 - R_{32-61-06}) * (1 - R_{32-61-06})) *$$

$$R_{32-31-41} * R_{32-31-56} * R_{32-31-66} * R_{32-31-51} * R_{32-31-46} * R_{32-61-06} * R_{32-61-06} * R_{32-31-41}$$

Aplicando a mesma forma para o cálculo da Fiabilidade que anteriormente $R = e^{\left(\frac{-1000}{MTBF}\right)}$, ficamos com:

$$R_{32-31-01} = e^{\left(\frac{-1000}{9644.27}\right)} = 0.90150 \approx 90.15\%$$

$$R_{32-61-01} = e^{\left(\frac{-1000}{47725.93}\right)} = 0.9793 \approx 97.93\%$$

$$R_{32-31-06} = e^{\left(\frac{-1000}{51840.08}\right)} = 0.9809 \approx 98.09\%$$

$$R_{32-31-26} = e^{\left(\frac{-1000}{129816.60}\right)} = 0.9923 \approx 99.23\%$$

$$R_{32-61-06} = e^{\left(\frac{-1000}{318990.86}\right)} = 0.9969 \approx 99.69\%$$

$$R_{32-31-36} = e^{\left(\frac{-1000}{81205.82}\right)} = 0.9878 \approx 98.78\%$$

$$R_{32-31-20} = e^{\left(\frac{-1000}{57385.85}\right)} = 0.9983 \approx 99.83\%$$

$$R_{32-31-11} = e^{\left(\frac{-1000}{49465.66}\right)} = 0.9799 \approx 97.99\%$$

$$R_{32-11-16} = e^{\left(\frac{-1000}{510564}\right)} = 0.9980 \approx 99.80\%$$

$$R_{32-31-41} = e^{\frac{-1000}{93941.46}} = 0,9894 \approx 98.94\%$$

$$R_{32-31-56} = e^{\frac{-1000}{36015.64}} = 0,9726 \approx 97.26\%$$

$$R_{32-31-66} = e^{\frac{-1000}{350562.82}} = 0,9972 \approx 99.72\%$$

$$R_{32-31-51} = e^{\frac{-1000}{38560.74}} = 0,9744 \approx 97.44\%$$

$$R_{32-31-46} = e^{\frac{-1000}{103678}} = 0,9904 \approx 99.04\%$$

Logo,

$$\begin{aligned} R_{ATA32MAIN} &= 0,9015 * 0,9793 * 0,9809 * 0,9923 * 0,9969 * \\ & 0,9878 * 0,9983 * 0,9800 * 0,9980 * \\ & (1 - (1 - 0,9969) * (1 - 0,9969)) * 0,9894 * 0,9015 * 0,9793 * \\ & 0,9809 * 0,9923 * 0,9969 * 0,9878 * 0,9983 * \\ & 0,9800 * 0,9980 * (1 - (1 - 0,9969) * (1 - 0,9969)) * \\ & 0,9894 * 0,9726 * 0,9972 * 0,9744 * 0,9904 * 0,9969 * \\ & 0,9969 * 0,9894 \end{aligned}$$

$$R_{ATA32MAIN} = 0.6880 = 68.80\%$$

$$R_{ATA32TOTAL} = (1 - (1 - R_{ATA32EMER.}) * (1 - R_{ATA32MAIN}))$$

$$R_{ATA32TOTAL} = (1 - (1 - 0.9639) * (1 - 0.6880))$$

$$R_{ATA32TOTAL} = 0.9887 \approx 98.87\%$$

ATA29 e ATA32 TARGET

De seguida serão calculados os valores Alvo de Fiabilidade, tendo em consideração os valores de MTBUR TARGET retirados do relatório FRACAS da Bombardier. Os métodos e equações utilizadas neste passo são exatamente as mesmas que no anterior, por este motivo são só mostrados os valores finais.

$$R_{ATA29\#1TARGET} = 0,8749 \approx 87.49\%$$

$$R_{ATA29\#2TARGET} = 0,8413 \approx 84.13\%$$

$$R_{ATA29TOTALTARGET} = (1 - (1 - R_{ATA29\#2TARGET}) * (1 - R_{ATA29\#1TARGET}))$$

$$R_{ATA29TOTALTARGET} = 0,9801 \approx 98.01\%$$

$$R_{ATA32EMER.TARGET} = 0,9552 \approx 95.52\%$$

Fiabilidade Técnica de Sistemas e Aeronaves

$$R_{ATA32MAINTARGET}=0,6733\approx 67.33\%$$

$$R_{ATA32TOTALTARGET}=(1-(1-R_{ATA32EMER.TARGET})*(1-R_{ATA32MAINTARGET}))$$

$$R_{ATA32TOTALTARGET}=0,9854\approx 98.54\%$$

Anexo 2 - Dados Bombardier (Quadro Resumo)

Todos os dados abaixo apresentados (exceto os de 'Fiabilidade' e 'Fiabilidade TARGET' que foram calculados na realização deste trabalho) foram fornecido pela bombardier, sendo que os dados alvo foram retirados do FRACAS Report do ano de 2015 sendo este fornecido à SATA trimestralmente.

Sendo que as fórmulas (3), (24) e (25) utilizadas para este cálculo foram apresentadas no trabalho:

Para o cálculo do MTBF:

$$MTBF = \frac{MTBUR}{1 - NFF} \quad (3)$$

Para calcular a Fiabilidade em Falhas por hora:

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad (24)$$

E por fim, para calcular a Fiabilidade e a Fiabilidade TARGET:

$$R(t) = e^{(-\sum \lambda_i * t)} \quad (25)$$

ATA 29 - Sistema Hidráulico

ATA Description	MTBUR (hours)	Target MTBUR (hours)	NFF Rate	MTBF (hours)	Reliability (failures per hour)	Target Reliability (failures per hour)	Fiabilidade	Fiabilidade TARGET
291101 PUMP, HYD. ENGINE DRIVEN (EDP)	10279	14400	0,0290	10585,99	9,45E-05	6,94E-05	0,9098600868	0,9329119604
291106 VALVE ASSY, FIREWALL SOV	35311	306000	0,0000	35311,00	2,83E-05	3,27E-06	0,9720774593	0,9967373602
291111 VALVE, ISOLATION, HYDRAULIC	165643	95000	0,0000	165643,00	6,04E-06	1,05E-05	0,9939811068	0,9895288920
291116 RESERVOIR ASSY #1, HYDRAULIC	28948	45900	0,0000	28948,00	3,45E-05	2,18E-05	0,9660451557	0,9784491191
291121 RESERVOIR ASSY #2, HYDRAULIC	45998	45900	0,2100	58225,32	1,72E-05	2,18E-05	0,9829719840	0,9784491191
291131 MANIFOLD ASSY, FILTER, HYDRAULIC	106710	21000	0,0000	106710,00	9,37E-06	4,76E-05	0,9906725798	0,9534969548
291136 STANDBY POWER UNIT, HYD (SPU)	25729	26700	0,0700	27665,59	3,61E-05	3,75E-05	0,9644994826	0,9632395121
291146 VALVE, BYPASS, HEAT EXCHANGER	289565	49700	0,0000	289565,00	3,45E-06	2,01E-05	0,9965525003	0,9800803466
291161 POWER TRANSFER UNIT, HYD (PTU)	22366	53550	0,0900	24578,02	4,07E-05	1,87E-05	0,9601298371	0,9814991451
291166 VALVE, PTU, SELECT, HYDRAULIC	27860	50700	0,0000	27860,00	3,59E-05	1,97E-05	0,9647427876	0,9804693770
292101 PUMP, HAND, HYD	126692	200000	0,3500	194910,77	5,13E-06	5,00E-06	0,9948825860	0,9950124792
292106 VALVE, SELECTOR, SECONDARY, MLG*	97518	181000	0,0000	97518,00	1,03E-05	5,52E-06	0,9897978812	0,9944903721

ATA 32 - Trem de Aterragem

ATA Description	MTBUR (hours)	Target MTBUR (hours)	NFF Rate	MTBF (hours)	Reliability (failures per hour)	Target Reliability (failures per hour)	Fiabilidade	Fiabilidade TARGET
321116 STABILIZER STRUT	510564	90000	0,0000	510564,00	1,96E-06	1,11E-05	0,9980432985	0,9889503893
323101 PANEL -LANDING GEAR CONTROL	9162	13000	0,0500	9644,21	1,04E-04	7,69E-05	0,9015054861	0,9259610786
323106 VALVE, SELECTOR LG	44541	67500	0,1408	51840,08	1,93E-05	1,48E-05	0,9808947710	0,9852943846
323111 RETRACTION ACTUATOR ASSY	37955	40500	0,2327	49465,66	2,02E-05	2,47E-05	0,9799869288	0,9756109801
323120 UPLOCK ASSY	51280	38250	0,1064	57385,85	1,74E-05	2,61E-05	0,9827250558	0,9741949992
323126 MLG DOOR ACTUATOR ASSY	92728	90000	0,2857	129816,60	7,70E-06	1,11E-05	0,9923264185	0,9889503893
323136 VALVE, MECH SEQ, MLG	65257	450000	0,1964	81205,82	1,23E-05	2,22E-06	0,9877611241	0,9977802451
323141 VALVE, SOLENOID SEQUENCE	59371	112500	0,3680	93941,46	1,06E-05	8,89E-06	0,9894115291	0,9911505005
323146 ACTUATOR RETRACTION NLG	51839	40500	0,5000	103678,00	9,65E-06	2,47E-05	0,9904011184	0,9756109801
323151 ACTUATOR LOCK NLG	32472	42500	0,1579	38560,74	2,59E-05	2,35E-05	0,9744002635	0,9767452464
323156 ACTUATOR NLG FWD DOORS	27181	90000	0,2453	36015,64	2,78E-05	1,11E-05	0,9726162059	0,9889503893
323166 VALVE, MECH SEQ, NLG	292124	450000	0,1667	350562,82	2,85E-06	2,22E-06	0,9971515089	0,9977802451
323406 ACTUATOR ALTERNATE EXTENSION	53907	34400	0,1833	66005,88	1,52E-05	2,91E-05	0,9849640204	0,9713486936
323426 CAM MECHANISM ASSY	161121	161121	0,0000	161121,00	6,21E-06	6,21E-06	0,9938127050	0,9938127050
326101 LG PSEU	12886	18000	0,7300	47725,93	2,10E-05	5,56E-05	0,9792650161	0,9459594689
326106 LG PROXIMITY SENSOR	279117	425000	0,1250	318990,86	3,13E-06	2,35E-06	0,9968700225	0,9976498248

Anexo 3 - Capítulos ATA (iSPEC2200)

AIRCRAFT GENEREL			
5	Time Limits/Misc. Chks.		
6	Dimensions and Areas		
7	Lifting and Shoring		
8	Leveling and Weighing		
9	Towing and Taxiing		
10	Parking and Mooring		
11	Placards and Markings		
12	Servicing		
AIRFRAME SYSTEMS			
20	Standard Pract. Airframe	32	Landing Gear
21	Air Conditioning	33	Lights
22	Auto Flight	34	Navigation
23	Communications	35	Oxygen
24	Electrical Power	36	Pneumatic
25	Equipment/Furnishings	37	Vacuum
26	Fire Protection	38	Water/Waste
27	Flight Controls	41	Water Ballast
28	Fuel	45	Central Maint. System
29	Hydraulic Power	46	Information System
30	Ice and Rain Protection	49	Airborne Aux. Power.
31	Ind/Recording Systems		

STRUCTURE			
51	Standard Pract. And Structures	55	Stabilizers
52	Doors	56	Windows
53	Fuselage	57	Wings
54	Nacelles/Pylons		

PROPELLER/ROTOR			
60	Standard Pract. Prop/Rotor	64	Tail Rotor
61	Propellers	65	Trail Rotor Drive

Fiabilidade Técnica de Sistemas e Aeronaves

62	Rotor(s)	66	Folding Blades Pylon
63	Rotor Drives(s)	67	Rotors Flight Control

POWERPLANT			
70	Standard Practices-Engine	78	Exhaust
71	Powerplant	79	Oil
72	Engine	80	Starting
73	Engine Fuel and Control	81	Turbines
74	Ignition	82	Water Injection
75	Air	83	Acessory Gearboxes
76	Engine Controls	84	Propulsion Augmentation
77	Engine Indicating	91	Charts

Anexo 4 - Dados SATA (1)

ARCDU 23-81-01

Months	Fleet Hours	Removals	12-Month URR	Alert Level metodo#1	Alert Level metodo#2	URR Average
Jan-13	291	1				
Fev-13	259	0				
Mar-13	287	0				
Abr-13	378	0				
Mai-13	381	0				
Jun-13	428	0				
Jul-13	641	2				
Ago-13	656	0				
Set-13	468	1				
Out-13	390	0				
Nov-13	279	1				
Dez-13	293	0				
Jan-14	284	0	0,4216			
Fev-14	244	0	0,4229			
Mar-14	274	0	0,4241			
Abr-14	407	1	0,5269			
Mai-14	416	0	0,5230			
Jun-14	460	2	0,7273			
Jul-14	621	1	0,6260			
Ago-14	625	0	0,6301			
Set-14	462	0	0,5258			
Out-14	370	0	0,5280			
Nov-14	273	1	0,5287			
Dez-14	295	0	0,5284			
Jan-15	302	0	0,5264	0,7178	0,8095	0,4740
Fev-15	264	0	0,5242	0,7178	0,8095	0,4736
Mar-15	306	3	0,8332	0,7178	0,8095	0,6286
Abr-15	358	1	0,8418	0,7178	0,8095	0,6843
Mai-15	387	1	0,9528	0,7178	0,8095	0,7379
Jun-15	441	1	0,8503	0,7178	0,8095	0,7888
Jul-15	616	0	0,7448	0,7178	0,8095	0,6854

Fiabilidade Técnica de Sistemas e Aeronaves

Ago-15	646	0	0,7415	0,7178	0,8095	0,6858
Set-15	500	1	0,8407	0,7178	0,8095	0,6832
Out-15	414	0	0,8330	0,7178	0,8095	0,6805
Nov-15	315	3	1,0322	0,7178	0,8095	0,7804
Dez-15	290	1	1,1366	0,7178	0,8095	0,8325

BREWER, COFFEE 25-32-06

Months	Fleet Hours	Removals	12-Month URR	Alert Level #1	Alert Level #2	URR Average
Jan-13	291	0	0,0000			
Fev-13	259	1	0,2021			
Mar-13	287	1	0,4063			
Abr-13	378	1	0,6182			
Mai-13	381	0	0,6316			
Jun-13	428	1	0,8451			
Jul-13	641	0	0,8419			
Ago-13	656	0	0,8368			
Set-13	468	0	0,8395			
Out-13	390	0	0,8435			
Nov-13	279	0	0,8446			
Dez-13	293	0	0,8419			
Jan-14	284	0	0,8432			
Fev-14	244	0	0,6344			
Mar-14	274	1	0,6361			
Abr-14	407	1	0,6322			
Mai-14	416	0	0,6276			
Jun-14	460	0	0,4156			
Jul-14	621	0	0,4174			
Ago-14	625	0	0,4201			
Set-14	462	0	0,4206			
Out-14	370	0	0,4224			
Nov-14	273	0	0,4229			
Dez-14	295	1	0,6341			
Jan-15	302	0	0,6317	0,8278	0,9697	0,7374
Fev-15	264	1	0,8388	0,8278	0,9697	0,7366

Fiabilidade Técnica de Sistemas e Aeronaves

Mar-15	306	0	0,6249	0,8278	0,9697	0,6305
Abr-15	358	0	0,4209	0,8278	0,9697	0,5266
Mai-15	387	1	0,6352	0,8278	0,9697	0,6314
Jun-15	441	0	0,6378	0,8278	0,9697	0,5267
Jul-15	616	0	0,6384	0,8278	0,9697	0,5279
Ago-15	646	0	0,6356	0,8278	0,9697	0,5278
Set-15	500	0	0,6305	0,8278	0,9697	0,5256
Out-15	414	0	0,6247	0,8278	0,9697	0,5236
Nov-15	315	2	1,0322	0,8278	0,9697	0,7276
Dez-15	290	0	0,8266	0,8278	0,9697	0,7304

EXCITER-IGNITION 74-11-01

Months	Fleet Hours	Removals	12-Month URR	Alert Level #1	Alert Level #2	URR Average
Jan-13	291	1	0,1008			
Fev-13	259	0	0,1011			
Mar-13	287	0	0,1016			
Abr-13	378	1	0,2061			
Mai-13	381	0	0,2105			
Jun-13	428	0	0,2113			
Jul-13	641	1	0,3157			
Ago-13	656	0	0,3138			
Set-13	468	0	0,3148			
Out-13	390	0	0,3163			
Nov-13	279	0	0,3167			
Dez-13	293	0	0,3157			
Jan-14	284	1	0,3162			
Fev-14	244	1	0,4229			
Mar-14	274	1	0,5301			
Abr-14	407	0	0,4215			
Mai-14	416	0	0,4184			
Jun-14	460	0	0,4156			
Jul-14	621	0	0,3130			
Ago-14	625	0	0,3151			
Set-14	462	1	0,4206			

Fiabilidade Técnica de Sistemas e Aeronaves

Out-14	370	0	0,4224			
Nov-14	273	0	0,4229			
Dez-14	295	0	0,4227			
Jan-15	302	1	0,4211	0,5272	0,5891	0,3687
Fev-15	264	2	0,5242	0,5272	0,5891	0,4736
Mar-15	306	0	0,4166	0,5272	0,5891	0,4733
Abr-15	358	0	0,4209	0,5272	0,5891	0,4212
Mai-15	387	1	0,5293	0,5272	0,5891	0,4739
Jun-15	441	1	0,6378	0,5272	0,5891	0,5267
Jul-15	616	0	0,6384	0,5272	0,5891	0,4757
Ago-15	646	0	0,6356	0,5272	0,5891	0,4753
Set-15	500	1	0,6305	0,5272	0,5891	0,5256
Out-15	414	1	0,7289	0,5272	0,5891	0,5756
Nov-15	315	1	0,8258	0,5272	0,5891	0,6243
Dez-15	290	0	0,8266	0,5272	0,5891	0,6247

FUEL HEATER THERMAL VALVE 73-11-03

Months	Fleet Hours	Removals	12-Month URR	Alert Level #1	Alert Level #2	URR Average
Jan-13	291	0	0,0000			
Fev-13	259	0	0,0000			
Mar-13	287	0	0,0000			
Abr-13	378	0	0,0000			
Mai-13	381	1	0,1053			
Jun-13	428	4	0,5282			
Jul-13	641	0	0,5262			
Ago-13	656	1	0,6276			
Set-13	468	1	0,7345			
Out-13	390	1	0,8435			
Nov-13	279	0	0,8446			
Dez-13	293	0	0,8419			
Jan-14	284	0	0,8432			
Fev-14	244	0	0,8458			
Mar-14	274	0	0,8482			
Abr-14	407	0	0,8430			

Fiabilidade Técnica de Sistemas e Aeronaves

Mai-14	416	0	0,7322			
Jun-14	460	3	0,6234			
Jul-14	621	0	0,6260			
Ago-14	625	2	0,7351			
Set-14	462	0	0,6309			
Out-14	370	0	0,5280			
Nov-14	273	1	0,6344			
Dez-14	295	0	0,6341			
Jan-15	302	0	0,6317	0,9356	1,0482	0,7374
Fev-15	264	0	0,6291	0,9356	1,0482	0,7375
Mar-15	306	0	0,6249	0,9356	1,0482	0,7365
Abr-15	358	0	0,6313	0,9356	1,0482	0,7372
Mai-15	387	0	0,6352	0,9356	1,0482	0,6837
Jun-15	441	1	0,4252	0,9356	1,0482	0,5243
Jul-15	616	4	0,8512	0,9356	1,0482	0,7386
Ago-15	646	2	0,8475	0,9356	1,0482	0,7913
Set-15	500	1	0,9458	0,9356	1,0482	0,7883
Out-15	414	0	0,9371	0,9356	1,0482	0,7325
Nov-15	315	0	0,8258	0,9356	1,0482	0,7301
Dez-15	290	0	0,8266	0,9356	1,0482	0,7304

VHF TRANSCEIVER 23-11-01

Months	Fleet Hours	Removals	12-Month URR	Alert Level #1	Alert Level #2	URR Average
Jan-13	291	1	0,1008			
Fev-13	259	0	0,1011			
Mar-13	287	0	0,1016			
Abr-13	378	0	0,1030			
Mai-13	381	0	0,1053			
Jun-13	428	0	0,1056			
Jul-13	641	1	0,2105			
Ago-13	656	0	0,2092			
Set-13	468	0	0,2099			
Out-13	390	2	0,4218			
Nov-13	279	0	0,4223			

Fiabilidade Técnica de Sistemas e Aeronaves

Dez-13	293	0	0,4210			
Jan-14	284	0	0,3162			
Fev-14	244	1	0,4229			
Mar-14	274	0	0,4241			
Abr-14	407	0	0,4215			
Mai-14	416	0	0,4184			
Jun-14	460	0	0,4156			
Jul-14	621	0	0,3130			
Ago-14	625	0	0,3151			
Set-14	462	2	0,5258			
Out-14	370	0	0,3168			
Nov-14	273	2	0,5287			
Dez-14	295	0	0,5284			
Jan-15	302	1	0,6317	0,5806	0,6648	0,4740
Fev-15	264	0	0,5242	0,5806	0,6648	0,4736
Mar-15	306	3	0,8332	0,5806	0,6648	0,6286
Abr-15	358	1	0,9470	0,5806	0,6648	0,6842
Mai-15	387	0	0,9528	0,5806	0,6648	0,6856
Jun-15	441	0	0,9566	0,5806	0,6648	0,6861
Jul-15	616	2	1,1705	0,5806	0,6648	0,7417
Ago-15	646	1	1,2712	0,5806	0,6648	0,7931
Set-15	500	0	1,0509	0,5806	0,6648	0,7883
Out-15	414	0	1,0412	0,5806	0,6648	0,6790
Nov-15	315	0	0,8258	0,5806	0,6648	0,6772
Dez-15	290	0	0,8266	0,5806	0,6648	0,6775

VALVE - INTERSTAGE BLEED. P2.2 75-31-11

Months	Fleet Hours	Removals	12-Month URR	Alert Level #1	Alert Level #2	URR Average
Jan-13	291	0	0,0000			
Fev-13	259	0	0,0000			
Mar-13	287	0	0,0000			
Abr-13	378	0	0,0000			
Mai-13	381	1	0,1053			
Jun-13	428	1	0,2113			

Fiabilidade Técnica de Sistemas e Aeronaves

Jul-13	641	0	0,2105			
Ago-13	656	0	0,2092			
Set-13	468	0	0,2099			
Out-13	390	0	0,2109			
Nov-13	279	0	0,2111			
Dez-13	293	0	0,2105			
Jan-14	284	0	0,2108			
Fev-14	244	0	0,2115			
Mar-14	274	0	0,2120			
Abr-14	407	0	0,2107			
Mai-14	416	0	0,1046			
Jun-14	460	0	0,0000			
Jul-14	621	1	0,1043			
Ago-14	625	0	0,1050			
Set-14	462	0	0,1052			
Out-14	370	0	0,1056			
Nov-14	273	1	0,2115			
Dez-14	295	1	0,3171			
Jan-15	302	0	0,3159	0,3272	0,4117	0,2633
Fev-15	264	0	0,3145	0,3272	0,4117	0,2630
Mar-15	306	0	0,3124	0,3272	0,4117	0,2622
Abr-15	358	0	0,3157	0,3272	0,4117	0,2632
Mai-15	387	0	0,3176	0,3272	0,4117	0,2111
Jun-15	441	0	0,3189	0,3272	0,4117	0,1594
Jul-15	616	3	0,5320	0,3272	0,4117	0,3182
Ago-15	646	0	0,5297	0,3272	0,4117	0,3173
Set-15	500	1	0,6305	0,3272	0,4117	0,3678
Out-15	414	2	0,8330	0,3272	0,4117	0,4693
Nov-15	315	0	0,7225	0,3272	0,4117	0,4670
Dez-15	290	1	0,7233	0,3272	0,4117	0,5202

DC STARTER GENERATOR 24-31-01

Months	Fleet Hours	Unsched. Removals	12-Month URR	Alert Level #1	Alert Level #2	URR Average
Jan-13	291	0	0,0000			

Fiabilidade Técnica de Sistemas e Aeronaves

Fev-13	259	0	0,0000			
Mar-13	287	0	0,0000			
Abr-13	378	0	0,0000			
Mai-13	381	0	0,0000			
Jun-13	428	2	0,2113			
Jul-13	641	1	0,3157			
Ago-13	656	0	0,3138			
Set-13	468	0	0,3148			
Out-13	390	0	0,3163			
Nov-13	279	0	0,3167			
Dez-13	293	0	0,3157			
Jan-14	284	0	0,3162			
Fev-14	244	1	0,4229			
Mar-14	274	0	0,4241			
Abr-14	407	0	0,4215			
Mai-14	416	0	0,4184			
Jun-14	460	0	0,2078			
Jul-14	621	2	0,3130			
Ago-14	625	0	0,3151			
Set-14	462	0	0,3155			
Out-14	370	0	0,3168			
Nov-14	273	0	0,3172			
Dez-14	295	0	0,3171			
Jan-15	302	0	0,3159	0,4746	0,5408	0,3160
Fev-15	264	0	0,2097	0,4746	0,5408	0,3163
Mar-15	306	2	0,4166	0,4746	0,5408	0,4203
Abr-15	358	0	0,4209	0,4746	0,5408	0,4212
Mai-15	387	0	0,4235	0,4746	0,5408	0,4209
Jun-15	441	0	0,4252	0,4746	0,5408	0,3165
Jul-15	616	0	0,2128	0,4746	0,5408	0,2629
Ago-15	646	1	0,3178	0,4746	0,5408	0,3164
Set-15	500	1	0,4203	0,4746	0,5408	0,3679
Out-15	414	0	0,4165	0,4746	0,5408	0,3666
Nov-15	315	1	0,5161	0,4746	0,5408	0,4166
Dez-15	290	1	0,6200	0,4746	0,5408	0,4685

VALVE ASSEMBLY - FLOW DIVIDER 73-11-11

Months	Fleet Hours	Removals	12-Month URR	Alert Level #1	Alert Level #2	URR Average
Jan-13	291	0	0,0000			
Fev-13	259	0	0,0000			
Mar-13	287	0	0,0000			
Abr-13	378	0	0,0000			
Mai-13	381	0	0,0000			
Jun-13	428	0	0,0000			
Jul-13	641	1	0,1052			
Ago-13	656	0	0,1046			
Set-13	468	1	0,2099			
Out-13	390	0	0,2109			
Nov-13	279	0	0,2111			
Dez-13	293	0	0,2105			
Jan-14	284	0	0,2108			
Fev-14	244	0	0,2115			
Mar-14	274	0	0,2120			
Abr-14	407	0	0,2107			
Mai-14	416	0	0,2092			
Jun-14	460	0	0,2078			
Jul-14	621	0	0,1043			
Ago-14	625	0	0,1050			
Set-14	462	0	0,0000			
Out-14	370	0	0,0000			
Nov-14	273	0	0,0000			
Dez-14	295	1	0,1057			
Jan-15	302	0	0,1053	0,3136	0,4047	0,1580
Fev-15	264	0	0,1048	0,3136	0,4047	0,1582
Mar-15	306	0	0,1041	0,3136	0,4047	0,1581
Abr-15	358	5	0,6313	0,3136	0,4047	0,4210
Mai-15	387	0	0,6352	0,3136	0,4047	0,4222
Jun-15	441	1	0,7440	0,3136	0,4047	0,4759
Jul-15	616	0	0,7448	0,3136	0,4047	0,4246
Ago-15	646	0	0,7415	0,3136	0,4047	0,4233
Set-15	500	0	0,7356	0,3136	0,4047	0,3678

Fiabilidade Técnica de Sistemas e Aeronaves

Out-15	414	0	0,7289	0,3136	0,4047	0,3644
Nov-15	315	0	0,7225	0,3136	0,4047	0,3613
Dez-15	290	0	0,6200	0,3136	0,4047	0,3628

FUEL METERING UNIT 73-21-06

Months	Fleet Hours	Removals	12-Month URR	Alert Level #1	Alert Level #2	URR Average
Jan-13	291	0	0,0000			
Fev-13	259	0	0,0000			
Mar-13	287	0	0,0000			
Abr-13	378	0	0,0000			
Mai-13	381	0	0,0000			
Jun-13	428	0	0,0000			
Jul-13	641	1	0,1052			
Ago-13	656	0	0,1046			
Set-13	468	1	0,2099			
Out-13	390	0	0,2109			
Nov-13	279	0	0,2111			
Dez-13	293	0	0,2105			
Jan-14	284	1	0,3162			
Fev-14	244	0	0,3172			
Mar-14	274	0	0,3181			
Abr-14	407	0	0,3161			
Mai-14	416	0	0,3138			
Jun-14	460	0	0,3117			
Jul-14	621	0	0,2087			
Ago-14	625	0	0,2100			
Set-14	462	0	0,1052			
Out-14	370	0	0,1056			
Nov-14	273	0	0,1057			
Dez-14	295	1	0,2114			
Jan-15	302	0	0,1053	0,4186	0,5096	0,2107
Fev-15	264	0	0,1048	0,4186	0,5096	0,2110
Mar-15	306	0	0,1041	0,4186	0,5096	0,2111
Abr-15	358	2	0,3157	0,4186	0,5096	0,3159

Fiabilidade Técnica de Sistemas e Aeronaves

Mai-15	387	0	0,3176	0,4186	0,5096	0,3157
Jun-15	441	1	0,4252	0,4186	0,5096	0,3684
Jul-15	616	1	0,5320	0,4186	0,5096	0,3704
Ago-15	646	0	0,5297	0,4186	0,5096	0,3699
Set-15	500	0	0,5254	0,4186	0,5096	0,3153
Out-15	414	0	0,5206	0,4186	0,5096	0,3131
Nov-15	315	0	0,5161	0,4186	0,5096	0,3109
Dez-15	290	0	0,4133	0,4186	0,5096	0,3123

DISPLAY UNIT 31-61-01

Months	Fleet Hours	Unsched. Removals	12-Month URR	Alert Level #1	Alert Level #2	URR Average
Jan-13	291	1				
Fev-13	259	2	0,1213			
Mar-13	287	2	0,2031			
Abr-13	378	0	0,2061			
Mai-13	381	1	0,2526			
Jun-13	428	0	0,2535			
Jul-13	641	1	0,2947			
Ago-13	656	0	0,2929			
Set-13	468	0	0,2938			
Out-13	390	2	0,3796			
Nov-13	279	0	0,3801			
Dez-13	293	1	0,4210			
Jan-14	284	2	0,4637			
Fev-14	244	1	0,4229			
Mar-14	274	0	0,3393			
Abr-14	407	1	0,3793			
Mai-14	416	2	0,4184			
Jun-14	460	2	0,4988			
Jul-14	621	0	0,4591			
Ago-14	625	1	0,5041			
Set-14	462	1	0,5468			
Out-14	370	0	0,4646			
Nov-14	273	1	0,5075			

Fiabilidade Técnica de Sistemas e Aeronaves

Dez-14	295	1	0,5073			
Jan-15	302	0	0,4211	0,5795	0,6395	0,4424
Fev-15	264	3	0,5033	0,5795	0,6395	0,4631
Mar-15	306	1	0,5416	0,5795	0,6395	0,4404
Abr-15	358	0	0,5051	0,5795	0,6395	0,4422
Mai-15	387	1	0,4658	0,5795	0,6395	0,4421
Jun-15	441	2	0,4677	0,5795	0,6395	0,4832
Jul-15	616	1	0,5107	0,5795	0,6395	0,4849
Ago-15	646	1	0,5085	0,5795	0,6395	0,5063
Set-15	500	0	0,4624	0,5795	0,6395	0,5046
Out-15	414	0	0,4581	0,5795	0,6395	0,4614
Nov-15	315	0	0,4129	0,5795	0,6395	0,4602
Dez-15	290	0	0,3720	0,5795	0,6395	0,4396

Anexo 5 - Dados SATA (2) - Remoções em 2015

Aircraft Registration Number	Removal Date	QPA	Removed LRU Description	ATA	Removed LRU Manufacturer Part No	Qty removed (jan15 - dez15)	URR em dez-2015 (12 Mths)	MTBUR em dez-2015 (12 Mths)
CS-TRE	07-03-2015	2	PANEL ASSY, AUDIO, RADIO CTL	23	CDU3933AE05	11	1,136	880
CS-TRE	07-03-2015	2	PANEL ASSY, AUDIO, RADIO CTL	23	CDU3933AE05	11	1,136	880
CS-TRG	14-03-2015	2	PANEL ASSY, AUDIO, RADIO CTL	23	CDU3933AG05	11	1,136	880
CS-TRD	29-04-2015	2	PANEL ASSY, AUDIO, RADIO CTL	23	CDU3933AG05	11	1,136	880
CS-TRG	29-05-2015	2	PANEL ASSY, AUDIO, RADIO CTL	23	CDU3933AE05	11	1,136	880
CS-TRG	17-06-2015	2	PANEL ASSY, AUDIO, RADIO CTL	23	CDU3933AE05	11	1,136	880
CS-TRD	03-09-2015	2	PANEL ASSY, AUDIO, RADIO CTL	23	CDU3933AG05	11	1,136	880
CS-TRE	05-11-2015	2	PANEL ASSY, AUDIO, RADIO CTL	23	CDU3933AG05	11	1,136	880
CS-TRD	15-11-2015	2	PANEL ASSY, AUDIO, RADIO CTL	23	CDU3933AG05	11	1,136	880
CS-TRD	16-11-2015	2	PANEL ASSY, AUDIO, RADIO CTL	23	CDU3933AG05	11	1,136	880
CS-TRD	15-12-2015	2	PANEL ASSY, AUDIO, RADIO CTL	23	CDU3933AG05	11	1,136	880
CS-TRD	18-02-2015	1	BREWER, COFFEE	25	400-1794-02	4	0,826	1210
CS-TRE	11-05-2015	1	BREWER, COFFEE	25	400-1794-02	4	0,826	1210
CS-TRE	01-11-2015	1	BREWER, COFFEE	25	400-1794-02	4	0,826	1210
CS-TRG	21-11-2015	1	BREWER, COFFEE	25	400-1794-02	4	0,826	1210
CS-TRG	14-01-2015	2	EXCITER, IGNITION	74	CH92043-3	8	0,826	1210
CS-TRE	09-02-2015	2	EXCITER, IGNITION	74	CH92043-3	8	0,826	1210
CS-TRE	18-02-2015	2	EXCITER, IGNITION	74	CH92043-3	8	0,826	1210
CS-TRF	08-05-2015	2	EXCITER, IGNITION	74	CH92043-3	8	0,826	1210
CS-TRG	14-06-2015	2	EXCITER, IGNITION	74	CH92043-3	8	0,826	1210
CS-TRD	27-09-2015	2	EXCITER, IGNITION	74	CH92043-3	8	0,826	1210
CS-TRE	27-10-2015	2	EXCITER, IGNITION	74	CH92043-3	8	0,826	1210
CS-TRE	01-11-2015	2	EXCITER, IGNITION	74	3122413-08	8	0,826	1210
CS-TRF	08-06-2015	2	FUEL HEATER THERMAL VALVE	73	G728888	8	0,826	1210
CS-TRF	01-07-2015	2	FUEL HEATER THERMAL VALVE	73	G728888	8	0,826	1210
CS-TRG	15-07-2015	2	FUEL HEATER THERMAL VALVE	73	728809-1	8	0,826	1210
CS-TRG	15-07-2015	2	FUEL HEATER THERMAL VALVE	73	G728888	8	0,826	1210
CS-TRE	18-07-2015	2	FUEL HEATER THERMAL VALVE	73	G728888	8	0,826	1210
CS-TRD	16-08-	2	FUEL HEATER THERMAL	73	728809-1	8	0,826	1210

Fiabilidade Técnica de Sistemas e Aeronaves

	2015		VALVE					
CS-TRD	16-08-2015	2	FUEL HEATER THERMAL VALVE	73	G728888	8	0,826	1210
CS-TRF	29-09-2015	2	FUEL HEATER THERMAL VALVE	73	G728888	8	0,826	1210
CS-TRE	31-01-2015	2	TRANSCEIVER, VHF, 8.33KHZ	23	EVR716-11-0300A	8	0,826	1210
CS-TRE	03-03-2015	2	TRANSCEIVER, VHF, 8.33KHZ	23	EVR716-11-0300A	8	0,826	1210
CS-TRF	18-03-2015	2	TRANSCEIVER, VHF, 8.33KHZ	23	EVR716-11-0300A	8	0,826	1210
CS-TRG	22-03-2015	2	TRANSCEIVER, VHF, 8.33KHZ	23	EVR716-11-0300A	8	0,826	1210
CS-TRE	28-04-2015	2	TRANSCEIVER, VHF, 8.33KHZ	23	EVR716-11-0300A	8	0,826	1210
CS-TRD	23-07-2015	2	TRANSCEIVER, VHF, 8.33KHZ	23	EVR716-11-0300A	8	0,826	1210
CS-TRD	31-07-2015	2	TRANSCEIVER, VHF, 8.33KHZ	23	EVR716-11-0300A	8	0,826	1210
CS-TRG	07-08-2015	2	TRANSCEIVER, VHF, 8.33KHZ	23	EVR716-11-0300A	8	0,826	1210
CS-TRE	12-03-2015	2	ENGINE	72	PW150A	7	0,723	1383
CS-TRG	22-07-2015	2	ENGINE	72	PW150A	7	0,723	1383
CS-TRG	04-08-2015	2	ENGINE	72	PW150A	7	0,723	1383
CS-TRE	13-08-2015	2	ENGINE	72	PW150A	7	0,723	1383
CS-TRF	19-10-2015	2	ENGINE	72	PW150A	7	0,723	1383
CS-TRD	19-10-2015	2	ENGINE	72	PW150A	7	0,723	1383
CS-TRF	29-10-2015	2	ENGINE	72	PW150A	7	0,723	1383
CS-TRG	23-07-2015	2	VALVE, INTERSTAGE BLEED-OFF P2.2	75	3047683-08	7	0,723	1383
CS-TRG	23-07-2015	2	VALVE, INTERSTAGE BLEED-OFF P2.2	75	540-0949-8	7	0,723	1383
CS-TRG	24-07-2015	2	VALVE, INTERSTAGE BLEED-OFF P2.2	75	540-0949-8	7	0,723	1383
CS-TRG	29-09-2015	2	VALVE, INTERSTAGE BLEED-OFF P2.2	75	3047683-08	7	0,723	1383
CS-TRG	05-10-2015	2	VALVE, INTERSTAGE BLEED-OFF P2.2	75	3047683-08	7	0,723	1383
CS-TRG	07-10-2015	2	VALVE, INTERSTAGE BLEED-OFF P2.2	75	540-0949-8	7	0,723	1383
CS-TRE	30-12-2015	2	VALVE, INTERSTAGE BLEED-OFF P2.2	75	540-0949-8	7	0,723	1383
CS-TRD	05-03-2015	2	GENERATOR, DC STARTER	24	1152106-3	6	0,620	1613
CS-TRG	24-03-2015	2	GENERATOR, DC STARTER	24	1152106-3	6	0,620	1613
CS-TRF	28-08-2015	2	GENERATOR, DC STARTER	24	1152106-3	6	0,620	1613
CS-TRG	29-09-2015	2	GENERATOR, DC STARTER	24	1152106-2	6	0,620	1613
CS-TRF	19-04-2015	2	VALVE ASSY, FLOW	73	3047604-04	6	0,620	1613
CS-TRF	20-04-2015	2	VALVE ASSY, FLOW	73	3047604-04	6	0,620	1613
CS-TRF	20-04-2015	2	VALVE ASSY, FLOW	73	3047604-04	6	0,620	1613
CS-TRF	21-04-2015	2	VALVE ASSY, FLOW	73	3047604-04	6	0,620	1613
CS-TRF	24-04-2015	2	VALVE ASSY, FLOW	73	3047604-04	6	0,620	1613

Fiabilidade Técnica de Sistemas e Aeronaves

CS-TRF	21-06-2015	2	VALVE ASSY, FLOW	73	8063-154	6	0,620	1613
CS-TRE	27-04-2015	2	CONTROL DISPLAY UNIT - UNS1E SOFTWARE VER. 802.8	34	2017-41-221SCN802.8	4	0,413	2420
CS-TRF	28-07-2015	2	CONTROL DISPLAY UNIT - UNS1E SOFTWARE VER. 802.8	34	2017-41-221SCN802.8	4	0,413	2420
CS-TRF	24-08-2015	2	CONTROL DISPLAY UNIT - UNS1E SOFTWARE VER. 802.8	34	2017-41-221SCN802.8	4	0,413	2420
CS-TRG	07-11-2015	2	CONTROL DISPLAY UNIT - UNS1E SOFTWARE VER. 802.8	34	2017-41-221SCN802.8	4	0,413	2420
CS-TRE	10-01-2015	1	ELECTRONIC CONTROL UNIT, ECS	21	820100-3-007	2	0,413	2420
CS-TRE	14-02-2015	1	ELECTRONIC CONTROL UNIT, ECS	21	820100-3-007	2	0,413	2420
CS-TRF	06-05-2015	1	ENGINE CONTROL PANEL	80	82410866-009	2	0,413	2420
CS-TRD	16-06-2015	1	ENGINE CONTROL PANEL	80	82410866-009	2	0,413	2420
CS-TRF	19-02-2015	2	FLOWMETER, FUEL	73	8TJ126GAT2	4	0,413	2420
CS-TRF	24-04-2015	2	FLOWMETER, FUEL	73	8TJ126GAT2	4	0,413	2420
CS-TRF	21-06-2015	2	FLOWMETER, FUEL	73	8TJ126GAT2	4	0,413	2420
CS-TRF	23-06-2015	2	FLOWMETER, FUEL	73	8TJ126GAT2	4	0,413	2420
CS-TRF	20-04-2015	2	FUEL METERING UNIT	73	819800-9	4	0,413	2420
CS-TRF	24-04-2015	2	FUEL METERING UNIT	73	819800-11	4	0,413	2420
CS-TRF	21-06-2015	2	FUEL METERING UNIT	73	819800-9	4	0,413	2420
CS-TRD	30-07-2015	2	FUEL METERING UNIT	73	819800-9	4	0,413	2420
CS-TRF	02-04-2015	1	PANEL, FLIGHT GUIDANCE CONTROL	22	C12424AE	2	0,413	2420
CS-TRD	10-08-2015	1	PANEL, FLIGHT GUIDANCE CONTROL	22	C12424AE	2	0,413	2420
CS-TRD	03-03-2015	2	TRANSCEIVER, DME CDM451	34	400-041181-0112	4	0,413	2420
CS-TRD	03-03-2015	2	TRANSCEIVER, DME CDM451	34	400-041181-0112	4	0,413	2420
CS-TRG	10-03-2015	2	TRANSCEIVER, DME CDM451	34	400-041181-0112	4	0,413	2420
CS-TRF	10-03-2015	2	TRANSCEIVER, DME CDM451	34	400-041181-0112	4	0,413	2420
CS-TRE	01-05-2015	1	TRANSCEIVER, WX RADAR	34	7021450-601	2	0,413	2420
CS-TRD	16-06-2015	1	TRANSCEIVER, WX RADAR	34	7021450-601	2	0,413	2420
CS-TRF	21-02-2015	5	DISPLAY UNIT	31	C19190BC08	9	0,372	2689
CS-TRE	24-02-2015	5	DISPLAY UNIT	31	C19190AB07	9	0,372	2689
CS-TRE	24-02-2015	5	DISPLAY UNIT	31	C19190AC07	9	0,372	2689
CS-TRG	15-03-2015	5	DISPLAY UNIT	31	C19190BC08	9	0,372	2689
CS-TRE	22-05-2015	5	DISPLAY UNIT	31	C19190AC07	9	0,372	2689
CS-TRG	24-06-2015	5	DISPLAY UNIT	31	C19190AC07	9	0,372	2689
CS-TRF	25-06-2015	5	DISPLAY UNIT	31	C19190BC08	9	0,372	2689

Fiabilidade Técnica de Sistemas e Aeronaves

	2015							
CS-TRG	17-07-2015	5	DISPLAY UNIT	31	C19190BC08	9	0,372	2689
CS-TRE	21-08-2015	5	DISPLAY UNIT	31	C19190AC07	9	0,372	2689
CS-TRD	06-01-2015	2	CONTROLLER, ANTI-ICE WINSHIELD	30	4100S020-02	3	0,310	3227
CS-TRF	27-08-2015	2	CONTROLLER, ANTI-ICE WINSHIELD	30	4100S020-02	3	0,310	3227
CS-TRF	28-08-2015	2	CONTROLLER, ANTI-ICE WINSHIELD	30	4100S020-02	3	0,310	3227
CS-TRG	25-11-2015	4	GENERATOR, DC STARTER	24	1152106-3	6	0,310	3227
CS-TRF	09-12-2015	4	GENERATOR, DC STARTER	24	1152106-3	6	0,310	3227
CS-TRD	07-09-2015	2	ICE DETECTOR PROBE	30	4100S019-08	3	0,310	3227
CS-TRG	05-10-2015	2	ICE DETECTOR PROBE	30	4100S019-08	3	0,310	3227
CS-TRD	03-11-2015	2	ICE DETECTOR PROBE	30	4100S019-08	3	0,310	3227
CS-TRD	17-03-2015	2	SENSOR, ANGLE OF ATTACK	27	C16177AD	3	0,310	3227
CS-TRF	03-09-2015	2	SENSOR, ANGLE OF ATTACK	27	C16177AD	3	0,310	3227
CS-TRD	26-12-2015	2	SENSOR, ANGLE OF ATTACK	27	C16177AD	3	0,310	3227
CS-TRF	07-02-2015	2	VALVE, BYPASS	79	D2887-955C	3	0,310	3227
CS-TRD	09-06-2015	2	VALVE, BYPASS	79	D2887-955C	3	0,310	3227
CS-TRE	02-07-2015	2	VALVE, BYPASS	79	D2887-955C	3	0,310	3227
CS-TRE	04-03-2015	3	ANTENNA, VHF	23	10-105-31A-N-2D	4	0,275	3630
CS-TRF	18-03-2015	3	ANTENNA, VHF	23	10-105-31A-N-2D	4	0,275	3630
CS-TRD	30-03-2015	3	ANTENNA, VHF	23	10-105-31A-N-2D	4	0,275	3630
CS-TRG	23-09-2015	3	ANTENNA, VHF	23	10-105-31A-N-2D	4	0,275	3630
CS-TRE	24-02-2015	4	ACTUATOR, FLAP	27	C148659-2	5	0,258	3872
CS-TRF	26-07-2015	4	ACTUATOR, FLAP	27	C148659-2	5	0,258	3872
CS-TRF	22-08-2015	4	ACTUATOR, FLAP	27	C148659-2	5	0,258	3872
CS-TRE	23-08-2015	4	ACTUATOR, FLAP	27	C148659-2	5	0,258	3872
CS-TRE	22-10-2015	4	ACTUATOR, FLAP	27	C148659-2	5	0,258	3872
CS-TRF	10-08-2015	2	ACTUATOR ASSY, RETRACTION	32	46550-25	2	0,207	4840
CS-TRF	19-11-2015	2	ACTUATOR ASSY, RETRACTION	32	46550-25	2	0,207	4840
CS-TRG	06-01-2015	1	APU DC GENERATOR	24	1152400-3	1	0,207	4840
CS-TRE	02-03-2015	2	ATC ANTENNA	34	10-203-32-H-2	2	0,207	4840
CS-TRE	05-03-2015	2	ATC ANTENNA	34	10-203-32-H-2	2	0,207	4840
CS-TRG	14-07-2015	1	CONTROLLER, ADVISORY UNIT	31	351-38507-002	1	0,207	4840
CS-TRG	29-12-2015	1	CONVECTION OVEN (CELSIUS)	25	400-1230-01	1	0,207	4840
CS-TRD	20-04-2015	2	EJECTOR ASSY, EXHAUST, AFT	78	8Z9022-005	2	0,207	4840

Fiabilidade Técnica de Sistemas e Aeronaves

CS-TRD	27-04-2015	2	EJECTOR ASSY, EXHAUST, AFT	78	829022-005	2	0,207	4840
CS-TRD	09-09-2015	1	EXHAUST SILENCER LINER	49	400-51302-01	1	0,207	4840
CS-TRF	03-08-2015	1	HANDSET	23	HA2542AR05	1	0,207	4840
CS-TRD	14-10-2015	1	INLET SILENCER	49	400-51100-1	1	0,207	4840
CS-TRE	08-03-2015	1	PROCESSOR, TCAS II	34	066-01146-1211	1	0,207	4840
CS-TRE	21-05-2015	1	PUMP, HAND	32	6007073	1	0,207	4840
CS-TRG	14-12-2015	1	QUADRANT, POWER	76	FE280-004	1	0,207	4840
CS-TRE	06-03-2015	2	RECEIVER, ATC	34	066-01143-2101	2	0,207	4840
CS-TRE	06-03-2015	2	RECEIVER, ATC	34	066-01143-2101	2	0,207	4840
CS-TRF	06-09-2015	1	SPOILER ASSY	27	85770013-005	1	0,207	4840
CS-TRE	28-12-2015	2	STABILIZER BRACE ASSY. AFT MLG	32	46403-7	2	0,207	4840
CS-TRE	29-12-2015	2	STABILIZER BRACE ASSY. AFT MLG	32	46403-7	2	0,207	4840
CS-TRD	13-08-2015	1	TIMER ASSY	38	15900-124	1	0,207	4840
CS-TRD	15-05-2015	1	UNIT, ENGINE COCKPIT INTERFACE	73	822645-1	1	0,207	4840
CS-TRE	24-10-2015	1	UNIT, FLAP CONTROL	27	C148674-2-005	1	0,207	4840
CS-TRG	06-06-2015	1	UNIT, NWS ELECTRONIC CONTROL	32	406300-06-01	1	0,207	4840
CS-TRG	05-10-2015	2	VALVE, INTERCOMPRESSOR BLEED-OFF P2.7	75	540-1037-5	2	0,207	4840
CS-TRG	06-10-2015	2	VALVE, INTERCOMPRESSOR BLEED-OFF P2.7	75	540-1037-5	2	0,207	4840
CS-TRG	22-05-2015	2	AC GENERATOR	24	1152218-6	1	0,103	9680
CS-TRD	13-11-2015	2	ADAPTOR, INLET	30	4100S028-05	1	0,103	9680
CS-TRG	05-08-2015	2	BRUSH, BLOCK UNIT	30	697079003	1	0,103	9680
CS-TRD	07-01-2015	2	CYLINDER ASSY, (RH)	71	00-13973-01	1	0,103	9680
CS-TRE	02-06-2015	2	INTAKE BYPASS ACTUATOR	71	LA11A2104	1	0,103	9680
CS-TRF	13-12-2015	2	PANEL, INDEX CONTROL	31	C12838BB	1	0,103	9680
CS-TRE	28-12-2015	8	PIN ASSY, STABILIZER BRACE APE	32	46418-1	4	0,103	9680
CS-TRE	28-12-2015	8	PIN ASSY, STABILIZER BRACE APE	32	46418-1	4	0,103	9680
CS-TRE	29-12-2015	8	PIN ASSY, STABILIZER BRACE APE	32	46418-1	4	0,103	9680
CS-TRE	29-12-2015	8	PIN ASSY, STABILIZER BRACE APE	32	46418-1	4	0,103	9680
CS-TRD	11-08-2015	2	PITCH ACTUATOR AUTOPILOT	22	C18117AA	1	0,103	9680
CS-TRF	26-04-2015	4	PROTECTIVE BREATHING EQUIPMENT	25	119003-11	2	0,103	9680
CS-TRD	29-04-2015	4	PROTECTIVE BREATHING EQUIPMENT	25	119003-11	2	0,103	9680
CS-TRF	31-03-2015	2	PUMP, EJECTOR, ENGINE FEED	28	2960008-102	1	0,103	9680
CS-TRE	31-12-2015	2	TRANSDUCER, BETA FEEDBACK	61	666000397	1	0,103	9680

Fiabilidade Técnica de Sistemas e Aeronaves

CS-TRD	13-03-2015	12	BLADE ASSY, BEARING	61	697071003	4	0,069	14520
CS-TRD	13-03-2015	12	BLADE ASSY, BEARING	61	697071003	4	0,069	14520
CS-TRE	12-10-2015	12	BLADE ASSY, BEARING	61	697071003	4	0,069	14520
CS-TRE	12-10-2015	12	BLADE ASSY, BEARING	61	697071003	4	0,069	14520
CS-TRE	21-03-2015	3	CONTACTOR, SPST 400A	24	227CC02AY00	1	0,069	14520
CS-TRG	02-01-2015	6	DUAL DISTRIBUTING VALVE	30	510312-1	2	0,069	14520
CS-TRG	12-05-2015	6	DUAL DISTRIBUTING VALVE	30	510312-1	2	0,069	14520
CS-TRG	14-03-2015	4	ANTENNA, RADIO	34	071-01501-0000	1	0,052	19360
CS-TRD	07-01-2015	4	HORIZONTAL STAB LE & BOOT	55	85517022-006	1	0,052	19360
CS-TRG	11-09-2015	4	TRANSDUCER, WHEEL SPEED	32	6007047	1	0,052	19360
CS-TRG	06-03-2015	5	FIRST AID OXY 11 CUFT.	35	176961-13	1	0,041	24200
CS-TRF	29-01-2015	6	UNIT, POWER CONTROL ELEVATOR	27	390600-1009	1	0,034	29040
CS-TRF	05-01-2015	42	ATVA	23	002VA00-0000	1	0,005	203280
CS-TRF	05-01-2015	42	POWER AMPLIFIER	23	8-800-70-029	1	0,005	203280

Anexo 6 - Dados Bombardier Aerospace

ATA Description	MTBUR (hours)	NFF Rate	MTBF (hours)	Reliability (failures per hour)
290002 SWITCH, HYD CONTROL PANEL	122146			
291101 PUMP, HYD. ENGINE DRIVEN (EDP)	10279	0,0290	10585,99	9,45E-05
291106 VALVE ASSY, FIREWALL SOV	35311	0,0000	35311,00	2,83E-05
291111 VALVE, ISOLATION, HYDRAULIC	165643	0,0000	165643,00	6,04E-06
291116 RESERVOIR ASSY #1, HYDRAULIC	28948	0,0000	28948,00	3,45E-05
291117 PANEL ASSY, CONTROL, HYD FLAP	54142			
291121 RESERVOIR ASSY #2, HYDRAULIC	45998	0,2100	58225,32	1,72E-05
291126 BOTTLE, ECOLOGY	81942	0,0000	81942,00	1,22E-05
291129 ELEMENT-FILTER	60621	0,1000	67356,67	1,48E-05
291131 MANIFOLD ASSY, FILTER, HYDRAULIC	106710	0,0000	106710,00	9,37E-06
291136 STANDBY POWER UNIT, HYD (SPU)	25729	0,0700	27665,59	3,61E-05
291146 VALVE, BYPASS, HEAT EXCHANGER	289565	0,0000	289565,00	3,45E-06
291151 VALVE, BALANCED RELIEF	36207	0,0000	36207,00	2,76E-05
291156 SWITCH, TEMP, 275 DEG F	197166	0,0000	197166,00	5,07E-06
291161 POWER TRANSFER UNIT, HYD (PTU)	22366	0,0900	24578,02	4,07E-05
291166 VALVE, PTU, SELECT, HYDRAULIC	27860	0,0000	27860,00	3,59E-05
291171 VALVE, CHECK, PORT MOUNTED	66763			
291201 PUMP, DC DRIVEN, HYD (DCMP)	26484	0,0000	26484,00	3,78E-05
291206 RESERVOIR ASSY #3, HYDRAULIC	72905	0,0000	72905,00	1,37E-05
291208 RL4 RELAY - STBY CONTCTR BOX	14929	0,2000	18661,25	5,36E-05
291216 ACCUMULATOR BOOTSTRAP, HYDRAULIC	33148	0,0000	33148,00	3,02E-05
291217 ACCUMULATOR 50 CU IN, HYDRAULIC	153341	0,0000	153341,00	6,52E-06
291221 VALVE, ACCUMULATOR ISOLATION	29999	0,0000	29999,00	3,33E-05
291226 FILTER,PRESSURE, HYDRAULIC	67588	0,0000	67588,00	1,48E-05
291231 SWITCH, PRESSURE, SYSTEM 3, HYD	44717	0,0000	44717,00	2,24E-05
291236 MANIFOLD, CHARGING, GAUGE	41387	0,0000	41387,00	2,42E-05
292101 PUMP, HAND, HYD	126692	0,3500	194910,77	5,13E-06
292106 VALVE, SELECTOR, SECONDARY, MLG*	97518	0,0000	97518,00	1,03E-05
293001 TRANSDUCER, PRESSURE, HYD	380454	0,0000	380454,00	2,63E-06
293011 SWITCH PRESSURE HYD	110923	0,0000	110923,00	9,02E-06
293016 SWITCH, PRESSURE, HYD	114411	0,0000	114411,00	8,74E-06
ATA Description	MTBUR (hours)	NFF Rate	MTBF (hours)	Reliability (failures per hour)
321101 SHOCK STRUT ASSY-MLG	106190	0,0000	106190,00	9,42E-06
321104 MLG AXLE	36995	0,0000	36995,00	2,70E-05
321105 FWD MLG FAIRING	95671	0,0000	95671,00	1,05E-05
321106 TORQUE LINK ASSEMBLY, UPPER	38950	0,0000	38950,00	2,57E-05

Fiabilidade Técnica de Sistemas e Aeronaves

321107 TORQUE LINK ASSEMBLY, LOWER	18909	0,0000	18909,00	5,29E-05
321110 BEARING -UPPER (SHOCK STRUT SEAL)		0,0000	0,00	
321111 DRAG STRUT ASSY	308443	0,0000	308443,00	3,24E-06
321112 PISTON ASSY (MLG)	687043	0,0000	687043,00	1,46E-06
321116 STABILIZER STRUT	510564	0,0000	510564,00	1,96E-06
321117 STABILIZER BRACE ASSY	121553	0,0000	121553,00	8,23E-06
321118 STABILIZER BRACE ASSY	186887	0,0000	186887,00	5,35E-06
321121 YOKE ASSEMBLY	425900	0,0000	425900,00	2,35E-06
321123 HARNESS ASSY, LH SENSOR	101801	0,0000	101801,00	9,82E-06
321124 HARNESS ASSY, RH SENSOR	286623	0,0000	286623,00	3,49E-06
321125 HARNESS ASSY, WOW	113111	0,0000	113111,00	8,84E-06
321126 AFT MLG FAIRING	75470	0,0000	75470,00	1,33E-05
321128 PIN, STABILIZER BRACE ASSY	247909	0,1296	284821,92	3,51E-06
321131 YOKE ASSY-DRESSED	35417	0,0000	35417,00	2,82E-05
321133 SWIVEL - LOCK ASSY	57049	0,0294	58777,05	1,70E-05
321136 HARNESS - HOSE	134025	0,0000	134025,00	7,46E-06
321137 HOSE ASSY - MLG YOKE ASSY	270473			
321139 STRUT ASSY, MLG SHOCK, PIN, FUSE, DRAG BRACE	111301			
321140 STRUT ASSY, MLG SHOCK PLUG, PISTON	171219	0,0000	171219,00	5,84E-06
321142 DRAG STRUT ASSY, DUAL LUG BRACKET ASSY	21976			
321201 AFT MLG DOOR ASSY LH/RH	70129	0,0100	70837,37	1,41E-05
321208 LOCK ASSY-LOCK, LINKAGE-AFT	22958	0,1000	25508,89	3,92E-05
321209 LINK ASSY-LOCK, DOOR MECHANISM	13174	0,1000	14637,78	6,83E-05
321210 ARM ASSY-PIVOT, MLG	15644			
321211 FWD MLG DOOR ASSY LH/RH	139300	0,0100	140707,07	7,11E-06
321212 MLG FWD DOOR LINKAGE ASSY	11210			
321217 JUMPER	7799			
322101 SHOCK STRUT ASSY -NLG	42796	0,0000	42796,00	2,34E-05
322102 NLG AXLE	146956	0,0000	146956,00	6,80E-06
322103 COVER ASSY-WOW SENSOR	9562	0,0000	9562,00	1,05E-04
322104 TRAILING ARM ASSY	25131	0,0000	25131,00	3,98E-05
322106 DRAG STRUT ASSY		0,0000	0,00	
322111 HARNESS ASSY -PRIMARY (NLG)	35409	0,0000	35409,00	2,82E-05
322114 CYLINDER OUTER, NLG STRUT		0,0000	0,00	
322117 FITTING ASSY-TOW		0,0000	0,00	
322118 PIN -LINK TRAILING ARM	66762	0,0000	66762,00	1,50E-05
322119 PIN ASSY-PIVOT ARM	54196	0,0000	54196,00	1,85E-05
322120 BEARING, UPPER/LOWER, NLG	13203	0,0000	13203,00	7,57E-05

Fiabilidade Técnica de Sistemas e Aeronaves

SHOCK STRUT				
322151 HARNESS ASSY - STEERING	21609	0,0370	22439,25	4,46E-05
322201 DOOR ASSY-AFT LH/RH	55346	0,0100	55905,05	1,79E-05
322211 DOOR ASSY-FWD LH/RH	665920			
323101 PANEL -LANDING GEAR CONTROL	9162	0,0500	9644,21	1,04E-04
323103 FLEX HOSE	155934			
323106 VALVE, SELECTOR LG	44541	0,1408	51840,08	1,93E-05
323111 RETRACTION ACTUATOR ASSY	37955	0,2327	49465,66	2,02E-05
323112 PIN, RETRACTION ACTUATOR	223511	0,0000	223511,00	4,47E-06
323113 PIN, RETRACTION ACTUATOR SLEEVE	620072	0,0000	620072,00	1,61E-06
323116 DOWNLOCK ACTUATOR	343271	0,6250	915389,33	1,09E-06
323120 UPLOCK ASSY	51280	0,1064	57385,85	1,74E-05
323126 MLG DOOR ACTUATOR ASSY	92728	0,2857	129816,60	7,70E-06
323136 VALVE, MECH SEQ, MLG	65257	0,1964	81205,82	1,23E-05
323141 VALVE, SOLENOID SEQUENCE	59371	0,3680	93941,46	1,06E-05
323146 ACTUATOR RETRACTION NLG	51839	0,5000	103678,00	9,65E-06
323147 PIN, ACTUATOR RETRACTION NLG	181263			
323151 ACTUATOR LOCK NLG	32472	0,1579	38560,74	2,59E-05
323156 ACTUATOR NLG FWD DOORS	27181	0,2453	36015,64	2,78E-05
323161 LINKAGE ASSY, FWD DOORS	5118			
323162 LINKAGE ASSEMBLY AFT. DOORS L.H.	11377	0,0000	11377,00	8,79E-05
323163 LINKAGE ASSEMBLY AFT. DOORS R.H.	12515	0,0476	13140,49	7,61E-05
323166 VALVE, MECH SEQ, NLG	292124	0,1667	350562,82	2,85E-06
323406 ACTUATOR ALTERNATE EXTENSION	53907	0,1833	66005,88	1,52E-05
323426 CAM MECHANISM ASSY	161121			
324101 MLG WHEEL & TIRE ASSY	28494	0,0100	28781,82	3,47E-05
324106 NLG WHEEL & TIRE ASSY	71772	0,0000	71772,00	1,39E-05
324201 BRAKE ASSY MLG	56336	0,0571	59747,59	1,67E-05
324203 HEAT SINK	155802			
324206 BRAKE CONTROL VALVE	26791	0,0270	27534,43	3,63E-05
324211 FUSE/SHUTTLE VALVE	181781	0,2391	238902,62	4,19E-06
324401 PARKING BRAKE VALVE	21731	0,1071	24337,55	4,11E-05
324406 HAND PUMP PARKING BRAKE	59509	0,0000	59509,00	1,68E-05
324411 ACCUMULATOR PARKING BRAKE	113129	0,1216	128789,85	7,76E-06
324421 PARK BRAKE QUADRANT	59486	0,0500	62616,84	1,60E-05
324601 ANTI SKID CONTROL UNIT	30764	0,4868	59945,44	1,67E-05
324606 ANTI SKID CONTROL VALVE	80602	0,2941	114183,31	8,76E-06
324611 WHEEL SPEED TRANSDUCER	27306	0,0236	27966,00	3,58E-05

Fiabilidade Técnica de Sistemas e Aeronaves

325101 ECU NWS (SCU)	14685	0,5747	34528,57	2,90E-05
325106 HAND CONTROL NOSEWHEEL STEERING	11576	0,2342	15116,22	6,62E-05
325116 MANIFOLD NOSEWHEEL STEERING	11350	0,0969	12567,82	7,96E-05
325117 PRESSURE SWITCH	117059	0,0000	117059,00	8,54E-06
325118 SOLENOID VALVE - STEERING	82589	0,0000	82589,00	1,21E-05
325121 MECHANISM NLG CENTERING		0,0833	0,00	
325126 POWER STEERING UNIT	55389	0,1765	67260,47	1,49E-05
325131 STEERING HYDRAULIC MOTOR	47196	0,2969	67125,59	1,49E-05
325136 RVDT FEEDBACK STEERING	46004	0,3076	66441,36	1,51E-05
326101 LG PSEU	12886	0,7300	47725,93	2,10E-05
326106 LG PROXIMITY SENSOR	279117	0,1250	318990,86	3,13E-06
327101 FRANGIBLE SWITCH	59123			

Anexo 7 - Capa SB 'ARCDU 23-81-01'

COBHAM

SERVICE BULLETIN

COBHAM AEROSPACE COMMUNICATIONS
(F6168)
TEAM trading as Cobham Aerospace Communications
35, rue de Montlhéry - Silic - BP20191 - 94563 RUNGIS Cedex - FRANCE
Tel.: +33 (0)1 49 78 66 00 - Fax: +33 (0)1 49 78 66 99
Email: avionics.teamsupport@cobham.com

SUMMARY OF THE SERVICE BULLETIN

COMMUNICATIONS – AUDIO AND RADIO CONTROL DISPLAY UNIT (CDU3933AF05 and
CDU3933AG05)

REPLACEMENT OF CAPACITORS C35 C36 C37 C38 C40 AND C45 BY CAPACITORS WITH FLEXIBLE
TERMINATIONS ON THE AIRCRAFT INTERFACE BOARD P/N: 3933AA11200

NOTE: This summary is issued for information only and is not approved by the relevant airworthiness authority.

EFFECTIVITY

This Service Bulletin is applicable to the Cobham Aerospace Communications:
CDU3933AF05 and CDU3933AG05, amdt A + X and subsequent changes.

With A + X = all possible combinations of amendments.

This Service Bulletin is implemented in production on CDU3933AG05 from S/N: 1718.

Definition of subsequent changes of a Part Number:

Subsequent changes are defined as any modification or sequence of modification from an original Part Number which leads to a full interchangeability between them.

(Example: CDU3933AF05 is a subsequent change of PN: CDU3933AE05...as well as CDU3933AG05 is a subsequent change of CDU3933AE05 and CDU3933AF05).

CONCURRENT REQUIREMENTS

Not applicable.

May 6, 2016
REVISION: 00

3933-23-021
Summary Page 1 of 4

Anexo 8 - Artigo

DA FIABILIDADE SISTEMAS AERONÁUTICOS - UM ESTUDO DE CASO NA SATA Air Açores

JOSÉ LOURENÇO DA SAÚDE

Coordenador da Especialização em Engenharia Aeronáutica □ PhD em Ciências Aeroespaciais – área de Manutenção e Fabricação Aeronáutica □ lourenco.saude@icloud.com

MICHAEL AMARAL RANGEL

Chefe do Serviço de Engenharia □ SATA Air Açores □ michael.rangel@sata.pt

Peter Silva Jorge

Mestrando em Engenharia Aeronáutica □ Universidade da Beira Interior □ pter.jorge@hotmail.com

RESUMO

Este artigo sintetiza o resultado de um trabalho de investigação realizado no domínio da fiabilidade, como resposta a solicitação específica de um operador nacional de linha aérea (SATA Air Açores). Neste aborda-se a fiabilidade de um conjunto pré-definido de sistemas utilizados em aeronaves, tendo por base a operação de uma frota. Numa primeira instância, discute-se a fiabilidade intrínseca de elementos que compõem o trem de aterragem, utilizando como fator/indicador de fiabilidade o conceito de MTBUR. Por outro lado, aborda-se a fiabilidade tendo em conta a frota de DASH 8 Q-400 da SATA Air Açores, nomeadamente, dados de exploração e calculando o respetivo nível de alerta para os sistemas estudados, num contexto de pequena frota.

No desenvolvimento deste trabalho utilizaram-se dados disponibilizados não só pelo operador mas também pela *Bombardier Aerospace*.

PALAVRAS-CHAVE

Manutenção Aeronáutica, Fiabilidade, Sistemas, Frota de Aeronaves.

ABSTRACT

This paper addresses the result of a research work related with the reliability, thus responding to a specific need defined by a national carrier (SATA Air Azores).

In this context, the it is studied the reliability of predefined aircraft systems, in particular of an existent fleet of aircraft. In a first instance it is discussed the general concept of the intrinsic reliability of some elements that compose the landing gear system. The second part of this work evaluates the reliability of systems belonging to Bombardier Dash 8 Q-400 from SATA Air Azores taking into account data from aircraft exploitation, defining alert levels in a context of a small fleet.

In the development of this work data were provided not only by SATA Air Azores but also Bombardier Aerospace.

KEY WORDS

Aircraft Maintenance, Reliability, Systems, Fleet of Aircraft.



INTRODUÇÃO

Este artigo pretende apresentar duas abordagens à fiabilidade de sistema e aeronaves. Numa primeira instância, olha-se para a fiabilidade como um valor geral, percentual, tendo como por base a sua definição e equação geral e tendo como fator/indicador de fiabilidade o MTBUR.

Por outro lado, aborda-se a fiabilidade estatisticamente tendo em conta a frota de DASH 8 Q-400 da SATA Air Açores, sob a forma de um indicador (URR) onde se constroem gráficos tendo por base a URR dos últimos 12 meses e calculando o respetivo nível de alerta para o componente/sistema a ser abordado.

Neste capítulo ainda se apresenta uma alternativa de cálculo da URR para o caso especial de uma pequena frota (small fleet).

Globalmente, as companhias aéreas dispenderam cerca de 62 mil milhões de euros em MRO (*Maintenance, Repair and Overhaul*), representando cerca de 9% dos seus custos operacionais (IATA, 2014).

MANUTENÇÃO AERONÁUTICA E A FIABILIDADE

Para Ackert (2010) a manutenção é necessária por três razões: manter a aeronave operacional de forma fiável, garantindo uma operação lucrativa; manter o valor intrínseco da aeronave ao minimizar a deteiorização da aeronave na sua via útil; condição de manutenção associada à legislação e regulação por parte das entidades responsáveis.

Um PMA '(...)' é um elemento fundamental para assegurar a condição de aeronavegabilidade¹⁵ das aeronaves, através da

¹⁵ Conjunto de processos que asseguram que, a qualquer momento na sua vida operacional, a aeronave cumpre os requisitos de aeronavegabilidade vigentes e se encontra em condições que permitam a segurança do funcionamento.

execução em tempo devido, das ações de manutenção dele definidas' (ANAC, 2008) e tem dois tipos: manutenção programada/preventiva e manutenção não-programada/corretiva.

Por outro lado, Kinisson (2004), afirma que a fiabilidade é 'a probabilidade de um item realizar uma determinada função, sobre condições específicas sem falhar, por um determinado período de tempo especificado'.

Um Programa de fiabilidade é 'um conjunto de ações de monitorização da condição da aeronave e dos seus componentes' e que, através dos níveis de alerta nos permite monitorizar 'a eficiência das tarefas de manutenção integradas no programa de manutenção'. (ANAC, 2010)

Um Programa de Fiabilidade pode ainda ser visto como um sistema de monitorização e de transmissão de dados estatísticos duma determinada operadora. (Marušić, Galović, & Pita, 2015)

Algumas das mudanças gerados pelo Programa de Fiabilidade são o mau funcionamento de alguns componentes do sistema ou sistemas a mostrarem a necessidade de alguma alteração ou melhoramento na sua fase inicial ou ainda a substituição de equipamento durante a sua utilização. (Domitrović, Bazijanac, & Alić-Kostečić, 2012)

Segundo a ANAC (2010), para se elaborar um Programa de Fiabilidade é necessário estar na presença de uma destas condições:

- O Programa de Manutenção é baseado na lógica MSG-3;
- O Programa de Manutenção inclui componentes em CM ('Condition Monitoring');
- O Programa de Manutenção não define intervalos de revisão geral ('overhaul') de todos os componentes de sistemas críticos;
- Quando especificado pelo fabricante - 'Maintenance planning document' (MPD) ou pelo 'Maintenance Review Board' (MRB) emitido pela entidade aeronáutica de certificação da Aeronave.

FABILIDADE PARA PEQUENAS FROTAS

É considerada uma pequena frota, o operador que tiver menos de 6 aeronaves. (ANAC, 2010)

Uma frota deste tipo produz material estatístico insuficiente para obter dados estatisticamente significativos. Deste modo, a utilização dum Programa de Fiabilidade numa pequena frota é questionável. A principal razão é que uma frota com um número de aeronaves mais pequeno gera uma grande dispersão de dados. (Marusic, Galovic & Pita, 2015)

Por esta razão a ANAC (2010) afirma que 'Um programa de fiabilidade complexo poderá ser inapropriado para um operador com uma frota reduzida de aeronaves e portanto, os requisitos aplicados serem inconsequentes.'

Na CTI (Circular Técnica de Informação) publicada pela ANAC em 2010 podemos ver que 'A Organização de Gestão da Continuidade de aeronavegabilidade deve adotar um programa de fiabilidade que se adapte à dimensão e complexidade da operação da sua frota'. Esta autoridade apela ainda ao cuidado na definição de índices de alerta e na interpretação.

NÍVEIS DE ALERTA

Na base de Fiabilidade está a recolha e análise de dados. Para que possamos chegar a uma boa conclusão temos de combinar a análise de dados com níveis de alerta que são estipulados segundo uma experiência mais vasta. Importa assim perceber como podem ser estipulados os referidos níveis de alerta.

Como o cálculo dos Níveis de Alerta dependem de dados obtidos pela operadora, é normal que estes sejam actualizados com alguma regularidade. Cabe à operadora decidir o intervalo de tempo entre o cálculo de novos Níveis de Alerta que pode ser influenciado pelo número de horas de voo ou número de ciclos de voo realizados pela

frota da operadora. (Amborski, 2009)

FATORES DE FIABILIDADE

Segundo Kinisson (2004) e Amborski (2009), o estudo e identificação de fiabilidade é feito através da recolha de dados que dá ao departamento de fiabilidade a informação necessária para observar a eficácia do programa de manutenção e tendo como base uma variedade de indicadores chamados de Fatores de Fiabilidade.

Para o primeiro estudo considerou-se como fator de fiabilidade, o MTUBUR que se define por:

- MTBUR (Mean Time Between Unscheduled Removals) – Como o nome indica, este fator mostra-nos o tempo médio entre remoções prematuras de um dado componente por mil horas/ciclos de voo.

Onde:

- NFF (No Fault Found) – Mostra a quantidade de falhas não encontradas aquando da inspeção ou remoção de um componente.

- MTBF (Mean Time Between Failure) – Dá-nos o tempo médio entre remoções de um determinado componente numa aeronave por mil horas/ciclos de voo e é matematicamente definido por (Bombardier, 2016).

$$MTBF = \frac{MTBUR}{1 - NFF} \quad (3)$$

O MTBF tem uma grande influência na Fiabilidade e é um dos seu principais indicadores. A sua unidade representativa é em horas (ou ciclos) e quanto mais elevado for o MTBF maior será também a Fiabilidade do componente. A relação entre Fiabilidade de MTBF pode ser expressada matematicamente por: (Torell & Avelar, 2010)

$$R(t) = e^{-\frac{t}{MTBF}}$$

No estudo estatístico da frota da SATA Air Açores, utilizou-se como fator de fiabilidade as remoções prematuras (UR – Unscheduled Removals) e a

respetiva taxa – URR (Unscheduled Removal Rate).

- Remoções de componentes não programadas – Um dos pontos mais relevantes num Programa de Fiabilidade. A taxa de remoção não programada de componentes (URR) mostra-nos numa forma mais clara a quantidade de componentes removidos prematuramente por mil horas de voo e define-se por (Bombardier, 2016):

$$URR = 1000 \times \frac{\text{Remoções Prematuras}}{\text{Horas de Operação} \times \text{Quantidade de Componentes por Aeronave}} \quad (2)$$

DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS EM ESTUDO

Os sistemas hidráulicos principais e auxiliar são responsáveis por

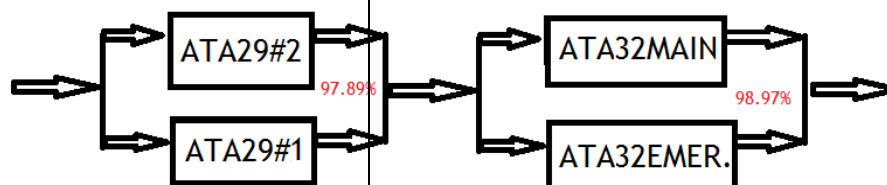


Figura 1 - Diagrama de Blocos do subsistema Extensão do Trem de Aterragem

fornecer energia hidráulica aos sistemas e componentes assistidos hidráulicamente. O Dash 8 Q400 tem incorporados quatro sistemas hidráulicos sendo que três deles são principais e o restante é auxiliar. Todos estes sistemas utilizam fluido hidráulico de éster de fosfato.

Os sistemas No. 1 e No. 2 providenciam energia para operar:

- Controlos de Voo
- Trem de Aterragem
- Direção do Trem do Nariz
- Sistemas de Travagem

O sistema hidráulico No. 3 fornece energia para os elevadores da esquerda e da direita e o sistema hidráulico auxiliar para o sistema de extensão do trem de aterragem de emergência.

O Trem de Aterragem do Dash 8 Q400 é eletricamente controlado, operado hidráulicamente e bloqueado mecanicamente.

O Trem em triciclo é retrátil e tem uma instalação em dupla roda. O trem principal recolhe para trás e para dentro de ambas as Nacelles, enquanto que o trem do nariz recolhe para a frente, para dentro do poço do trem colocado no nariz da fuselagem.

Se o sistema de extensão do Trem de Aterragem falhar, existe um sistema de emergência que pode ser utilizado. Existe também um sistema de

verificação de bloqueio do Trem extendido.

CÁLCULO DA FIABILIDADE

'Um sistema é um conjunto de elementos de um género ou outro que, juntos, desempenham alguma função ou possibilitam algum resultado desejado.' (Kinisson, 2004)

O estudo da Fiabilidade de sistemas de aeronaves tem uma grande contribuição para a diminuição dos acidentes e incidentes na indústria da aviação. 'A falha dum sistema ou componente é a terceira maior

causadora de acidentes mortais na indústria aeronáutica' cita (Georgiev, 2013).

Diferentes sistemas obrigam a diferentes níveis de fiabilidade e por isso por vezes são organizados em série e em paralelo ao mesmo tempo para que se possa obter o nível de Fiabilidade ótimo e adequado ao sistema.

O cálculo da Função Fiabilidade – Extensão do Trem de Aterragem, foi feito tendo

em conta os principais componentes dos sistemas ATA29 e ATA32 que intervêm de forma ativa neste subsistema. O diagrama de blocos deste subsistema é o seguinte: Aqui, temos que a Fiabilidade é:

$$R = [1 - (1 - R_{ATA29\#2}) * (1 - R_{ATA29\#1})]^*$$

$$[1 - (1 - R_{ATA32MAIN}) * (1 - R_{ATA32EMER.})]$$

$$R = R_{ATA29TOTAL} * R_{ATA32TOTAL}$$

$$R = 0.9789 * 0.9897$$

$$R = 0.9688 \approx 96.88\%$$

ESTUDO ESTATÍSTICO DA FIABILIDADE DA FROTA DA SATA AIR AÇORES

O estudo estatístico da fiabilidade da frota de Dash 8 Q-400 da SATA Air Açores, teve como principal objetivo a construção de um gráfico (relativo aos 10 componentes com maior URR) que tivesse nele incluído: Uma curva de URR média, uma curva de UR e dois níveis de alerta.

Como vimos anteriormente, uma frota com poucas aeronaves deve ter um tratamento estatístico adequado. Por este motivo, propõe-se segundo Verma, Gagliardi e Ferretti (2009) calcular-se a URR média tendo por base os anos de 2014 e de 2015 tornando os dados estatísticos mais densos e portanto uma melhor amostra estatística.

Este cálculo da média foi feito da seguinte forma:

$$\text{Fiabilidade (Mês de 2015)} = \frac{\text{Média (Mês de 2015)}}{\text{Mês de 2014}}$$

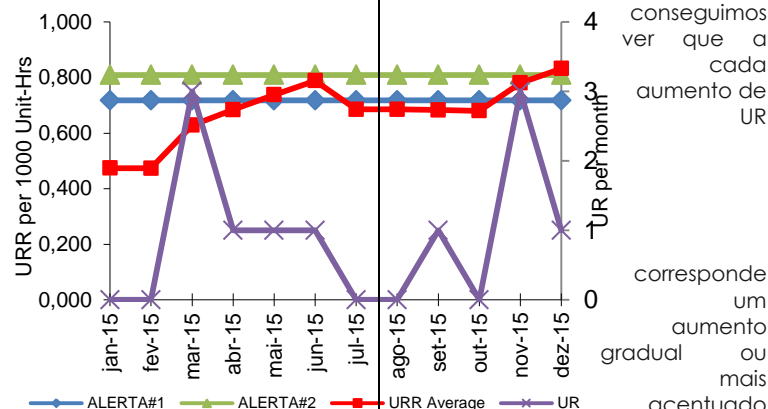
Ainda segundo os mesmos autores, este tipo de método ajuda ainda a obter resultados 'mais robustos' e estes 'aumentam a precisão dos resultados, ajudam a suavizar as tendências a curto prazo e ajudam na relação entre os outros elementos em estudo'. Os níveis de alerta foram calculados tendo em conta as equações:

$$\text{ALERT\#1} = \text{Média(URR12Meses)} + 3 * \text{Desvio Padrão(URR12Meses)}$$

$$\text{ALERT\#2} = \text{Média(URR12Meses)} + 2 * \text{Desvio Padrão(URR12Meses)}$$

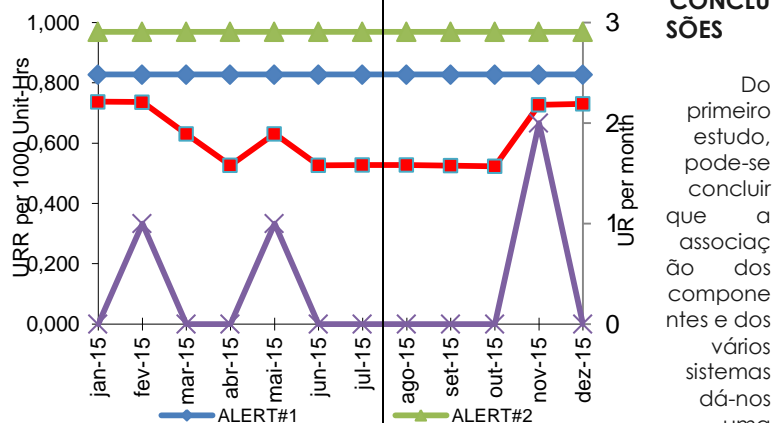
Para o efeito deste artigo serão apresentados os gráficos dos dois componentes menos fiáveis na frota da SATA Air Açores assim como um breve comentário.

ARCDU 23-81-01



Comentário: Neste gráfico podemos ver que existem dois picos de UR que originam um aumento gradual de URR no mês de Março e Novembro respetivamente. A curva de URR média acaba por ultrapassar ambos os níveis de alerta, tendo ultrapassado o nível de alerta#1 no início do ano, por este motivo esta é uma unidade a ser monitorizada e possivelmente investigada para futuras correções.

BREWER, COFFEE 25-32-06



Comentário: Ambas as curvas mantiveram-se abaixo dos níveis de alerta durante todo o ano. Através da análise destes dados e da descrição do componente e embora este seja um dos componentes com maior URR este não constitui um problema para a segurança operacional devido à sua função.

Através da Análise dos gráficos

consequimos ver que a cada aumento de UR corresponde um aumento gradual ou mais acentuado de URR média consoante a densidade de UR. Esta análise é também importante porque nos permite verificar a importância dos níveis de alerta estipulados que representam valores de referência, que ao serem ultrapassados, pode-se dar início a uma segunda fase do estudo, as ações corretivas e monitorização das mesmas. Estas medidas corretivas podem passar pela incorporação de SB (Service Bulletin), alterações diretamente no PMA a tarefa de manutenção e se muda as inspeções e limpezas mais regulares.

CONCLUSÕES

Do primeiro estudo, pode-se concluir que a associação dos componentes e dos vários sistemas dá-nos uma

visão global da fiabilidade dos mesmos e que componentes contribuem para uma menor fiabilidade e por este motivo

devem ser monitorizados ou até mesmo removidos/substituídos. Este estudo apresenta-se como inovador na medida em que aplica diretamente a fórmula da fiabilidade num caso concreto e nos dá a ideia de como a fiabilidade de um componente pode afetar o funcionamento de todo o sistema.

Em relação ao estudo estatístico, podemos afirmar que a escolha de uma URR média em relação à URR referente a um ano, dá-nos resultados mais conclusivos, uma vez que a curva de URR média não é tão acentuada e não ultrapassa o nível de alerta tantas vezes como a referente a um ano.

O estabelecimento de novos níveis de alerta representa uma inovação e um ponto de partida para próximas análises dos componentes menos fiáveis desta frota. Deste estudo retira-se que o nível de Alerta#1 é o mais adequado pois, embora ambos os níveis tenham gerado resultados idênticos, este garante-nos mais segurança e mais fiabilidade.

No geral, conclui-se que a monitorização constante da fiabilidade dos sistemas e componentes, para além de satisfazer a regulamentação a ele associada permite-nos também identificar os componentes que interferem com o despacho; identificar componentes que carecem de atualização, substituição ou remoção; identificar componentes nos quais se devem adotar medidas específicas de manutenção; perceber que alterações devem ser feitas ao PMA de forma a diminuir o número de componentes com menor fiabilidade; dá-nos também a possibilidade de ajustar os stocks de unidades rotáveis ou não tendo em conta os vários indicadores de fiabilidade como o MTBUR.

Siglas

Bibliografia

- Ackert, S. P. (2010). Basics of Aircraft Maintenance Programs for Financiers. *Evaluation & Insights of Commercial Aircraft Maintenance Programs*.
- Amborski, J. (2009). Calculation of Alert Levels for Reliability. *23rd European Conference on Modelling and*.
- ANAC. (2008). Aprovação de Programas de Manutenção das Aeronaves 01-01. *Circular Técnica de Informação*.
- ANAC. (2010). Aprovação de Programas de Fiabilidade das Aeronaves. *Circular Técnica de Informação 10-03*.
- Bombardier. (2016). Issue 122. *Quarterly FRACAS Report Q400 Dash 8*.
- Domitrović, A., Bazijanac, E., & Alić-Kostečić, V. (2012). *2-Febrero*. *maintworld*. Retrieved 2016 *28-Abril* from Aircraft Reliability Programme: <http://www.maintworld.com/R-D/Aircraft-Reliability-Programme>
- Georgiev, K. (2013). Implementation of Reliability Analysis of an. *International Conference on Military Technologies*.
- IATA. (2014). *Airline Maintenance Cost - Executive Commentary*. IATA's *Maintenance Cost Task Force*.
- Kinison, H. A. (2004). *Aviation Maintenance Management*. New York: McGraw-Hill.
- Marušić, Ž., Galović, B., & Pita, O. (2015). Optimizing maintenance reliability program for small fleets. *Transport*, 174-177.
- Torell, W., & Avelar, V. (2010). Mean Time Between Failure: Explanation and Standards. *White Paper 78 - APC Schneider Electric*.
- Verma, V., Gagliardi, F., & Ferretti, C. (2009). On pooling of data and measures. *Working Paper*.