



**Instituto Superior de Economia e Gestão**

UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA

**MESTRADO EM GESTÃO E ESTRATÉGIA INDUSTRIAL**

**MODELIZAÇÃO DO SISTEMA DE MANUTENÇÃO DO MOTOR  
F100-PW-220E DA FORÇA AÉREA PORTUGUESA**

**SÓNIA MARIA ESTÊVÃO PIRES DOS SANTOS**

**Orientação:** Professora Doutora Maria Cândida Vergueiro Monteiro Cidade Mourão

**Co-Orientação:** Professor Dr. António da Ascensão Costa

**Júri:**

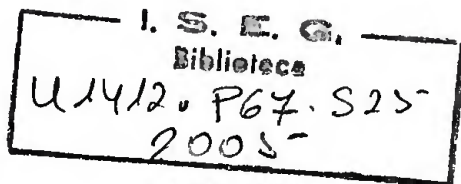
**Presidente:** Professor Doutor Alberto Augusto Ferreira Pereira

**Vogais:** Professor Doutor Rui José de Sousa Carvalho

Professora Doutora Maria Cândida Vergueiro Monteiro Cidade Mourão

Professor Dr. António da Ascensão Costa

Outubro/2005



RESERVADO



**Instituto Superior de Economia e Gestão**

UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA

**MESTRADO EM GESTÃO E ESTRATÉGIA INDUSTRIAL**

**MODELIZAÇÃO DO SISTEMA DE MANUTENÇÃO DO MOTOR  
F100-PW-220E DA FORÇA AÉREA PORTUGUESA**

**SÓNIA MARIA ESTÊVÃO PIRES DOS SANTOS**

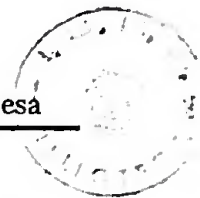
**Orientação:** Professora Doutora Maria Cândida Vergueiro Monteiro Cidade Mourão  
**Co-Orientação:** Professor Dr. António da Ascensão Costa

**Júri:**

**Presidente:** Professor Doutor Alberto Augusto Ferreira Pereira

**Vogais:** Professor Doutor Rui José de Sousa Carvalho  
Professora Doutora Maria Cândida Vergueiro Monteiro Cidade Mourão  
Professor Dr. António da Ascensão Costa

Outubro/2005



## ÍNDICE

Índice de Quadros.....	iv
Índice de Figuras.....	v
Índice de Gráficos.....	vi
Resumo.....	vii
<i>Abstract</i> .....	viii
Glossário de Termos.....	ix
Glossário de Acrónimos.....	xiii
Agradecimentos.....	xv

## **Introdução.....1**

### Parte I - Enquadramento do Tema

<b>1.</b>	<b>A Aeronave F-16 <i>Fighting Falcon</i>.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1.</b>	<b>Breve Resenha Histórica, Características e Capacidades.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2.</b>	<b>O F-16 <i>Fighting Falcon</i> em Portugal.....</b>	<b>8</b>
<b>1.2.1.</b>	<b>A Introdução da Frota.....</b>	<b>8</b>
<b>1.2.2.</b>	<b>Missões.....</b>	<b>9</b>
<b>1.3.</b>	<b><i>Mid-Life Update, Falcon Up e Falcon Star</i>.....</b>	<b>12</b>
<b>1.4.</b>	<b>A Substituição da Frota.....</b>	<b>15</b>
<b>2.</b>	<b>O Motor F100-PW-220E.....</b>	<b>20</b>
<b>2.1.</b>	<b>Principais Características.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.</b>	<b>Transformação de Motores.....</b>	<b>26</b>
<b>3.</b>	<b>Conceitos e Filosofias da Manutenção.....</b>	<b>27</b>
<b>3.1.</b>	<b>Definições e Objectivos da Manutenção.....</b>	<b>27</b>
<b>3.2.</b>	<b>Níveis e Escalões da Manutenção.....</b>	<b>29</b>
<b>3.3.</b>	<b>Manutenção Preventiva e Correctiva.....</b>	<b>31</b>
<b>3.4.</b>	<b>Manutenção Centrada na Fiabilidade e Manutenção Condicionada..</b>	<b>35</b>
<b>4.</b>	<b>As Estruturas Orgânicas e os Sistemas de Informação da Manutenção da Aeronave e do Motor na Força Aérea Portuguesa.....</b>	<b>37</b>
<b>4.1.</b>	<b>Organismos Responsáveis.....</b>	<b>37</b>



<b>4.1.1.</b>	<b>Direcção de Manutenção Aeronáutica.....</b>	<b>38</b>
<b>4.1.2.</b>	<b>Base Aérea nº 5.....</b>	<b>40</b>
<b>4.2.</b>	<b>Sistemas de Informação.....</b>	<b>42</b>

## Parte II - Sistema de Manutenção do Motor F100

<b>1.</b>	<b>Características do Sistema de Manutenção do Motor F100 - Factores Condicionantes do Modelo de Simulação.....</b>	<b>44</b>
<b>1.1.</b>	<b>Filosofias Subjacentes à Manutenção do Motor F100-PW-220E.....</b>	<b>49</b>
<b>1.2.</b>	<b>Conceitos Fundamentais da Metodologia de Manutenção do Motor F100-PW-220E.....</b>	<b>51</b>
<b>1.2.1.</b>	<b>Modularidade.....</b>	<b>51</b>
<b>1.2.2.</b>	<b>Prontidão, Operacionalidade e Instalação.....</b>	<b>51</b>
<b>1.2.3.</b>	<b>Níveis de Desagregação de Conjuntos.....</b>	<b>52</b>
<b>1.2.4.</b>	<b>Unidades de Monitorização.....</b>	<b>53</b>
<b>1.2.5.</b>	<b>Alinhamento de Intervenções.....</b>	<b>55</b>
<b>1.2.6.</b>	<b>Rigidez Dinâmica.....</b>	<b>62</b>
<b>1.3.</b>	<b>Intervenções Programadas Definidas para o Motor F100 e Respectivos Subconjuntos.....</b>	<b>63</b>
<b>1.3.1.</b>	<b>Regras de Inspeção Periódica do Motor.....</b>	<b>64</b>
<b>1.3.2.</b>	<b>Regras de Inspeção Periódica dos Módulos e do Sub-Módulo.....</b>	<b>65</b>
<b>1.3.3.</b>	<b>Manutenção Não Programada.....</b>	<b>68</b>
<b>1.4.</b>	<b>Gestão da Manutenção dos Motores F100 em Portugal.....</b>	<b>70</b>
<b>1.4.1.</b>	<b>Práticas Actuais.....</b>	<b>70</b>
<b>1.4.2.</b>	<b>Custos da Manutenção.....</b>	<b>72</b>

## Parte III - Desenvolvimento de um Modelo de Simulação Destinado ao Estudo da Descontinuação da Frota Nacional de Motores F100

<b>1.</b>	<b>Objectivos e Metodologia.....</b>	<b>74</b>
<b>2.</b>	<b>Modelo de Simulação.....</b>	<b>75</b>
<b>2.1.</b>	<b>Breve Panorâmica do Funcionamento do Modelo.....</b>	<b>76</b>
<b>2.2.</b>	<b>Vertente <i>Access</i>.....</b>	<b>78</b>
<b>2.2.1.</b>	<b>Estrutura de Tabelas.....</b>	<b>78</b>
<b>2.2.2.</b>	<b>Dados.....</b>	<b>82</b>
<b>2.3.</b>	<b>Vertente <i>Visual Basic for Applications</i>.....</b>	<b>83</b>

<b>2.3.1. Regras e Simplificações Consideradas na Concepção do Modelo.....</b>	<b>84</b>
<b>2.3.2. Rotinas.....</b>	<b>91</b>

## Parte IV - Estudo da Descontinuação da Frota Nacional de Motores F100

<b>1. Considerações Iniciais.....</b>	<b>106</b>
<b>2. Processo de Simulação.....</b>	<b>109</b>
<b>2.1. Parâmetros Iniciais e Intercalares de Cada Corrida.....</b>	<b>109</b>
<b>3. Resultados Finais.....</b>	<b>114</b>
<b>3.1. Apreciação Geral dos Resultados Obtidos.....</b>	<b>114</b>
<b>3.1.1. Relatório de Funcionamento da Ferramenta de Simulação.....</b>	<b>114</b>
<b>3.1.2. Estatísticas Mais Relevantes.....</b>	<b>115</b>
<b>3.2. Análise dos Resultados com Vista ao Estudo da Descontinuação da Frota de Motores.....</b>	<b>120</b>
<b>3.2.1. Metodologia de Análise.....</b>	<b>120</b>
<b>3.2.2. Outputs.....</b>	<b>122</b>
<b>3.2.3. Alternativas de Descontinuação.....</b>	<b>128</b>
<b>4. Limitações do Estudo.....</b>	<b>145</b>
<b>5. Potencialidades Não Exploradas da Ferramenta de Simulação e Trabalhos para o Futuro.....</b>	<b>147</b>
<b>Conclusão.....</b>	<b>149</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>152</b>

## Anexos

Anexo 1 - Esquema Entidade-Associação

Anexo 2 - Descrição da Estrutura das Tabelas Access

Anexo 3 - Perfil de *Overhauls* de Cada Corrida de Simulação  
e Respectivos Desvios Face à Média

## Índice de Quadros

Quadro 1 - Características do F-16 <i>Fighting Falcon</i> .....	7
Quadro 2 - Missões do F-16 <i>Fighting Falcon</i> da FAP.....	10
Quadro 3 - Concomitância Natural e Forçada Entre Inspeções.....	56
Quadro 4 - Momentos de Concomitância.....	56
Quadro 5 - Limites Simples e Absolutos.....	57
Quadro 6 - Alinhamento e Níveis de Desagregação de Conjuntos.....	61
Quadro 7 - Inspeções Programadas em Vigor.....	68
Quadro 8 - Custos de <i>Overhaul</i> .....	73
Quadro 9 - Elenco de Tabelas <i>Access</i> .....	81
Quadro 10 - Nível de Desagregação de Conjuntos e Registos Históricos.....	87
Quadro 11 - Rotinas VBA.....	91
Quadro 12 - Estados de Prontidão / Operacionalidade e de Instalação.....	105
Quadro 13 - Consumo Médio Anual de IFT, CCy e HS3.....	117
Quadro 14 - Número Médio Anual de Paragens Programadas e Não Programadas.....	119
Quadro 15 - Número Médio Anual de Avarias.....	119
Quadro 16 - Plano 3 - Descontinuação da Frota Até 2035.....	132
Quadro 17 - Plano 3 - Descontinuação da Frota Até 2035 (Continuação).....	134
Quadro 18 - Plano 2 - Descontinuação da Frota Até 2030.....	138
Quadro 19 - Plano 1 - Descontinuação da Frota Até 2025.....	141

## Índice de Figuras

Fig. 1 - F-16 <i>Fighting Falcon</i> .....	3
Fig. 2 - F-22 <i>Raptor</i> .....	15
Fig. 3 - <i>Joint Strike Fighter</i> .....	17
Fig. 4 - <i>Unmanned Aerial Vehicle</i> .....	20
Fig. 5 - Motor F100-PW-220/-220E.....	21
Fig. 6 - Secções do Motor F100-PW-220/-220E.....	23
Fig. 7 - Módulos do Motor F100-PW-220/-220E.....	24
Fig. 8 - Níveis e Escalões de Manutenção.....	30
Fig. 9 - Tipologia da Manutenção.....	32
Fig. 10 - Organograma Simplificado da Força Aérea Portuguesa.....	38
Fig. 11 - Organograma Simplificado da Base Aérea nº 5.....	41
Fig. 12 - Caminhos de Decomposição do Motor.....	48
Fig. 13 - Tolerâncias.....	58
Fig. 14 - Antecipação de Inspeções.....	59
Fig. 15 - Alinhamento de Inspeções por Antecipação.....	61
Fig. 16 - Processo de Simulação.....	91
Fig. 17 - Rotina de Geracao_de_Missoes.....	92
Fig. 18 - Rotina Trata_Missoes.....	93
Fig. 19 - Rotina Trata_Avarias.....	95
Fig. 20 - Rotina Trata_Contadores.....	97
Fig. 21 - Rotina Trata_Alinhamentos.....	100
Fig. 22 - Rotina Trata_Calendario.....	102
Fig. 23 - Rotina Trata_Custos.....	104



## Índice de Gráficos

Gráfico 1 - Curva em Forma de Banheira.....	33
Gráfico 2 - Evolução do Número Médio Anual de Motores Prontos.....	116
Gráfico 3 - Perfil Médio Global de <i>Overhauls</i> .....	117
Gráfico 4 - Corrida Consolidada vs Corrida Principal.....	121
Gráfico 5 - Corrida Consolidada vs Corrida “Menos Aproximada” .....	121
Gráfico 6 - Perfil Global Ajustado de <i>Overhauls</i> .....	123
Gráfico 7 - Perfil Não Ajustado de <i>Overhauls</i> do <i>Core</i> .....	124
Gráfico 8 - Perfil Ajustado de <i>Overhauls</i> do <i>Core</i> .....	124
Gráfico 9 - Perfil de <i>Overhauls</i> do <i>Core</i> com Desfasamento da Série dos 4000 CCy.....	125
Gráfico 10 - Perfil de <i>Overhauls</i> da HPT.....	126
Gráfico 11 - Perfil de <i>Overhauls</i> da <i>Fan</i> .....	126
Gráfico 12 - Perfil de <i>Overhauls</i> da FDT.....	127
Gráfico 13 - Perfil de <i>Overhauls</i> do <i>Augmentor</i> .....	127
Gráfico 14 - Perfil de <i>Overhauls</i> da <i>Gearbox</i> .....	128
Gráfico 15 - Perfil do Decréscimo de Módulos no Período de Descontinuação - Plano 3...136	
Gráfico 16 - Evolução dos Custos Totais Acumulados de <i>Overhaul</i> - Plano 3.....	137
Gráfico 17 - Volume Total de <i>Overhauls</i> no Período 2005 - 2035.....	137
Gráfico 18 - Perfil do Decréscimo de Módulos no Período de Descontinuação - Plano 2..139	
Gráfico 19 - Evolução dos Custos Totais Acumulados de <i>Overhaul</i> - Plano 2.....	140
Gráfico 20 - Volume Total de <i>Overhauls</i> no Período 2005 - 2030.....	140
Gráfico 21 - Perfil do Decréscimo de Módulos no Período de Descontinuação - Plano 1...142	
Gráfico 22 - Evolução dos Custos Totais Acumulados de <i>Overhaul</i> - Plano 1.....	143
Gráfico 23 - Volume Total de <i>Overhauls</i> no Período 2005 - 2025.....	143



## Resumo

A Força Aérea Portuguesa (FAP) opera, desde 1994, a aeronave F-16 *Fighting Falcon*, equipada com o Motor F100-PW-220E. Os avultados encargos decorrentes da aquisição e da sustentação de uma frota de aeronaves e, subsequentemente, de uma frota de motores, tornam obrigatória a análise cuidadosa dos ciclos de vida que lhes estão associados, por forma a permitir não só o planeamento da sua utilização operacional, como também a determinação do momento ideal para iniciar os processos conducentes à sua descontinuação e substituição. Tais processos devem ser desencadeados com uma antecedência considerável, de modo a possibilitar o reajustamento atempado da actividade das esquadras de voo envolvidas e o aprovisionamento financeiro subjacente.

Foi nesta sequência que nos propusemos desenvolver um modelo de simulação que tornasse possível a avaliação de caminhos alternativos para o *phase-out* da frota nacional de Motores F100, tendo em conta o tempo esperado de vida da parte estrutural da aeronave, que se estima esgotado, no limite, em meados da década de 30 deste século. Pretende-se, em última análise, estudar os impactos operacionais e financeiros de diferentes vias de extinção.

Para tal, combinámos o *Microsoft Access* e o *Visual Basic for Applications*. Criámos uma estrutura de tabelas destinadas a guardar os dados de operação e manutenção relevantes e redigimos uma série de rotinas capazes de fazê-los evoluir, recriando o comportamento real da frota de motores.

A concepção do modelo dependia do conhecimento aprofundado do sistema de manutenção implementado na FAP para o Motor F100. Tentámos obtê-lo através da compilação e organização de saberes teóricos e práticos inerentes à administração da frota, obtidos através de entrevistas com gestores e técnicos e da consulta de bibliografia especializada.

Dos *outputs* obtidos resultou, por fim, a construção e a análise de três planos de *phase-out* da frota de motores, respectivamente reportados a três datas possíveis para o fim da vida de serviço do F-16 *Fighting Falcon* português: 2025, 2030 e 2035.

**Palavras-Chave:** Manutenção, Motor, Aeronave, Força Aérea Portuguesa, Modelo de Simulação e *Phase-Out*.

---

## Abstract

Since 1994, the Portuguese Air Force (PoAF) operates the F-16 Fighting Falcon, powered by the F100-PW-220E turbofan. The high costs involved in the acquisition and maintenance of this kind of aircraft and engine fleets enforce a careful analysis of the corresponding life cycles, in order to rightfully plan its long term deployment and to determine the adequate moment to begin its extinction and replacement. Such extinction must be planned in advance, to allow timely operational and financial readjustments.

Consequently, we decided to develop a simulation model through which we can study alternative phase-out paths, considering that the aircraft is supposed to last until after 2030. Our ultimate goal is to measure the overall impacts of different extinction options.

To accomplish this objective we combined Microsoft Access and Visual Basic for Applications. The necessary operation and maintenance data was kept in a table structure specially built to store it (Access) and we wrote a series of algorithms that force that data to evolve, imitating reality (VBA).

The model conception process obliged us to know as widely and deeply as we possibly could the Portuguese F100 Engine maintenance system. The information gathered from technicians and specialized literature was therefore compiled and organized.

The obtained outputs allowed us to construct and analyze three alternative ways of phasing-out the engine fleet, which correspondently report to three possible ending years for the Portuguese F-16 Fighting Falcon life cycle: 2025, 2030 and 2035.

**Key Words:** Maintenance, Engine, Aircraft, Portuguese Air Force, Simulation Model and Phase-Out.

## Glossário de Termos

### Andar (Compressores e Turbinas)

Cada andar de um compressor ou de uma turbina corresponde a uma secção formada por um disco estático, no qual se fixam *blades* estatoras, e por um disco rotativo, no qual se fixam *blades* rotoras.

### Aviónico

Sistema electrónico de aplicabilidade intrinsecamente aeronáutica.

### Blades

As *blades* são pás metálicas que integram compressores e turbinas. Designam-se estatoras quando montadas em discos estáticos e rotoras quando montadas em discos rotativos.

### Canibalização

Expediente por intermédio do qual, por falta de *spares*, se removem partes de um órgão indefinidamente imobilizado para instalação noutro, do mesmo tipo, cuja reparação e reentrada ao serviço é considerada prioritária.

### Canopy

Estrutura translúcida e amovível que separa o *cockpit* de algumas aeronaves de pequeno/médio porte do meio ambiente e cuja deslocação permite o acesso ao interior do avião.

### Compressor

Mecanismo formado por vários andares de *blades* estatoras e rotoras cujo propósito é o de comprimir o ar escoado através do motor, uma vez que o processo de combustão não produziria energia suficiente para gerar a força propulsora necessária se dependesse da mistura do combustível com ar à pressão atmosférica.

## **Configuração**

Este termo pode ter, neste contexto, três acepções:

- Conjunto de cargas externas com que uma aeronave de guerra parte para uma missão - essas cargas podem traduzir-se em armamento, *pods* e/ou tanques de combustível suplementares;
- Conjunto de *part numbers* instalados numa aeronave, num motor ou noutro órgão;
- Conjunto de *serial numbers* instalados numa aeronave, num motor ou noutro órgão.

## **Corrosão**

Fenómeno físico-químico que resulta na degradação, por oxidação, dos equipamentos fabricados pelo homem, em especial os de natureza metálica. Embora possa ter diferentes origens, a corrosão deriva, nomeadamente, do contacto desses equipamentos com o meio ambiente e é agravada pela presença de algumas substâncias, como é o caso do sal, de agentes poluentes e de temperaturas muito elevadas.

## **Fadiga**

Fenómeno provocado por tensões dinâmicas, ou seja, pela alternância entre esforços de intensidades diferentes, que se traduz na diminuição da resistência mecânica dos materiais. A fadiga é detectada através das fissuras a que dá origem.

## **Operações Aéreas Combinadas**

Operações militares que integram Forças Aéreas de dois ou mais Estados.

## **Operações Conjuntas**

Operações militares levadas a cabo por mais de um Ramo das Forças Armadas.

### **Part Number (Número de Peça)**

Código atribuído pelo respectivo fabricante a todas as peças do mesmo tipo. Este código identifica a finalidade e a localização da peça no sistema de que fazem parte, mas não permite distinguir duas peças iguais entre si.

### **Phase-Out**

O *phase-out* traduz-se no conjunto de medidas adoptadas com vista à retirada progressiva de serviço de um dado sistema. Se se tratar de um conjunto de sistemas, como é o caso de uma frota de aeronaves ou de motores, pode concretizar-se através da redução crescente dos tempos de funcionamento que lhe estão associados e/ou da supressão definitiva e gradual dos elementos que o compõem. Descontinuação.

### **Pod**

É uma espécie de casulo metálico opcionalmente colocado na fuselagem das aeronaves onde são alojadas diferentes tecnologias de natureza electrónica, destinadas a aumentar as capacidades intrínsecas do avião.

### **Potencial**

Também designado por *hard time*, consiste no “tempo” de operação disponível entre duas acções de manutenção programada do mesmo tipo. Esse “tempo” não corresponde forçosamente a tempo de calendário, podendo medir-se em tempo de funcionamento ou em unidades de desgaste.

### **Reparável**

Componente susceptível de várias inspecções/reparações antes de ser definitivamente dado como incapaz.

### **Rotável**

Reparável susceptível de transitar entre órgãos do mesmo tipo.

### **Serial Number (Número de Série)**

Código que distingue entre si peças com o mesmo *part number*. Este código, que identifica inequivocamente os órgãos aos quais é atribuído, só se aplica, nestes termos e no contexto em apreço, ao motor e aos seus subconjuntos mais importantes. No que às componentes menores diz respeito, o número de série indica apenas o lote a que pertencem.

### **Spares**

Motores, subconjuntos e componentes guardados em *stock*, em plenas condições de funcionamento. Sobressalentes.

### **Superioridade Aérea**

Grau de controlo do espaço aéreo, que permite neutralizar grande parte da ameaça proveniente dos meios aéreos e mísseis superfície-ar do inimigo, por forma a garantir a continuidade nas operações militares amigas com um risco de atrição mínimo.

### **Supremacia Aérea**

É o máximo grau de controlo do espaço aéreo a que se pode aspirar. Significa que a componente inimiga é inexistente ou foi neutralizada ou destruída, a pontos de se tornar inofensiva para as operações militares amigas.

### **Turbina**

Mecanismo formado por vários andares de *blades* estatoras e rotoras cujo propósito é o de permitir o escoamento, para o exterior, do ar entretanto comprimido pelo motor. Aproveita a energia que o ar pressurizado e aquecido em escape produz à sua passagem para transmitir o movimento rotativo daí resultante ao compressor, ao qual está ligado por meio de um veio.

## Glossário de Acrónimos

AB - *Afterburner*  
ABC - *Afterburner Cycles*  
ABT - *Afterburner Time*  
ACT - *Air Combat Training*  
AER - Motor na AERonave  
A-G Nav - *Air-to-Ground Navigation*  
A-G Range - *Air-to-Ground Range*  
AIM - *Air Intercept Missile*  
AUG - *Augmentor*  
AWI - *All Weather Interceptor*  
BA 4 - Base Aérea nº 4  
BA 5 - Base Aérea nº 5  
BVR - *Beyond Visual Range*  
CAP - *Combat Air Patrol*  
CCy - *Calculated Cycles*  
CEDS - *Comprehensive Engine Diagnostic System*  
CEMFA - Chefe de Estado-Maior da Força Aérea  
CENC - *Convergent Exhaust Nozzle Control*  
CI - *Component Indenture*  
CII - *Configured Item Identifiers*  
CIP - *Component Improvement Program*  
CLAFA - Comando Logístico e Administrativo da Força Aérea  
COFA - Comando Operacional da Força Aérea  
CPESFA - Comando de Pessoal da Força Aérea  
CTOL - *Conventional Take-Off and Landing*  
CWI - *Clear Weather Interceptors*  
DEEC - *Digital Electronic Engine Control*  
DMA - Direcção de Manutenção de Aeronáutica  
DMT - Motor DesMonTado  
DSB-RSB - *Disassembly-Reassembly*  
EA - Entidade-Associação  
EDU - *Engine Diagnostic Unit*  
ELMP - *Extended Life Management Plan*  
EMFA - Estado-Maior da Força Aérea  
EMMS - *Engine Maintenance Management System*  
EMS - *Engine Monitoring System*  
EOT - *Engine Operating Time*  
EPAF - *European Participating Air Forces*  
EUA - Estados Unidos da América  
FAP - Força Aérea Portuguesa  
FCF - *Functional Check Flight*  
FDT - *Fan Drive Turbine*  
Ferry Inst - *Ferry Instruments*  
FOD - *Foreign Object Damage*  
FTIT - *Fan Turbine Inlet Temperature*

GBX - *Gearbox*  
HPC - *High Pressure Core*  
HPT - *High Pressure Turbine*  
HS1 - *Hot Section Time 1*  
HS2 - *Hot Section Time 2*  
HS3 - *Hot Section Time 3*  
HS4 - *Hot Section Time 4*  
IFT - *In-Flight Time*  
IGFA - *Inspecção-Geral da Força Aérea*  
Intcp - *Interception*  
JSF - *Joint Strike Fighter*  
LCF - *Low Cycle Fatigue*  
LPT - *Low Pressure Turbine*  
MAN - *Manual Cycle*  
MIDAS - *Maintenance Integrated Data Access System*  
MLU - *Mid Life Update*  
MNFP - *Multinational Fighter Program*  
MTBF - *Mean Time Between Failures*  
MTTR - *Mean Time to Repair*  
NATO - *North Atlantic Treaty Organization*  
NSDV - *Next Scheduled Depot Visits*  
OCM - *On Condition Maintenance*  
OCU - *Operational Capability Upgrade*  
OFP - *Operational Flight Programs*  
OGMA - *Oficinas Gerais de Material Aeronáutico*  
OH - *OverHaul*  
PRI - *Primary*  
Radar - *RADio Detection And Ranging*  
RCM - *Reliability-Centered Maintenance*  
REM - *Motor REMovido da Aeronave*  
rpm - *Rotações por Minuto*  
SEC - *Secondary Engine Control*  
SIGMA - *Sistema de Informação de Gestão de Manutenção e Abastecimento*  
SIGOP - *Sistema de Informação e Gestão Operacional*  
STOVL - *Short Take-Off and Vertical Landing*  
T.C.T.O. - *Time Compliance Technical Orders*  
T.O. - *Technical Orders*  
TLP - *Tempo Limite do Potencial*  
Trans Conv - *Transition Conversion*  
u.m. - *Unidades de Monitorização*  
UAV - *Unmanned Aerial Vehicles*  
UCAV - *Unmanned Combat Aerial Vehicles*  
UKRN - *United Kingdom Royal Navy*  
USAF - *United States Air Force*  
USMC - *United States Marine Core*  
USN - *United States Navy*  
VBA - *Visual Basic for Applications*  
WVR - *Within Visual Range*



## Agradecimentos

Agradeço a todos que de forma directa ou indirecta contribuíram para que esta dissertação fosse levada a bom porto:

- Em primeiro lugar à minha mãe, pelo apoio incondicional e por acreditar sempre.
- À minha orientadora científica, a Sr.<sup>a</sup> Professora Doutora Cândida Mourão, por ter aceite o desafio, pela paciência demonstrada e principalmente pela forma exigente como exerceu a sua função.
- Ao meu Co-Orientador, o Sr. Professor Dr. António Costa.
- Aos militares que facilitaram a realização deste trabalho:

Sr. General Pires Castanheira;

Sr. General Araújo Pinheiro;

Sr. Tenente-Coronel Carlos Leitão;

Sr. Tenente-Coronel Fernando Barbosa.

- Aos militares da DMA, da Esquadra de Material da Base Aérea nº 5 e da Esquadra 201, entre os quais conto alguns amigos, que acederam colaborar, através da disponibilização dos dados solicitados, da partilha da sua experiência e dos seus conhecimentos e/ou do esclarecimento das muitas dúvidas que, inevitavelmente, surgiram:

Sr. Coronel Jorge Aires;

Sr. Coronel Rui Gomes;

Sr. Major José Morgado;

Sr. Major João Caldas;

Sr. Capitão Manuel Soares;

Sr. Capitão Paulo Carvalho;

Sr. Capitão Mário Figueiredo;

Sr. Capitão Carlos Batalha;

Sr.<sup>a</sup> Capitão Isabel Machado;

Sr. Capitão Luís Meireles;

Sr. Capitão Pedro Gabriel;

Sr. Alferes José Reis;

Sr. Sargento-Ajudante Afonso Prata;

Sr. Primeiro-Sargento Paulo Major;

Sr. Primeiro-Sargento Joaquim Gomes;

Sr. Primeiro-Sargento José Costa.

- A todos os outros militares envolvidos que, por lapso, não tenham sido mencionados.

- Aos meus amigos, em particular, à Joana Rocha, à Fátima Bento, ao Paulo Bento, à Cristina Fachada, à Susana Abelho, à Vera Marques, à Manuela Lima e ao Francisco Fernandes pelas ajudas que me deram e pelo incentivo.

- Aos meus colegas do Ministério da Defesa: Ricardo Rolo, Armanda Regadas, Sónia Dias e Mónica Costa pelo suporte “logístico-informático” e ao João Barroso, pelo apoio tipográfico.

Deixei propositadamente para o fim as duas pessoas a quem fico a dever as mais determinantes colaborações técnicas e sem as quais teria não sido obter os resultados apresentados. São elas:

- O Sr. Capitão Rocha Pinto, por ter convertido para *Visual Basic for Applications* as rotinas que escrevi e que constituem, afinal, o motor do modelo de simulação desenvolvido, e também por, não raras vezes, me ter ajudado a organizar ideias e a ultrapassar impasses;

- O Sr. Sargento-Ajudante Vítor Ramalho que, com uma invulgar paciência e de forma absolutamente incansável, pôs à minha disposição os vastos conhecimentos e a experiência que detém na área da manutenção do Motor F100 e me ensinou grande parte do que, agora, acerca desse tema sei.

A todos, muito obrigada.

## Introdução

Pretende-se, por meio deste trabalho, desenvolver um modelo de simulação que se preste ao estudo da descontinuação escalonada da frota nacional de Motores F100-PW-220E responsáveis pela propulsão do F-16 *Fighting Falcon* da Força Aérea Portuguesa.

O fim da vida de serviço da aeronave não acontecerá, tanto quanto se prevê, antes de meados da década de 2020. Contudo, as decisões político-militares conducentes à sua retirada de serviço têm de ser tomadas com uma antecedência apreciável. Por um lado, têm de considerar-se as implicações operacionais de longo prazo da extinção e subsequente substituição da frota. Por outro, os encargos que daí resultam têm de ser atempadamente acautelados.

Mas a antecedência não é tudo. A forma escolhida para conduzir o *phase-out* da frota de motores, que deve acontecer em estreita articulação com os planos para a descontinuação do avião, não é indiferente em termos de custos, podendo ser mais ou menos dispendiosa. Propusemo-nos, por conseguinte, avaliar alternativas de descontinuação cujo principal objectivo é a rentabilização dos motores, de modo a reduzir os desperdícios económico-financeiros decorrentes de uma utilização não racionalizada do seu potencial - a despesa inerente às revisões gerais dos módulos que constituem o motor representam cerca de 70% da despesa total com a sustentação do F-16. O modelo concebido visa, portanto, constituir-se como uma ferramenta útil na construção de cenários.

Dividimos o nosso trabalho em quadro partes:

Na **primeira**, começamos por enquadrar o tema, através da apresentação da Aeronave F-16 *Fighting Falcon* e, em particular, do Motor F100-PW-220E, da *Pratt & Whitney*, que a equipa. Abordamos, depois, a manutenção em sentido amplo, definindo-a por intermédio do conceito e dos objectivos. Vemos, por fim, como se organiza a Força Aérea Portuguesa em torno da manutenção da aeronave e do motor e os sistemas de informação de que se socorre para desenvolver essa actividade.

Numa **segunda** etapa, dedicamo-nos à descrição dos factores que serviram de base à concepção do modelo de simulação. Caracterizamos as filosofias e os principais aspectos metodológicos que subjazem à manutenção do motor, ficamos a conhecer as intervenções programadas e não programadas aplicáveis e terminamos com um breve olhar sobre as práticas actuais de gestão desenvolvidas, no contexto, pela FAP.

Dada a escassez de literatura sobre as matérias tratadas, baseámo-nos, no que a esta parte diz respeito, sobretudo, nos depoimentos recolhidos junto dos especialistas nacionais na manutenção do Motor F100, numa tentativa de estruturar saberes e organizar ideias.

Na **terceira** parte, debruçamo-nos sobre o modelo de simulação propriamente dito. Explicamos de que forma o *Access* e o *Visual Basic for Applications* foram combinados para dar origem à ferramenta projectada. Nesta sequência, apresenta-se a estrutura dos dados e descrevem-se as rotinas programadas.

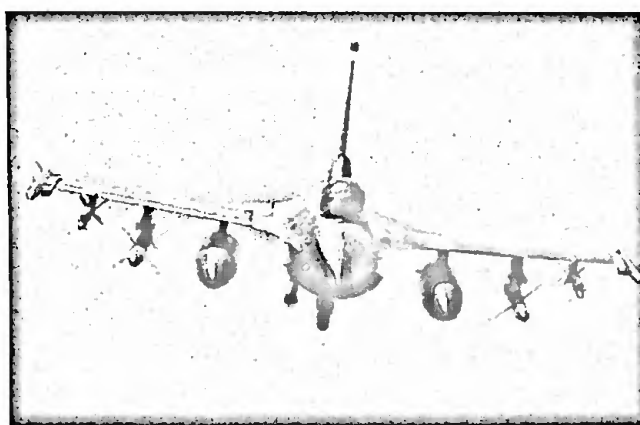
Por fim, na **quarta** e última parte, chegamos ao propósito máximo da dissertação, ou seja, o estudo da descontinuação da frota de motores. Considerámos três datas admissíveis para o termo da vida de serviço da aeronave em apreço - 2025, 2030 e 2035 - e, em volta delas, construímos, respectivamente, três planos de descontinuação progressiva da frota, que, obedecendo a uma série de pressupostos base, nos possibilitou quantificar as poupanças deles decorrentes e definir escalonamentos possíveis para a retirada de serviço dos motores.

## Parte I - Enquadramento do Tema

### 1. A Aeronave F-16 *Fighting Falcon*

O objecto desta dissertação é, como referimos, a manutenção do Motor *Pratt & Whitney* F100-PW-220E, no seio da Força Aérea Portuguesa. Contudo, parece-nos adequado começar por apresentar a aeronave militar que equipa - o F-16 *Fighting Falcon*.

Fig. 1 - F-16 *Fighting Falcon*



#### 1.1. Breve Resenha Histórica, Características e Capacidades

No início da década de 70 e, portanto, em plena Guerra Fria, a *United States Air Force* (USAF), tentando consolidar a superioridade aérea dos Estados Unidos, define, como objectivo prioritário, a concepção de uma aeronave possuidora de uma relação peso-potência capaz de suplantar, no combate ar-ar, a performance das aeronaves da geração anterior. É neste contexto que surge o F-16 *Fighting Falcon*.

Mantendo-se a impulsão constante, o caminho para se alcançar a razão de peso-potência desejada passava pela construção de um avião de guerra que se distinguisse pela sua leveza. Neste âmbito, e sem quaisquer compromissos no que respeita a contratos de fabricação posteriores, são convidados dois construtores para, com total liberdade, apresentarem propostas, partindo de um pequeno número de requisitos técnicos.

O produto das pesquisas da *General Dynamics*, entretanto absorvida pela *Lockheed Martin Corporation*, mostrou, após um longo processo de testes, estar à altura das expectativas da USAF, oferecendo condições de servir melhor os seus interesses estratégicos, operacionais e económico-financeiros do que a aeronave concebida, no mesmo contexto, pela *Northrop*.

Tendo ficado bem claras as potencialidades do YF-16, o protótipo da *General Dynamics*, decidiu-se, então, avançar para a produção do F-16, um avião a jacto, monomotor, com um perfil esguio e contornos aerodinâmicos singulares, que viria a assumir duas morfologias de base distintas, variáveis com o número de tripulantes - um ou dois - correspondendo a cada uma delas, respectivamente, os modelos F-16A e F-16B.

Em termos de capacidades e características, muitas delas inovadoras, o F-16 *Fighting Falcon* destacou-se, entre outras, pelas seguintes:

- Concepção modular que, através da intermutabilidade de partes entre aeronaves, facilita os trabalhos de manutenção e aumenta o número de meios prontos para o voo;
- Grande manobrabilidade;
- Elevado raio de acção, entendido como a distância que é capaz de voar para se deslocar ao local do confronto, combater e regressar;
- Excelente performance do sistema de armas, garantindo uma precisão superior na localização e abate de alvos fixos e móveis;
- Alta resistência estrutural às acelerações gravitacionais (múltiplas de g, que corresponde à aceleração gravitacional à superfície da terra), suportando cargas que podem ultrapassar o seu peso em mais de 9 vezes, ou seja, cargas superiores a 9 gs;
- *Canopy* desenhada por forma a assegurar ao piloto uma ampla visibilidade em todas as direcções;
- Ângulo de inclinação da cadeira de 30°, em contraste com os habituais 13°, solução que aumenta o conforto do piloto, bem como a sua tolerância às acelerações gravíticas;
- Comandos de voo eléctricos e geridos por computador, que dispensam a tradicional transmissão mecânica, dependente de tirantes e cabos - esta característica é comumente designada pela expressão *fly-by-wire*;

- Manípulo dos comandos de voo:
  - Colocado à direita do piloto, em vez de ao centro, como acontecia nas aeronaves da geração anterior,
  - Muito sensível, bastando discretas pressões para transmitir a toda a estrutura os sinais eléctricos indutores da manobra;
- Sistema de navegação por inércia de alta precisão, com ligação ao computador de bordo;
- Sistema de apoio à aterragem por instrumentos;
- Sistemas de contra-medidas<sup>1</sup> e de empastelamento<sup>2</sup> de radar, eficazes contra a maioria das novas ameaças, electrónicas ou decorrentes de mísseis guiados.

A aeronave viria a ser fabricada através de um consórcio, criado em 1975, que integrou originalmente os Estados Unidos e quatro outros países membros da *North Atlantic Treaty Organization* (NATO) - a Bélgica, a Holanda, a Noruega e a Dinamarca. Mais tarde, em 1990, o consórcio alarga-se, acolhendo um sexto membro: Portugal.

A *joint venture*, que ficaria conhecida como *Multinational Fighter Program* (MNFP), reuniu, em torno de objectivos comuns, a USAF e as *European Participating Air Forces* (EPAF), ou seja, as cinco Forças Aéreas dos países europeus envolvidos no programa. O nosso país não teve, como os restantes, responsabilidades no desenvolvimento e na produção do F-16 *Fighting Falcon*, mas juntou-se-lhes como utilizador de um recurso militar comum. O Secretário da Defesa dos Estados Unidos, William S. Cohen, disse na altura, a propósito da adesão nacional, que “a participação de Portugal no projecto beneficia todas as nações envolvidas e contribui, em particular, para que o país alcance a meta de operar meios que são comuns aos restantes membros da NATO - o ingresso de Portugal fortalece o MNFP e, em última análise, a própria Aliança Atlântica.” Acrescentou ainda que “a entrada de um sexto membro permite otimizar a repartição dos custos e a performance de F-16 continuamente melhorados.” [50]

As vantagens decorrentes da produção e da utilização partilhada prendem-se, por um lado, com a transferência de tecnologia entre os países integrantes do consórcio. Por outro, observam-se sinergias resultantes da uniformização, tanto ao nível operacional, se se pensar nas acções aéreas combinadas, como também ao nível da prontidão, dado que a logística subjacente ao aprontamento de aeronaves se torna comum.

---

<sup>1</sup> As contra-medidas destinam-se a despistar o fogo inimigo.

<sup>2</sup> O empastelamento traduz-se na difusão de sinais capazes confundir as comunicações adversárias, neste caso, os radares.

O voo inaugural da primeira versão do F-16 realizou-se em Dezembro de 1976, entrando ao serviço da USAF cerca de dois anos depois, em Janeiro de 1979.

O modelo original, primariamente destinado ao combate ar-ar, traduzível no confronto directo entre aeronaves, veio, *a posteriori*, a revelar-se uma arma poderosa nas operações de ataque ao solo, que visam o bombardeamento de alvos terrestres. O F-16 impõe-se, assim, como uma aeronave multifacetada, com capacidade para desempenhar diferentes missões.

Reflectindo os constantes avanços tecnológicos verificados no domínio da indústria aeronáutica militar, os modelos menos sofisticados do F-16 foram evoluindo, dando origem a vários blocos. Os blocos permitem destringir as diferentes configurações da aeronave que, como acabámos de referir, foi sendo alvo de incrementos técnicos sucessivos e materializam-se em novos painéis de furações, destinados à passagem de cablagens eléctricas cada vez mais complexas.

Nesta sequência, a designação F-16A/B abrange os blocos 1, 5, 10, 15, 15 OCU (*Operational Capability Upgrade* - versão melhorada do bloco 15) e 20. Por outro lado, as versões mais recentes, fabricadas já sob a designação de F-16C/D, em que uma vez mais as letras correspondem, respectivamente, aos modelos monolugar e bilugar, surgem associadas aos blocos 25, 30/32, 40/42, 50/52 e 60.

No sentido de tornar a numeração dos blocos mais esclarecedora, optou-se, a partir de determinado ponto, por usar o algarismo das unidades para identificar o fabricante do motor incorporado, associando-se o zero à *General Electric* e o dois à *Pratt & Whitney* - são os casos dos blocos 30/32, 40/42, 50/52 e 60.

Os blocos podem, ainda, subdividir-se em mini-blocos, identificados por letras acrescentadas sob a forma de sufixos (exemplo: bloco 15S).

O F-16 MLU (*Mid Life Update*), do qual falaremos adiante com maior detalhe, é a mais actual versão da aeronave, à data. Por constituir um *upgrade* especial, escapa à apresentada lógica dos blocos.

Vários países, além dos já referidos, integraram o F-16 *Fighting Falcon* nas suas Forças Aéreas. Nos dias de hoje, este avião opera em mais de 20 países.

Para finalizar esta breve apresentação da aeronave, listam-se de seguida, sob a forma tabelar, algumas informações adicionais, que, simultaneamente, resumem e completam a sua caracterização.



**Quadro 1 - Características do F-16 *Fighting Falcon***

	F-16A/B	F-16C/D
CONSTRUTOR	<i>Lockheed Martin Corporation</i>	
MOTOR	1 <i>Turbofan Pratt &amp; Whitney</i> com <i>Afterburner</i> (Modelo F100)	1 <i>Turbofan Pratt &amp; Whitney</i> com <i>Afterburner</i> (Modelo F100) Ou 1 <i>Turbofan General Electric</i> com <i>Afterburner</i> (Modelo F110)
POTÊNCIA	24000 Libras	27000 Libras
COMPRIMENTO	14,8 Metros	
ALTURA	4,8 Metros	
ENVERGADURA	9,8 Metros	
VELOCIDADE MÁXIMA	Aproximadamente <i>Mach 2</i> a 40000 Pés	
TECTO	Acima dos 50000 Pés	
PESO MÁXIMO À DESCOLAGEM	16,875 Toneladas	
AUTONOMIA	Acima dos 3900 Km (Com Tanques Externos de Combustível)	
ARMAMENTO	1 Canhão M-61A1 de 20 mm; Estações Externas com Capacidade para Transportar Até 6 Mísseis AIM-9; Munições Convencionais Ar-Ar e Ar-Terra; <i>Pods</i> de Contra-Medidas Electrónicas	
CUSTO UNITÁRIO (Preços de 1998)	14,6 Milhões de Dólares	18,8 Milhões de Dólares
TRIPULAÇÃO	A – 1 Tripulante B – 2 Tripulantes	C – 1 Tripulante D – 2 Tripulantes

Em suma, o F-16, tal como qualquer outra aeronave com poder de fogo, constitui um sistema de armas, que pode definir-se como o conjunto formado pelas armas, propriamente ditas, e por todos os equipamentos e estruturas que possibilitam o seu emprego. Resulta, portanto, evidente a ideia de que o avião, constituído pela célula ou fuselagem, pelo grupo propulsor e pelos diferentes sistemas de apoio, não é senão uma plataforma a partir da qual é projectado o armamento que transporta e que justifica, em última análise, a sua existência.

A aeronave foi empregue, com reconhecido sucesso, nas duas Guerras do Golfo e no conflito Sérvio-Bósnio.

## 1.2. O F-16 *Fighting Falcon* em Portugal

### 1.2.1. A Introdução da Frota

O Estado Português aderiu, em 1990, ao programa *Peace Atlantis*, através do qual acordou, com os EUA, a aquisição de 17 F-16A e 3 F-16B, todos novos, pertencentes ao bloco 15 OCU e equipados com Motores F100-PW-220E usados. Na determinação do valor do negócio teve-se em conta a utilização que aquele país faz da Base Aérea das Lajes (Base Aérea nº4 - BA 4), nos Açores. O programa contemplava, ainda, uma vertente de apoio logístico que, por intermédio dos recursos dispensados, materiais (sobressalentes, ferramentas, publicações técnicas, entre outros equipamentos) e humanos (incumbidos da formação de pilotos e pessoal da manutenção), visava garantir a sustentação inicial da frota.

As primeiras aeronaves chegaram a Portugal em 1994 e destinavam-se a integrar a Esquadra 201, sediada na Base Aérea de Monte Real (Base Aérea nº5 - BA 5) e responsável, em particular, pela defesa aérea do nosso território, uma missão que, em caso de conflito ou de ameaça, pode culminar em confrontos ar-ar. O bloco 15 OCU confere-lhes capacidades de *Clear Weather Interceptors* (CWI), ou seja, de caças interceptores “calibrados” para condições meteorológicas favoráveis (céu limpo e boa visibilidade). Isto significa que, pelas características dos seus aviónicos (radares, sistemas de aquisição de alvos, sistemas de guerra electrónica, etc.), não estão especialmente vocacionadas para voos nocturnos e/ou efectuados em situações atmosféricas adversas, nem para neutralizar ameaças aéreas ou terrestres a grandes distâncias.

Neste caso, o sucesso depende sobretudo de se conseguir ter os alvos à vista. O envolvimento directo com aeronaves inimigas *Within Visual Range* (WVR) designa-se, comumente, por *dogfight* e o abate de objectivos terrestres WVR por ataque ao solo.

Em 1998, e na sequência do *phase-out* da frota de Aeronaves A-7P *Corsair*, atribuídas às extintas Esquadras 302 e 304 da BA 5, faz-se sentir a necessidade de adquirir novos meios aéreos. Surge, assim, o programa *Peace Atlantis II*, por meio do qual Portugal compra, com o intuito de repor as potencialidades nacionais no domínio do ataque ao solo, a missão primária das esquadras desactivadas, 20 F-16A/B Bloco 15 norte-americanos, dos quais 16 F-16A e 4 F-16B, já usados, mas ainda no primeiro terço da vida útil. Essas aeronaves viriam equipadas com o Motor F100-PW-200C, também eles em segunda mão.

Os aviões e os motores vendidos provieram da reserva estratégica da USAF.

Paralelamente, o programa incluía a aquisição de 5 F-16A, do mesmo bloco, e de 5 Motores F100-PW-220E, como fontes de *sparcs*, a obter por canibalização, isto é, através da remoção sucessiva de partes para substituição das que nos aviões e motores operacionais se danifiquem.

Ao abrigo do acordo, os Estados Unidos comprometeram-se, uma vez mais, a dar formação aos técnicos da manutenção e a prestar apoio logístico.

Neste contexto, Portugal decidiu, ainda, adquirir *kits* de modificação, com o intuito de proceder a três tipos de *upgrades*:

- Transformação dos Motores F100-PW-200C em F100-PW-220E;
- Sujeição do segundo lote de aeronaves ao *Mid-Life Update*, que visa actualizar a tecnologia nelas incorporada;
- Sujeição do segundo lote de aeronaves aos programas *Falcon Up* e *Falcon Star*, que preconizam o reforço estrutural das fuselagens, a fim de garantir que o tempo de vida útil de 8000 horas de voo para elas previsto é, de facto, alcançado, sem que antes a fadiga dos materiais cause problemas sérios à segurança dos pilotos e à integridade dos meios.

A segunda tranche de aviões permitirá a reinstituição de uma das esquadras anteriormente equipadas com o A7-P.

As primeiras aeronaves desse lote começaram a chegar a Portugal em 2001. A sua entrada ao serviço, porém, foi condicionada ao cumprimento das modificações atrás mencionadas.

Doravante, passaremos a referir-nos às aeronaves adquiridas ao abrigo do programa *Peace Atlantis* como aeronaves da 1ª Esquadra (Esquadra 201) e às que se adquiriram por intermédio do *Peace Atlantis II* como aeronaves da 2ª Esquadra.

### **1.2.2. Missões**

Até aqui repartimos, em duas categorias, os tipos de missões susceptíveis de serem desempenhadas pelo F-16 *Fighting Falcon* - missões ar-ar e missões de ataque ao solo. Trata-se, todavia, de uma simplificação excessiva, que este ponto se encarrega de desfazer.

Sem prejuízo das demais missões que a aeronave pode levar a cabo noutros países, especificar-se-ão, aqui, apenas as atribuições da Esquadra que, em Portugal, opera o F-16 *Fighting Falcon*.

Os objectivos da Defesa Nacional, cuja consecução é da responsabilidade da FAP, são alcançados por meio das diversas Esquadras de Voo que integra e por um vasto leque de estruturas de apoio que tornam o seu desempenho possível. As Bases Aéreas são Unidades Militares territorialmente implementadas encarregues da vertente mais directa e imediata desse apoio que é prestado às Esquadras de Voo.

O F-16 *Fighting Falcon* é o recurso aéreo por intermédio do qual a Esquadra 201 e de futuro a 2ª Esquadra, ambas sedeadas na Base Aérea nº5, contribuem, em sentido restrito, para que se cumpram os propósitos da Força Aérea e, em sentido amplo, para a efectivação da Defesa Nacional. Vejamos, enfim, como.

O Quadro 2 sistematiza as missões, primárias e secundárias, da Esquadra 201, já que as que irão ser atribuídas à 2ª Esquadra estão hoje em fase de definição.

**Quadro 2 - Missões do F-16 *Fighting Falcon* da FAP**

<b>Missões 1ª Esquadra (Esq. 201)</b>	
<b>Primária</b>	Defesa Aérea
<b>Secundárias</b>	Apoio Aéreo Ofensivo Interdição Aérea

A Defesa Aérea, também designada por Luta Aérea Defensiva, visa detectar ameaças e anular ou mitigar os efeitos dos ataques aéreos inimigos. As operações a este título desenvolvidas englobam medidas passivas e activas, adoptadas correspondentemente em tempo de paz e em tempo de guerra. No primeiro caso, consubstanciam-se na vigilância permanente das aproximações ao espaço aéreo e às redes de comunicação amigas, de modo a garantir que o alerta de ataque aéreo seja dado com a máxima antecedência. No segundo, então sim, trata-se de impedir, anular ou minimizar as consequências de uma ofensiva aérea inimiga.

O Apoio Aéreo Ofensivo traduz-se em diferentes operações de suporte às manobras terrestres, exigindo elevado grau de proximidade e articulação com as forças amigas apoiadas.

A Interdição Aérea, por seu turno, visa destruir, neutralizar ou atrasar o potencial militar do adversário antes que possa causar danos às forças de superfície, mas a uma distância tal que dispensa uma coordenação pormenorizada com as suas movimentações. Embora esta missão tenha sido confiada à Esquadra 201, os aviões que hoje a equipam não podem desempenhá-la com toda a propriedade, uma vez que as suas capacidades estão limitadas aos confrontos WVR. Porém, os *upgrades* para eles previstos irão permitir-lhes actuar à distância, ou seja, lidar com ameaças *Beyond Visual Range* (BVR).

Confirma-se, como há partida dissemos, a versatilidade da aeronave que se presta tanto a missões WVR de envolvimento directo com o inimigo, no ar ou à superfície, como, quando para tal preparadas, a actuações BVR, destinadas a enfraquecer, à distância, o poderio militar e as infra-estruturas do adversário. Note-se, contudo, que algumas das missões atrás descritas têm subjacente um clima de grave tensão internacional.

Uma vez que estamos em tempo de paz, as vertentes da instrução e do treino ocupam um lugar de destaque no perfil de missões levadas a cabo pelos pilotos.

Esse perfil resulta da representatividade que os seguintes tipos de voo, não só de treino, assumem no tempo total de emprego operacional da aeronave:

- *Air Combat Training* (ACT): treino de combate aéreo;
- *Air-to-Ground Navigation* (A-G Nav): treino de navegação a baixa altitude;
- *Interception* (Intcp): voos de intercepção;
- *Ferry Instruments* (Ferry Inst): movimento de aeronaves, entre Bases Aéreas ou aeródromos, em Portugal ou no estrangeiro;
- *Combat Air Patrol* (CAP): patrulhamento aéreo;
- *Air-to-Ground Range* (A-G Range): treino de largada de armamento (alvos terrestres);
- *Gunnery*: treino de tiro de canhão (alvos aéreos);
- *Functional Check Flight* (FCF): voos de teste pós-manutenção profunda;
- *Transition Conversion* (Trans Conv): voos de qualificação ou requalificação de pilotos;
- Outras: nenhuma das anteriores.

O perfil de missões desempenhará um importante papel no modelo de simulação desenvolvido, como se constatará adiante.

### 1.3. *Mid-Life Update, Falcon Up e Falcon Star*

O *Mid-Life Update*, o *Falcon Up* e o *Falcon Star* são, como acabámos de ver, três tipos de modificações a que se sujeitam as aeronaves com o objectivo de melhorar a sua performance, quer ao nível operacional, através de incrementos tecnológicos capazes de aumentar a eficiência e a eficácia do voo, quer ao nível da sustentabilidade, por intermédio de reforços estruturais inibidores da inevitável fadiga dos materiais.

O programa MLU começou a ser desenvolvido em 1989, mas só nove anos mais tarde, em 1998, teve início a sua implementação em aeronaves pertencentes aos Estados Unidos e às EPAF.

Os *upgrades* que preconiza visam aumentar as capacidades dos F-16A/B, a fim de assegurar a sua utilidade operacional nos próximos dez a vinte anos, mantendo os benefícios do programa F-16 original, designadamente a cooperação industrial, uniformização e interoperabilidade.

De facto, o F-16 *Fighting Falcon*, apesar de estar ao serviço há mais de 20 anos, tem-se imposto, não só pela qualidade do seu desempenho, como também pelos atrasos no desenvolvimento da próxima geração de aeronaves, como um meio aéreo a ter em conta na resposta aos desafios que as duas primeiras décadas deste século nos reservarem. Contudo, a actualização tecnológica é condição *sine qua non* do êxito de tal intento.

O MLU surge, então, como o processo capaz de trazer para o século XXI um conceito originário dos anos 70 do século passado. Saliente-se, no entanto, a bem da verdade, que esse conceito, embora antigo, ainda está longe de estar obsoleto.

O programa não abrange todos os tipos de F-16, aplicando-se apenas às aeronaves dos blocos 10 e 15 que, depois de modificadas, adquirem potencialidades equiparáveis às dos mais recentes blocos dos F-16C/D.

O MLU otimiza as valências originais do F-16A/B enquanto CWI e acrescenta-lhe novas capacidades, transformando-o num *All Weather Interceptor* (AWI), ou seja, num meio aéreo preparado para cumprir as missões que lhe forem atribuídas, de dia ou de noite, sejam quais forem as condições atmosféricas.

Além disso, confere-lhes o poder de neutralizar alvos a grandes distâncias, sem que para tal seja necessário haver contacto visual - a aeronave converte-se, assim, numa plataforma preparada para confrontos BVR.

Isto traduz-se na maximização das hipóteses de *stand-off*, definido como a habilidade que as aeronaves têm de, autonomamente, cumprir a missão, sobreviver ao fogo inimigo e regressar em segurança.

Em linhas gerais, o MLU resulta nas seguintes alterações:

- Introdução de um novo computador de bordo, que optimiza a gestão das missões, em especial, no que concerne a identificação de alvos e o controlo de tiro;
- Instalação de um novo radar, que, em relação ao modelo anterior, aumenta em 25% a distância de detecção, independentemente da situação meteorológica;
- Implementação de aviónicos de última geração, que, entre outras funções, destinam-se a auxiliar o piloto na determinação do seu posicionamento, na navegação, na identificação de aeronaves próximas (sendo dadas como amigas ou desconhecidas), nas comunicações e na guerra electrónica;
- Reengenharia do modo como a informação é apresentada ao piloto durante os combates, o que conduz a uma melhor gestão dos múltiplos dados que tem de considerar e, em consequência, a decisões mais precisas e oportunas;
- A introdução de armamento adequado à neutralização de ameaças BVR.

O *Mid-Life Update* concretiza-se, em grande medida, por intermédio de um notável esforço de programação computacional e que tem dado origem aos chamados *Operational Flight Programs* (OFP), os pacotes de *software* usados nas aeronaves modificadas.

O dinamismo inerente ao processo de desenvolvimento desses programas determinou que se compartimentasse, em categorias M, cada nova versão do código escrito na linguagem ADA. O M1 foi, em 1998, o primeiro OFP a estar disponível, esperando-se para o corrente ano a apresentação do M4. O M5 deverá estar pronto para instalação a partir de 2009/2010 e Portugal participará no seu desenvolvimento.

Pelas capacidades que acrescenta à aeronave, o MLU implica a reformulação do treino operacional dos pilotos, que têm de qualificar-se na utilização dos novos recursos implementados.

Em Portugal, começaram por ser sujeitos ao MLU os F-16 consignados à 2ª Esquadra. A primeira aeronave modificada terminou, em 2004, a fase de testes. Hoje conta-se um total de 3 aviões actualizados. Tão logo estejam prontos os restantes 17, está planeado o MLU dos F-16 da 1ª Esquadra.



O processo culminará na desejável uniformização dos meios aéreos de duas esquadras, sedeadas na mesma Unidade Militar, mas com missões distintas.

O *Falcon Up* e o *Falcon Star*, por seu turno, visam garantir que as células (fuselagens) das aeronaves resistem às tensões sofridas e que, com o passar do tempo, podem resultar em danos graves, como, de resto, já havíamos referido.

De facto, o tipo de missões normalmente atribuído ao F-16 obriga os pilotos a tirar o máximo proveito da manobrabilidade que o caracteriza. A aeronave é, com frequência e por força de determinadas manobras de voo, exposta a cargas que não raras vezes atingem os 9 gs, significando que, nesse caso, a aceleração da gravidade a que está sujeita é, por instantes, 9 vezes maior do que a registada junto à superfície terrestre. Estes são os chamados gs positivos, uma vez que aumentam, por momentos, o peso dos corpos, ou seja, a força com que são atraídos para a terra. Mas também há gs negativos. Esses têm um efeito contrário, de repulsão. As manobras de voo capazes de induzir gs negativos são, porém, menos frequentes e intensas. Refira-se, a propósito, que as cargas suportadas pelas fuselagens não traduzem os limites máximos da aeronave, mas antes os da fisiologia humana, limitada, grosso modo, entre os 4 gs negativos e os 9 gs positivos.

Por outro lado, as diferentes configurações que a aeronave pode assumir do ponto de vista do armamento, da autonomia e das valências electrónicas - a aeronave pode voar com mísseis, bombas, depósitos externos de combustível ou *pods* alojados nas suas asas - contribuem para o agravamento do problema.

Como sabemos, o F-16A/B foi projectado para durar 8000 horas de voo. Contudo, cedo se constatou que esse tempo de vida útil poderia vir a ser irremediavelmente comprometido, pelas razões atrás descritas. Algumas aeronaves revelaram, apenas às 3500 horas de voo, preocupantes vestígios de desgaste estrutural.

Nesta sequência, foram delineados planos para pôr cobro aos primeiros sinais de fadiga do material, que assumem a forma de fissuras, e para prevenir futuras manifestações da tensão que lhes dá origem - primeiro o *Falcon Up* e depois o *Falcon Star*. Esses programas, complementares e aplicáveis a F-16 de qualquer bloco, visam áreas específicas da aeronave, mais sensíveis aos efeitos da fadiga.

Decidiu-se, também neste caso, dar prioridade aos aviões da 2ª Esquadra, que, a par das modificações inerentes ao MLU, estão hoje a ser submetidos às operações de reforço estrutural previstas naqueles programas.



A esta decisão não terá sido alheio o facto das aeronaves em questão terem chegado a Portugal já com uma parte do seu ciclo de vida consumido. Embora ao serviço da Força Aérea Portuguesa há já 10 anos, os aviões da 1ª Esquadra são, por enquanto, um pouco mais “jovens” que os adquiridos ao abrigo do programa *Peace Atlantis II*. O reforço das suas fuselagens está também previsto, mas ainda não há datas marcadas para o arranque da intervenção.

O cumprimento do ciclo de vida de 8000 horas de voo que o *Falcon Up* e o *Falcon Star* visam assegurar, deixa antever que, nalguns países, entre os quais Portugal, o F-16 ainda estará ao serviço pelo menos até 2025. Haverá, no limite, aeronaves com mais de 40 anos de desempenho operacional.

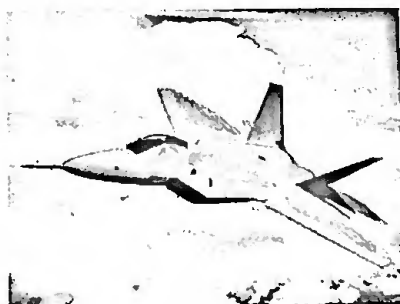
#### 1.4. A Substituição da Frota

Os planos para substituição da frota nacional de F-16 *Fighting Falcon*, entre meados da década de 20 e meados da década de 30, a existirem, são, por enquanto, classificados, isto é, estão fora do alcance público.

Não se pretende, portanto, discutir aqui eventuais decisões já tomadas ou a tomar nesta matéria pelo Governo Português, mas antes fazer uma breve apresentação das aeronaves que, nos Estados Unidos, se propõem suceder às da geração anterior - o F-22 *Raptor* e o F-35 *Joint Strike Fighter* (JSF). No médio/longo prazo estes modelos poderão afigurar-se como candidatos à substituição do F-16, tanto no nosso país como noutros.

O F-22 *Raptor* foi projectado para ocupar, progressivamente, o lugar que irá ser deixado vago pela frota americana de F-15 *Eagle*, a aeronave que, por excelência, tem assumido o papel principal no domínio do combate ar-ar. Espera-se que continue a operar, pelo menos, até 2015.

**Fig. 2 - F-22 Raptor**



O desenvolvimento do F-22 teve início no final dos anos 80 e foi entregue a uma equipa formada por engenheiros da *Lockheed Martin* e da *Boeing Aerospace*. A sua produção foi, no entanto, ganha pelo primeiro dos dois fabricantes envolvidos. Foram encomendadas 220 aeronaves, das quais 45 já estão prontas ou em vias de deixar a linha de montagem. A entrada ao serviço da nova frota está marcada para os últimos meses de 2005, embora as entregas se prolonguem, no mínimo, até ao final desta década.

O F-22 *Raptor* é uma aeronave de construção modular. Equipada com dois *turbofans* F119-PW-100, oferece, face aos caças monomotor como o F-16, uma maior segurança de voo, apesar de tal concepção penalizar mais o avião do ponto de vista estrutural.

É altamente manobrável e o *design* da sua fuselagem confere-lhe capacidades *stealth*, ou seja, torna difícil a sua detecção pelos radares. Esta é, aliás, a razão principal que explica que, ao contrário de outros caças, o F-22 beneficie da possibilidade de transportar todo o armamento no seu interior.

Para que uma aeronave seja capaz de iludir radares tem de ter linhas angulosas<sup>3</sup>, isto é, as superfícies, em particular as que revestem a parte inferior da aeronave, devem ser pouco ou nada arredondadas e não podem ser interrompidas por protuberâncias que tornem os seus contornos irregulares. As cargas externas inviabilizam a “invisibilidade”. Ainda assim, pode, sempre que entendido adequado, assumir uma configuração convencional em que, no máximo, transporta nas asas 2 tanques suplementares de combustível e 4 mísseis.

Consegue atingir velocidades supersónicas, sem que haja necessidade de recorrer aos *afterburners*, isto é, à pós-combustão dos gases do motor que, quando usada, resulta em potência adicional. Convém, a este propósito, sublinhar que o voo supersónico sem recurso à pós-combustão é uma estreia absoluta no mundo da aviação militar. Esta é uma característica bastante vantajosa, uma vez que o uso dos *afterburners* se traduz em elevadíssimos consumos de combustível, incompatíveis com permanências prolongadas acima de *Mach 1*, ou seja, acima da velocidade do som.

Os seus aviónicos conferem-lhe o estatuto de AWI e tornam possível, como nunca antes, a identificação rápida e precisa das forças inimigas, mesmo em situações BVR. O F-22 é, como referimos, uma aeronave vocacionada para os confrontos aéreos, muito embora esteja preparada para desempenhar com sucesso outro tipo de missões, como seja o ataque a alvos terrestres.

---

<sup>3</sup> As linhas angulosas visam dissipar os feixes dos radares em direcções diferentes da da emissão, por forma a impedir que esse mesmo feixe seja “devolvido”, por reflexão, à fonte, o que culminaria na detecção da aeronave. Os materiais com que os meios aéreos furtivos são construídos permitem, paralelamente, a absorção parcial desses feixes.

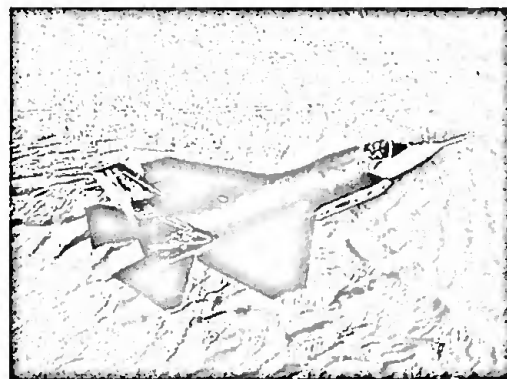
Embora se destine primordialmente à substituição do F-15, não será descabido encará-la como uma eventual sucessora do F-16, uma vez que, como ele, é considerada uma plataforma versátil e multifacetada.

Pesa contra si o facto de possuir dois motores o que, no nosso entender, poderia, no caso português, ser dissuasor da sua aquisição. O F-22 é uma aeronave cara e os custos da sua manutenção, também elevados, agravam-se por força da duplicidade do sistema de propulsão.

Passemos ao F-35 *Joint Strike Fighter*.

O JSF foi desenhado para suceder, entre outros aviões, ao F-16 e ao A-10 *Thunderbolt II* e, sendo uma aeronave talhada, sobretudo, para missões de ataque ao solo, complementa as capacidades do F-22.

**Fig. 3 - *Joint Strike Fighter***



O projecto que consubstanciou o surgimento do F-35 arrancou em 1993.

Em 2001, a Inglaterra assina um acordo de cooperação com os Estados Unidos, que lhe permite participar na fase de desenvolvimento e demonstração do sistema, com o intuito específico de contribuir para a concepção de uma aeronave que se ajustasse aos interesses da *Royal Navy*, para a qual seriam adquiridos, ao abrigo desse acordo, 60 novos aviões para substituição do *Sea Harrier*.

O contrato para o fabrico do JSF foi disputado, a partir de 1996, pela *Boeing Aerospace* e pela *Lockheed Martin*. Uma vez mais, a *Lockheed* saiu vencedora.

O conceito subjacente ao desenvolvimento é inovador, muito embora os princípios que o inspiram sejam sobejamente conhecidos - economia e uniformidade.

A Administração Americana exigiu que a nova aeronave fosse pouco dispendiosa, quer em termos de aquisição, quer em termos de manutenção.

Por outro lado, o vasto leque de frotas que serve as Forças Armadas americanas, acarreta custos operacionais e financeiros. A elevada diversidade de meios aéreos exige, para cada tipo de aeronave, pilotos e técnicos especializados, infra-estruturas de apoio específicas, além de ser impeditiva de economias de escala, por exemplo, no que concerne a aquisição de sobressalentes.

Nesta sequência, entendeu-se ser prioritário encontrar uma solução que permitisse aumentar a uniformidade dos meios, isto é, diminuir as dissemelhanças que os separam. O JSF surgiu como a resposta a esses anseios.

Resulta de um esforço criativo de tronco comum, mas com variações que põem cobro às diferentes necessidades operacionais das entidades a favor das quais iriam reverter os frutos do projecto - USAF, *United States Navy* (USN), *United States Marine Core* (USMC) e *United Kingdom Royal Navy* (UKRN).

O JSF é uma aeronave desenvolvida em três variantes distintas, mas com 70 a 90% de partes comuns:

- F-35A (USAF) - destinado a substituir, como já referimos, o F-16 e o A-10: versão de descolagem e aterragem convencionais - *Conventional Take-Off and Landing* (CTOL) - isto é, descolagens e aterragem em pistas longas e asfaltadas;
- F-35B (USMC) - destinado a substituir o F-18 *Hornet* e o AV-8B *Harrier*: versão *Short Take-Off and Vertical Landing* (STOVL), desenvolvida para descolagens curtas e aterragens verticais, adequada para situações em que as aeronaves têm de operar em pistas reduzidas e/ou em terrenos não preparados;
- F-35C (USN e UKRN) - destinado a substituir o F-18 *Hornet* e o *Sea Harrier*: versão concebida para porta-aviões e que se traduz em aeronaves com asas e estabilizadores maiores, para facilitar aproximações lentas, estrutura interna reforçada, para suportar descolagens catapultadas e aterragens travadas através de ganchos, possuindo ainda trens preparados para embates bruscos e cargas mais pesadas.

Os Estados Unidos encomendaram, 2036 F-35A, 642 F-35B e 300 F-35C. As duas primeiras variantes têm estreias operacionais previstas, respectivamente, para 2008 e 2012.

São aeronaves monomotor e todas as variantes serão equipadas, numa primeira fase, com os *turbofan* F135-PW-400/-600, uma evolução do modelo F119-PW-100 concebido para o F-22 *Raptor*. Note-se, porém, que a propulsão da versão STOVL exige algumas adaptações, tidas em conta pela *Pratt & Whitney*.

Mais tarde, já depois do JSF ter entrado ao serviço, será posto à disposição dos seus utilizadores um motor alternativo, desenvolvido pela *General Electric* em conjunto com a *Rolls-Royce* - o F136-GE.

Os caças possuem capacidades *stealth*, embora limitadas pelo transporte externo do armamento, acondicionado em duas calhas paralelas colocadas, para o efeito, à frente do trem de aterragem.

Os aviónicos, ainda em fase de aperfeiçoamento, tem, na maioria dos casos, sido feitos “por medida” para o JSF e espelham o melhor que a tecnologia actual tem para oferecer.

Estão, por conseguinte, implícitas duas evidências: o F-35 é um AWI e está preparado para atingir alvos BVR.

Esta é, à semelhança do F-22, uma aeronave que prima pela manobrabilidade e pelo alcance de velocidades supersónicas sem recurso à pós-combustão. O JSF é uma aeronave projectada para ultrapassar, com distinção, qualquer desafio operacional, não obstante ser apontada como um meio privilegiado para as missões de ataque ao solo, como, de resto, já referimos.

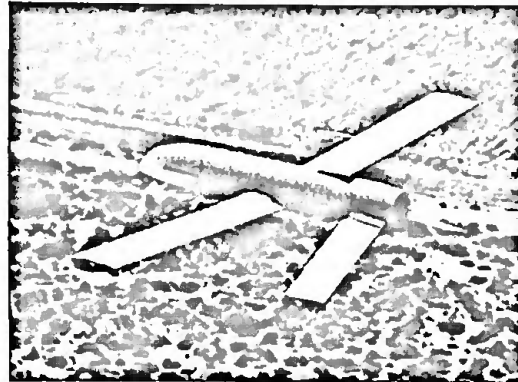
Afigura-se, na nossa opinião, pelas suas características, como um forte candidato ao lugar que o F-16 deixará vago na Força Aérea Portuguesa, num futuro não muito próximo, isto, está claro, se entretanto não surgirem outras possibilidades meritórias.

A versatilidade do F-35, compatível com qualquer uma das atribuições acometidas ou a acometer às Esquadras de Voo de Monte Real, aliada ao facto de se tratar de um avião monomotor, constituem dois factores capazes de influenciar, a seu favor, a escolha dos decisores competentes.

Para terminar, resta-nos acrescentar, em relação ao F-22 e ao JSF, que poderemos estar perante as últimas aeronaves militares tripuladas a entrar ao serviço. Progressivamente, os *Unmanned Aerial Vehicles* (UAV) e, em particular, os *Unmanned Combat Aerial Vehicles* (UCAV) estão a impor-se como alternativas atraentes.

São baratos, quando comparados com as aeronaves convencionais, não são limitados, em termos de performance, pela fisiologia humana e a sua destruição não acarreta baixas.

**Fig. 4 - Unmanned Aerial Vehicle**



## **2. O Motor F100-PW-220E**

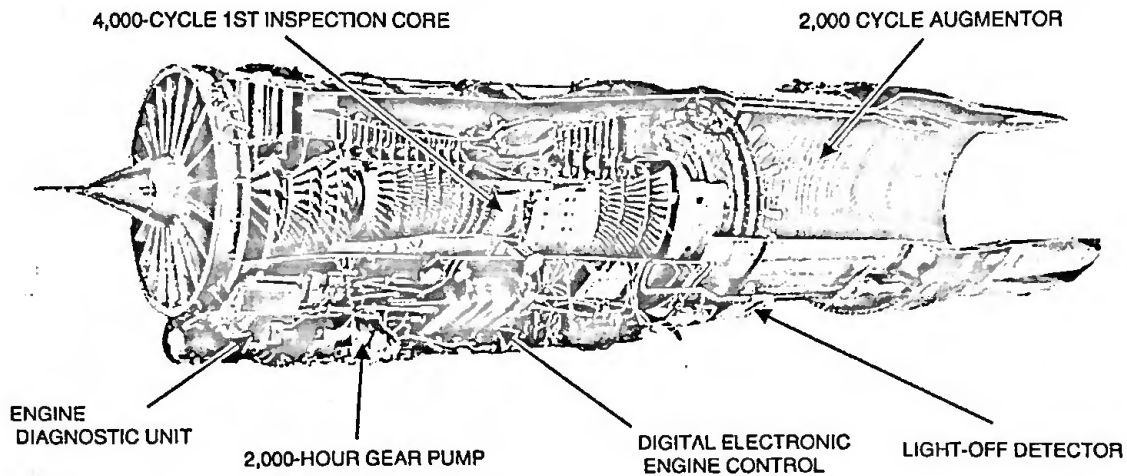
Apresentado que está o F-16 *Fighting Falcon* e as missões que desempenha em Portugal, é chegado o momento de nos debruçarmos sobre o motor que o propulsiona e cuja manutenção nos propomos analisar com detalhe - o Motor F100-PW-220E, da *Pratt & Whitney*.

### **2.1. Principais Características**

O Motor F100-PW-220E é um *turbofan* de baixa razão de *bypass*, elevada razão de pressões, de duplo veio, com pós-combustão, 13 andares de compressor axial e 4 andares de turbina.

O motor tem um peso de aproximadamente 3234 lb (1467 Kg) e gera uma impulsão máxima de 23770 lb. Tem um comprimento de 4,85 m e um diâmetro máximo externo de 1,18 m. O Motor F100-PW-220E é uma versão evoluída do modelo de fábrica F100-PW-200, mas com as características de operacionalidade, de durabilidade e de manutenção do Motor F100-PW-220, uma variante obtida por modificação daquele modelo. O Motor F100-PW-220E é, portanto, também ele, produto de um processo de transformação oficial.

**Fig. 5 - Motor F100-PW-220/-220E**



Fonte: F100-PW-220/-220E Maintenance Awareness

O motor é constituído por vários módulos individuais, rotáveis, de modo a que cada um deles possa ser facilmente removido e reparado, sem prejudicar o funcionamento dos restantes. Os cinco módulos do motor são:

### **Módulo da *Fan***

A *Fan* é o módulo através do qual se dá a entrada de ar no motor e é responsável pela primeira etapa de pressurização. Os 3 andares do compressor que a integra aumentam em 3 vezes a pressão do ar recebido do exterior, o que representa ainda um baixo nível de pressurização. A *Fan* está equipada com diversas sondas que avaliam a pressão e a temperatura do ar aspirado.

### **Módulo do *High Pressure Core* (HPC)**

O módulo do *Core* sucede a *Fan* e, como se adivinha, constitui o núcleo do motor.

O seu compressor de 10 andares aumenta em 8 vezes a pressão do ar daquela recebido, donde resulta um ar 24 vezes mais comprimido que o ar exterior, agora sim, já enquadrável no âmbito das altas pressões.

O *Core* compõe-se, ainda, de uma câmara de combustão anelar, através da qual se dá a adição de combustível ao ar pressurizado, e de uma turbina de alta pressão (*High Pressure Turbine* - HPT) de 2 andares, ligada ao compressor por meio de um veio oco.

Esta turbina extrai dos gases que forçam a sua saída da zona de combustão a energia necessária para fazer girar o compressor. Embora parte integrante do *Core*, a HPT é, para efeitos de manutenção, tida como um elemento autónomo, dada a sua importância e os avultados custos decorrentes da sua conservação. Por esta razão, escolhemos designá-la por sub-módulo.

Grosso modo, o *Core* mais não é, então, do que o conjunto formado pelo compressor de alta pressão e pela HPT, comumente designado por conjunto de alta pressão. Usaremos, porém, esta expressão para, com facilidade, nos referirmos, ainda que com pouco rigor, ao par HPC-HPT.

### **Módulo da *Fan Drive Turbine* (FDT)**

O módulo da *Fan Drive Turbine* complementa o bloco da *Fan* e é composto pela turbina de baixa pressão (*Low Pressure Turbine* - LPT) e pelo veio de ligação entre ambos. A LPT, com 2 andares de pás, gira à passagem dos gases combustos e expulsos pela HPT.

O movimento giratório é transmitido à *Fan* pelo veio atrás referido, que atravessa o *Core* por intermédio do veio oco que liga o compressor de alta pressão à HPT. O sistema formado pela *Fan* e pela FDT é habitualmente designado por conjunto de baixa pressão.

### **Módulo do *Augmentor***

O *Augmentor* ou *Afterburner* (AB) é o sector do motor onde os gases expelidos pela LPT se misturam, em simultâneo, com o ar exterior aspirado pela *Fan*, mas não aproveitado pelo *Core* (ar de *bypass*), e com uma nova porção de combustível. A pós-combustão daí resultante traduz-se num acréscimo de força propulsora que pode ir até às 9180 libras. O *Augmentor* termina num *nozzle* de exaustão que é uma estrutura de amplitude variável através da qual são ejectados os gases absorvidos pelo motor, equivalendo, portanto, a uma tubeira de escape.

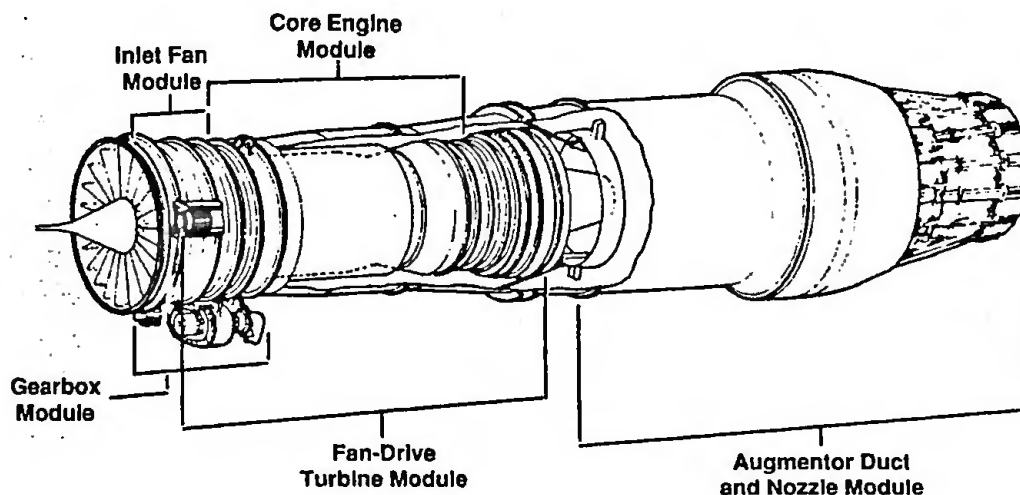
### **Módulo da *Gearbox***

A *Gearbox* é a caixa de engrenagens por meio da qual se obtém energia mecânica para o funcionamento dos geradores e bombas hidráulicas incorporados no motor e na aeronave.

O elenco dos módulos e a ordem por que estão instalados no motor são ilustrados na seguinte figura:



Fig. 6 - Secções do Motor F100-PW-220/-220E



Fonte: F100-PW-220/-220E Maintenance Awareness

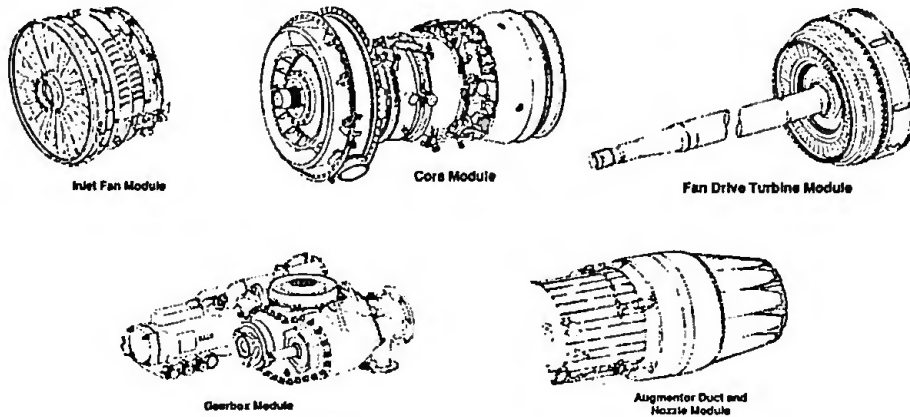
Como se acabou de ver, nem todo o ar aspirado pelo motor é conduzido ao *Core*. De facto, apenas 60% do ar que passa pela *Fan* é encaminhado para o HPC, a fim de ser comprimido e queimado. Os restantes 40% passam à margem - daí dizer-se que o ar circula em sistema de *bypass* - e são usados, não só no arrefecimento do motor, como também no processo de pós-combustão.

O projecto modular simplifica bastante os trabalhos de manutenção. Por exemplo, já não há a necessidade de enviar o motor inteiro para reparação devido a danos no *Core*, causados pela ingestão de um objecto estranho (*Foreign Object Damage* - FOD).

Somente o módulo danificado será reparado, enquanto os restantes continuam em condições de operar. Deste modo, é possível maximizar o número de motores prontos.

A figura que se segue permite a visualização de cada um dos módulos separados entre si:

**Fig. 7 - Módulos do Motor F100-PW-220/-220E**



Fonte: F100-PW-220/-220E *Maintenance Awareness*

Além dos módulos, o Motor F100-PW-220E é constituído por cinco sistemas principais: controlo do motor, monitorização do motor, anti-gelo, energia eléctrica e lubrificação.

Vejamos com mais pormenor cada um deles.

### **Sistema de Controlo do Motor**

O controlo do motor - *Engine Control* - é constituído pelos seguintes sub-sistemas:

#### *Digital Electronic Engine Control (DEEC)*

O sub-sistema electrónico-digital de controlo do motor, que está ligado a uma série de sensores, recebe e gere diferentes tipos de dados, como sejam os valores de *Mach* atingidos, a identificação da aeronave (F-15<sup>4</sup>/F-16), a posição da manete de potência, a pressão atmosférica, as temperaturas em diferentes pontos do motor ou a velocidade de rotação dos veios principais dada por N1 e N2, entre outros.

Aproveitamos para esclarecer que:

- N1 traduz-se na velocidade de rotação do veio que liga a *Fan* à turbina de baixa pressão e que passa por dentro do veio que liga o conjunto de alta pressão;
- N2 exprime a velocidade de rotação do veio oco que liga o compressor de alta pressão à turbina de alta pressão.

---

<sup>4</sup> O Motor F100-PW-220/-220E também equipa o F-15 *Eagle*.

O DEEC otimiza a operação do motor e mantém a sua performance constante durante o tempo de vida útil para ele prevista. O DEEC recebe informação acerca do comportamento do motor, através de sensores, e ajusta automaticamente a sua operação sem ser necessária a intervenção do piloto ou dos técnicos da manutenção.

#### Hydromechanical Secondary Control System ou Secondary Engine Control (SEC)

O sistema de controlo hidromecânico secundário assegura o normal funcionamento do motor, no caso improvável do DEEC falhar.

A transferência para o modo de operação secundário ocorre, de forma automática, em qualquer fase do voo, sempre que o DEEC estiver incapacitado de controlar o motor em modo primário de operação (*Primary - PRI*).

A transferência para SEC também pode ser determinada pelo piloto.

Durante a operação em SEC, a tubeira da pós-combustão permanece sempre fechada, já que o *afterburner* fica impedido de funcionar.

#### **Sistema de Monitorização do Motor**

O sistema de monitorização do motor - *Engine Monitoring System (EMS)* - recebe, gere e armazena a informação relevante do voo. Durante as operações de manutenção, o pessoal da manutenção utiliza esta informação para identificar e corrigir problemas.

O EMS é constituído pelos seguintes sub-sistemas:

#### Digital Electronic Engine Control (DEEC)

O DEEC, que também faz parte do sistema de controlo do motor, avalia os parâmetros do voo e assegura o bom funcionamento motor, como, de resto, já referimos.

#### Engine Diagnostic Unit (EDU)

A unidade de diagnóstico do motor revê continuamente as saídas do DEEC e armazena informação importante para o pessoal da manutenção.

#### Comprehensive Engine Diagnostic System (CEDS)

O sistema de diagnóstico do motor, que se materializa num aparelho portátil, é parte integrante do equipamento de terra utilizado para extrair e processar os dados do EMS.

## **Sistema Anti-gelo**

O sistema anti-gelo - *Anti-Ice System* - transporta ar quente do 13º andar do compressor para a entrada de ar, com o objectivo de prevenir a formação de gelo.

## **Sistema Eléctrico**

O sistema eléctrico - *Electrical System* - traduz-se num circuito isolado, cuja energia é fornecida por um gerador montado no motor.

Esse isolamento garante uma operação segura do motor em caso de ocorrer uma falha de potência eléctrica ao nível da aeronave.

## **Sistema de Lubrificação**

O sistema de lubrificação - *Lubrication System* - está dividido em três sub-sistemas:

Sub-Sistema de Pressão: fornece óleo limpo e refrigerado para lubrificação e arrefecimento dos rolamentos e engrenagens;

Sub-Sistema de Recuperação: recolhe o óleo dos compartimentos dos rolamentos e da caixa de velocidades, transportando-o para o depósito de óleo;

Sub-Sistema de Respiração: faz a ventilação dos compartimentos dos rolamentos, regulando os níveis barométricos de modo a evitar tanto as pressões excessivas, como as fugas de óleo ou o colapso da bomba de recuperação resultantes de pressões deficitárias.

## **2.2. Transformação de Motores**

Como referimos, a Força Aérea Portuguesa adquiriu *kits* de modificação destinados ao:

- MLU, *Falcon Up* e *Falcon Star* das aeronaves da 2ª Esquadra;
- *Upgrade* dos Motores F100-PW-200C entregues com essas aeronaves.

De facto, enquanto os motores dos aviões da 1ª Esquadra chegaram a Portugal já convertidos na versão F100-PW-220E, os da 2ª Esquadra foram vendidos numa versão anterior.

No âmbito do programa *Peace Atlantis II*, os Estados Unidos enviaram técnicos a Portugal para conduzir as duas primeiras transformações de motores, após o que a BA 5 se tornou capaz de dar continuidade ao processo.

Para tal foi constituída, em 1999, uma estrutura provisória de transformação de motores naquela Base.

Em boa verdade, a transformação é feita módulo a módulo e, à data, foi já sujeita a *upgrade* uma parte considerável dos módulos, o que permitiu, entretanto, a montagem de alguns motores -220E.

Apesar do processo de conversão acarretar várias alterações, a característica que melhor separa o F100-PW-200 do F100-PW-220E é a inclusão, neste último, de uma unidade digital de controlo de combustível, um contributo importante para aumentar a fiabilidade do motor.

Não está prevista a sujeição dos motores nacionais, quer da 1<sup>a</sup> quer da 2<sup>a</sup> Esquadra, a outros *upgrades*, nomeadamente a sua transformação na versão F100-PW-229, uma evolução do -220E, que equipa hoje os F-16 norte-americanos.

A título de curiosidade e considerando apenas o fabricante *Pratt & Whitney*, os estádios de evolução seguintes são os que abaixo se indicam:

- O modelo F119-PW-100, que equipa o F-22 (não compatível com o F-16);
- Os modelos F135-PW-400/-600, que equipará o JSF (não compatível com o F-16).

### **3. Conceitos e Filosofias da Manutenção**

#### **3.1. Definições e Objectivos da Manutenção**

O conceito de manutenção amadureceu bastante no último século, a reboque do progresso industrial.

Até à década de 50, a manutenção pouco mais era do que a simples reparação de avarias.

Daí em diante, as leis do mercado falaram mais alto. De facto, as empresas industriais, cada vez maiores, começaram a sentir os efeitos nefastos da deficiente conservação dos seus equipamentos onde mais doía - nos lucros.

A par das preocupações estritamente financeiras, uma outra inquietação emergiu - a da falta de segurança. Em particular no domínio aeronáutico, comercial e militar, as falhas pagaram-se, não raras vezes, com vidas humanas.

Desta combinação de motivações resultou o refinamento do conceito, que evoluiu até aos nossos dias, revestindo-se de uma componente pró-activa.

Hoje em dia, pode entender-se por manutenção, em sentido amplo e citando Cabral (1998) como “o conjunto das acções destinadas a assegurar o bom funcionamento das máquinas e das instalações, garantindo que elas são intervencionadas nas oportunidades e com o alcance certos, por forma a evitar que avariem ou baixem de rendimento e, no caso de tal acontecer, que sejam repostas em boas condições de operacionalidade com a maior brevidade, tudo a um custo global optimizado.”

Essas acções comportam a contínua monitorização do estado de conservação dos equipamentos, que permite não só evitar as falhas, como também predizê-las. A manutenção de natureza preventiva, garante a maximização do tempo de funcionamento sem paragens provocadas por anomalias inesperadas.

Por outro lado, a introdução de *upgrades*, traduz-se com frequência na redução das intervenções necessárias ao mesmo tempo que melhora as performances. As avarias que, ainda assim, se verificarem são alvo das tradicionais acções correctivas.

Sem prejuízo de diferentes partições propostas por outros autores, concordamos com Cabral (1998) e com Pinto (1999) que repartem a manutenção em três categorias principais:

- Manutenção Correctiva, Curativa ou Não Programada: realizada com o intuito específico de corrigir uma anomalia superveniente;
- Manutenção Preventiva ou Programada: realizada periodicamente ou de acordo com critérios prescritivos, com o objectivo de mitigar a probabilidade de avaria e, por conseguinte, as paragens inopinadas daí decorrentes;
- Manutenção de Melhoria: consubstancia-se em modificações capazes de tornar o desempenho dos equipamentos mais satisfatório e/ou de promover a redução das intervenções programadas ou correctivas.

O objectivo último da manutenção é, então, o de tornar as organizações mais eficientes - uma manutenção adequada, desde que combinada com uma política de gestão global rigorosa e ajustada, permite que funcionem melhor, a custos mais baixos e/ou com lucros superiores, e garantindo, tão bem quanto possível, a segurança dos envolvidos, técnicos e utilizadores dos equipamentos ou infra-estruturas visados.

Organizações mais eficientes, isto é, que cumprem de forma otimizada o propósito que justifica a sua existência, servem melhor a comunidade regional, nacional ou mundial, dependendo dos impactos da sua actividade.

### **3.2. Níveis e Escalões da Manutenção**

As normas francesas NF X 60-010, citadas por Pinto (1999), estabelecem 5 níveis de manutenção de acordo com o grau de complexidade das intervenções, a saber:

- Nível 1: regulações simples e planeadas, que dispensam a utilização de ferramentas e a desmontagem dos equipamentos;
- Nível 2: reparações traduzíveis em substituições elementares e acções preventivas correntes (lubrificações, limpezas, etc.), concretizadas por intermédio de ferramentas portáteis e sem recurso a desmontagens;
- Nível 3: diagnóstico, localização e reparação de avarias por substituição de componentes ou sub-sistemas, reparações mecânicas simples e operações programadas muito frequentes, como sejam as calibrações e regulações gerais dos equipamentos - este nível exige, por vezes, pequenas operações de desmontagem e concretiza-se através do uso de ferramentas especiais e instrumentos de medida próprios, podendo, no limite, ser necessária a sua passagem pelo banco de ensaio;
- Nível 4: trabalhos relevantes de manutenção curativa e preventiva não relacionados com operações de renovação, implicando sempre a desmontagem do equipamento e a utilização de ferramentas, instrumentos e aparelhos altamente especializados;
- Nível 5: renovação dos equipamentos, conseguida por meio de procedimentos, materiais e instrumentos próximos dos que são empregues na sua fabricação.

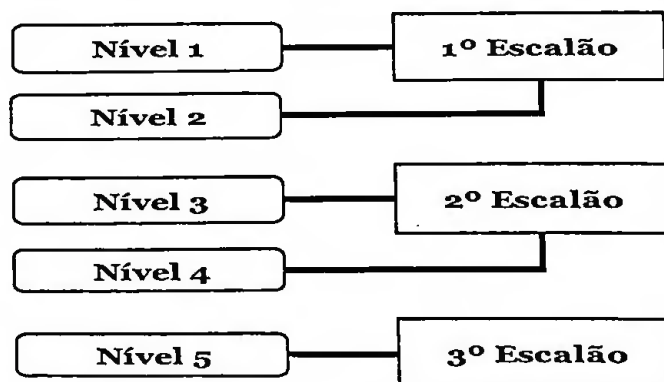
Paralelamente, na Força Aérea Portuguesa, as acções de manutenção das aeronaves encaixam-se em 3 escalões:

- 1º Escalão: consiste em inspecções diárias, reparações simples, eventuais substituições e operações básicas de conservação (lavagens, tratamentos anti-corrosão, etc.) e sustentação (reabastecimentos de combustível, etc.), que, em caso algum, derivam na desmontagem dos equipamentos, podendo cumprir-se onde quer que a aeronave se encontre;
- 2º Escalão: neste escalão, os procedimentos requerem instalações fixas e um maior número de meios, humanos e materiais, pelo que são, por norma, cumpridos em *Backshops*, isto é, em oficinas, da Unidade Militar ou sub-contratadas, que acolhem as aeronaves, os motores e os seus subconjuntos até que estejam concluídos os trabalhos - traduz-se, sobretudo, em inspecções periódicas, em reparações e/ou substituições de sistemas complexos, no cumprimento de directivas técnicas, em calibrações e em ensaios de banco;
- 3º Escalão: exige meios e pessoal altamente especializados e traduz-se em grandes reparações e revisões gerais, cujo resultado poderá ser a recuperação de órgãos bastante danificados ou a renovação de itens que, não tendo parado por avaria, atingiram um tal nível de desgaste que a torna iminente, podendo ainda, em qualquer um dos casos, conduzir à introdução de alterações e melhorias - estas intervenções são, em geral, efectuadas pelas Oficinas Gerais Material Aeronáutico (OGMA, S.A.) ou por empresas estrangeiras do ramo.

Ao longo desta dissertação empregar-se-ão os termos revisão geral, regeneração, *overhaul* e *depot* como sinónimos de operações de manutenção de 3º Escalão capazes de devolver os órgãos à condição de semi-novos. Salientamos, porém, que nem todos os *depots* conduzem à efectiva renovação de um equipamento, podendo reportar-se, tão só, à simples supressão de danos causados por uma falha grave.

Do exposto, pode assumir-se o seguinte esquema de convergência entre os níveis e os escalões de manutenção apresentados:

**Fig. 8 - Níveis e Escalões de Manutenção**





Na Força Aérea há, como veremos adiante e com maior detalhe, três entidades directamente envolvidas na manutenção de aeronaves e motores, com responsabilidades hierárquicas decrescentes:

- Direcção de Mecânica Aeronáutica (DMA): órgão central de gestão das frotas;
- Esquadras de Material das Bases Aéreas: actuam sobre os meios em oficinas próprias (*Backshops*);
- Estrutura de Manutenção das Esquadras de Voo: têm a seu cargo áreas de aprontamento, inspecção e reparação de 1º Escalão, que visam garantir a auto-suficiência temporária da Esquadra de Voo, sempre que os meios aéreos que a integram se deslocam para fora da sua Unidade Base - é aqui que se enquadra a chamada Linha da Frente, através da qual se inspecionam e se aprontam as aeronaves imediatamente antes do voo e se averigua a seu estado logo após a aterragem.

Antes de darmos por concluído este ponto, gostaríamos de aproveitar para esclarecer que, doravante, usaremos os termos intervenção e inspecção com os seguintes sentidos:

- Intervenção: medida passiva de simples avaliação do estado dos itens (inspecção) e/ou qualquer medida de carácter activo como sejam a substituição de partes ou uma reparação;
- Inspecção: estrita averiguação da condição dos equipamentos, ainda que das inspecções, em sentido estrito, resultem muitas vezes acções de recuperação do material.

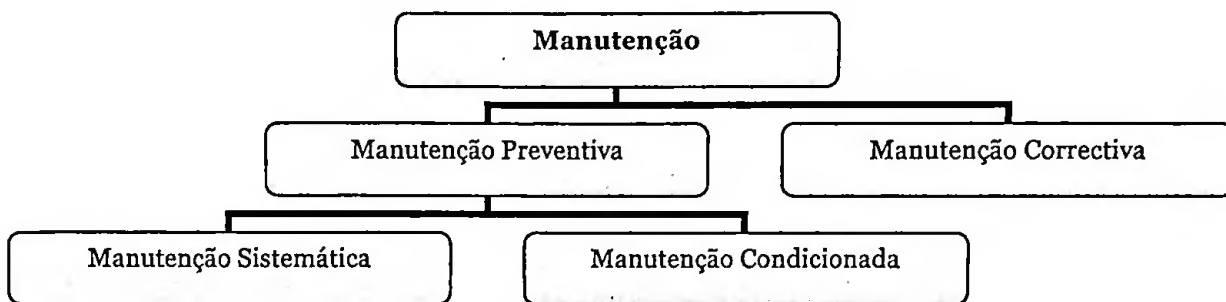
O termo intervenção contém, portanto, o termo inspecção.

### **3.3. Manutenção Preventiva e Correctiva**

Acabámos de ver que, grosso modo, a manutenção se reparte entre acções preventivas e correctivas. Neste ponto, tal partição será um pouco mais aprofundada.

Cabral (1998), ajuda-nos a arrumar as ideias, a este respeito, da seguinte forma:

**Fig. 9 - Tipologia da Manutenção**



Fonte: Cabral (1998)

Já sabemos que a manutenção correctiva actua depois de ocorrida a falha e que a preventiva visa evitá-la. A pró-acção que esta última preconiza assume duas vertentes:

- **Manutenção Sistemática:** traduz-se em intervenções periódicas, realizadas em intervalos fixos e regulares, através das quais se faz a substituição de componentes antes que possam causar problemas ao funcionamento do todo;
- **Manutenção Condicionada ou Preditiva:** neste caso, fazem-se inspecções regulares, com o intuito de vigiar o estado dos componentes críticos, ou sejam, os componentes susceptíveis de falhar, procedendo-se às sua substituição apenas e só se houver sinais de degradação - daqui resulta que, ao contrário do que se verifica no âmbito da manutenção sistemática, as substituições se façam em intervalos irregulares.

A manutenção preventiva baseia-se em estudos de fiabilidade, desenvolvidos com o objectivo de tornar conhecida a probabilidade de avaria de um sistema, quer no que diz respeito ao todo, quer no que toca cada uma das partes que o constituem.

Assis (1997) define fiabilidade como “a probabilidade de um órgão funcionar satisfatoriamente [...] durante um certo intervalo de tempo sob condições especificadas”.

Conhecida essa probabilidade, torna-se possível estabelecer um calendário de substituições para cada componente, por forma a tentar evitar a sua falência, assegurando-se, assim, o nível mínimo admissível de fiabilidade fixado para o equipamento que integra.

Tal nível é determinado por meio de ensaios normalizados efectuados pelo fabricante e/ou por intermédio da experiência dos utilizadores.

Há várias medidas de fiabilidade. Vejamos algumas.

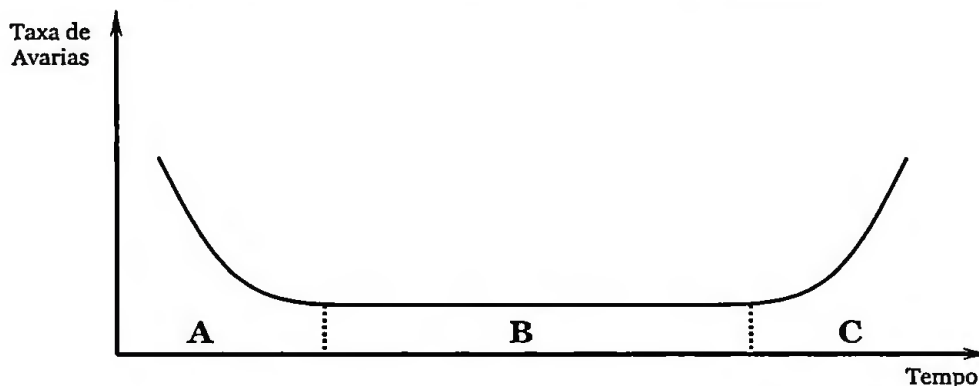
### Taxa de Avarias

A taxa de avarias é dada pelo seguinte quociente:

$$\text{Taxa de Avarias} = \frac{\text{Número de Avarias}}{\text{Tempo Correspondente de Funcionamento do Equipamento}}$$

A conhecida “curva em forma de banheira” ilustra a evolução mais comum da taxa de avarias, desde a infância do equipamento à sua fase de obsolescência.

**Gráfico 1 - Curva em Forma de Banheira**



Fonte: Pinto (1999)

O Segmento A da curva em análise coincide com o primeiro estágio de funcionamento de um sistema, em que a taxa de falhas se vai reduzindo à medida que os defeitos de fabrico iniciais vão sendo corrigidos e a experiência na utilização vai aumentando.

Na maturidade, representada pelo Segmento B, a taxa de avarias é constante, visto ter estabilizado num valor mínimo. Durante este período, as avarias acontecem de forma aleatória e não se lhes podem associar causas específicas - derivam de sobreesforços do equipamento, de erros na sua operação, de factores ambientais, etc..

Finalmente, na fase de obsolescência, correspondente ao Segmento C, o rácio em apreço aumenta devido ao envelhecimento do sistema.

A fiabilidade será tanto maior, quanto menor for a taxa média de avarias.

### Tempo Médio Entre Avarias

O Tempo Médio Entre Avarias, conhecido por *Mean Time Between Failures* (MTBF) é, segundo Cabral (1998), “o tempo que decorre, em média, entre duas avarias consecutivas”.

Esta definição aplica-se aos chamados “reparáveis”, que são todos os órgãos susceptíveis de reparação. Aos que, por seu turno, não são reutilizáveis após uma primeira e única falha, associa-se o conceito de *Mean Time To Failure* (MTTF), ou seja, Tempo Médio Até à Falha.

Note-se, porém, que quer o MTBF, quer o MTTF não exprimem forçosamente tempo de relógio, reportando-se antes aos períodos de funcionamento do equipamento.

Para um dado intervalo de tempo, tem-se que:

$$\text{MTBF} = \frac{\Sigma \text{ Tempos de Funcionamento no Intervalo}}{\text{Número de Avarias no Intervalo}}$$

A fiabilidade varia no mesmo sentido do MTBF, isto é, quanto mais elevado for este rácio, maior será a fiabilidade inerente de um sistema.

### Tempo Médio de Reparação

O Tempo Médio de Reparação, comumente designado por *Mean Time to Repair* (MTTR), dá-nos o tempo médio consumido na reparação de avarias, através da seguinte fórmula, aplicável a um determinado período de funcionamento:

$$\text{MTTR} = \frac{\Sigma \text{ Tempos de Reparação no Período}}{\text{Número de Avarias no Período}}$$

Para uma maior fiabilidade contribuem valores reduzidos de MTTR.

## Disponibilidade

A disponibilidade quantifica, em percentagem, a porção de tempo de funcionamento em relação ao tempo total dispendido com a operação do sistema e com a sua reparação e pode ser determinada, para um qualquer horizonte temporal, por meio da razão que se segue:

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}}$$

Como está bom de ver, uma elevada disponibilidade é sinal de grande fiabilidade.

A manutenção preventiva sistemática e a manutenção preditiva estão na base do desenvolvimento de duas grandes “estratégias” de manutenção - a Manutenção Centrada na Fiabilidade e a Manutenção Condicionada. Falaremos um pouco sobre cada uma delas no próximo ponto.

### 3.4. Manutenção Centrada na Fiabilidade e Manutenção Condicionada

A Manutenção Centrada na Fiabilidade (*Reliability-Centered Maintenance* - RCM) é uma abordagem desenvolvida no seio da indústria aeronáutica americana durante a década de 70, estendendo-se, na década seguinte, a outras actividades industriais.

A RCM visa, sobretudo, permitir a transição progressiva de um esquema de intervenções inopinadas para um plano de manutenções programadas, evitando, tanto quanto possível, interrupções inesperadas no funcionamento do sistema considerado. Pretende-se, assim, assegurar os níveis de fiabilidade que são inerentes aos equipamentos.

Esta política socorre-se, em especial, das seguintes actuações:

- Manutenção Preventiva Sistemática que, como já vimos, prevê a substituição calendarizada de componentes, independentemente do seu estado de conservação;
- Manutenção Condicionada que, como também sabemos, se baseia na vigilância regular dos componentes a fim de detectar sinais de desgaste que forcem a sua substituição;
- Melhoria de componentes, através do seu redesenho.

A Manutenção Condicionada (*On Condition Maintenance* - OCM) é, como acabámos de ver, um instrumento da RCM. Contudo, em si mesma, também configura uma estratégia de manutenção - é uma espécie de abordagem contida na abordagem.

Surgida entre as décadas de 70 e 80, a par da RCM, a OCM desenvolveu-se a reboque do desenvolvimento tecnológico, que lhe forneceu as ferramentas necessárias para se tornar segura e credível. Como sabemos, a manutenção condicionada começou por concretizar-se através da monitorização regular de componentes, cuja remoção e substituição acontece se os parâmetros de degradação sob vigilância igualem ou ultrapassarem os tabelados para o nível de fiabilidade que estiver a ser considerado. Apenas por intermédio de aparelhos sofisticados poderá tal avaliação conduzir a conclusões fiáveis a respeito do estado de conservação dos equipamentos.

Evoluções mais recentes da OCM determinaram que, nalguns casos, os intervalos de inspecção deixassem também de ser fixos. A introdução de mecanismos de alarme veio possibilitar que o momento das inspecções/reparações aplicáveis a componentes não críticos seja ditado pelo próprio sistema. Desta forma, reduzem-se as paragens decorrentes de intervenções obrigatórias.

A adopção da OCM, em detrimento da RCM, como um todo, traduz-se na rentabilização da vida de serviço de cada componente, permitindo-lhe funcionar até estar à beira da ruptura. Com a manutenção preventiva sistemática são amiúde removidos componentes em bom estado, pelo que a OCM se perfila, relativamente àquela, como um avanço, quanto mais não seja do ponto de vista económico.

Encontramos várias técnicas de inspecção ao serviço da manutenção condicionada, como por exemplo:

- Inspecção visual;
- Análise de fadiga;
- Termometria e termografia;
- Análise de óleos lubrificantes;
- Medições ultra-sónicas;
- Entre outras.

#### **4. As Estruturas Orgânicas e os Sistemas de Informação da Manutenção da Aeronave e do Motor na Força Aérea Portuguesa**

Neste ponto, faremos uma apresentação sumária da moldura orgânica da Força Aérea Portuguesa e de algumas sub-estruturas relevantes no contexto, a fim de situarmos os órgãos responsáveis pela manutenção da aeronave e do motor.

No final, veremos quais os principais sistemas de informação subjacentes à sustentação de ambas as frotas.

##### **4.1. Organismos Responsáveis**

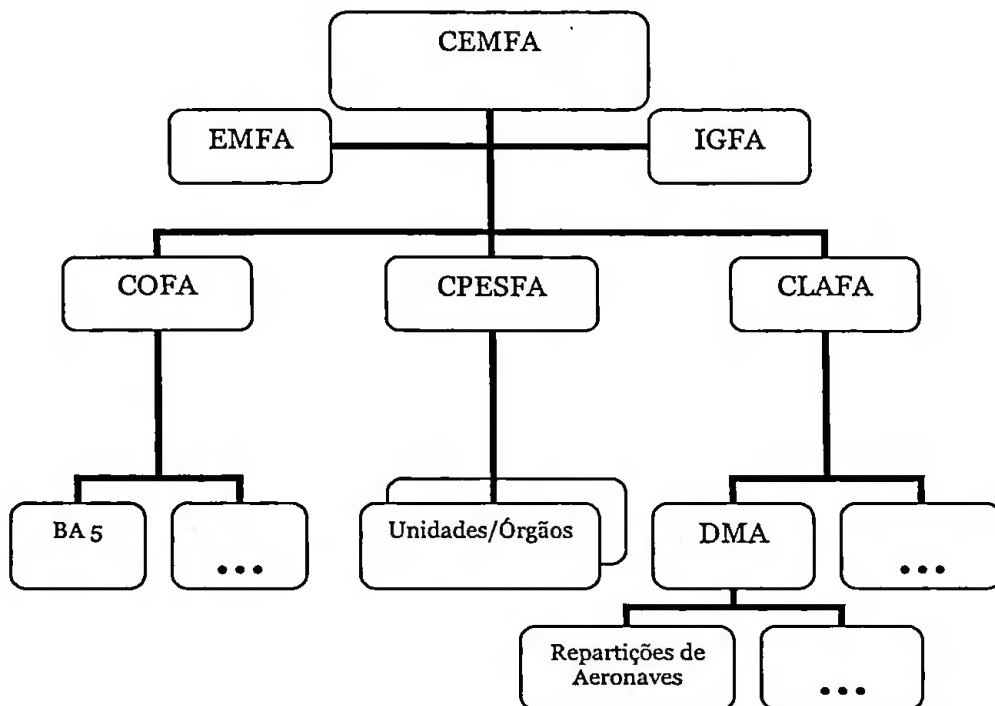
À Força Aérea Portuguesa compete participar, em articulação com os demais Ramos Militares, na Defesa Nacional, através da projecção da vertente armada do poder aéreo. O poder aéreo pode definir-se como o conjunto abrangente de recursos humanos e materiais, de natureza não exclusivamente castrense, por intermédio dos quais uma nação controla o seu espaço aéreo, negando essa capacidade a eventuais adversários. Compete-lhe, ainda, cumprir as missões decorrentes de compromissos internacionais assumidos e todas as que, a bem do interesse público, lhe forem confiadas, como sejam as evacuações de emergência, a busca e salvamento ou a protecção dos nossos recursos naturais.

A estrutura organizacional da Força Aérea privilegia a centralização do comando e a descentralização da execução e serve três áreas funcionais: as operações, o pessoal e a logística. Nesta sequência, na dependência directa do Chefe de Estado-Maior da Força Aérea (CEMFA), comandante do Ramo, há três comandos funcionais, especializados em cada uma das áreas enumeradas:

- O Comando Operacional da Força Aérea (COFA), responsável pelo planeamento, direcção e controlo da prontidão dos sistemas de armas e da actividade aérea, em sintonia com as directivas superiormente emitidas;
- O Comando de Pessoal da Força Aérea (CPESFA), encarregue da administração dos recursos humanos;
- O Comando Logístico e Administrativo da Força Aérea (CLAFSA), incumbido da gestão dos activos materiais e financeiros que sustentam toda a estrutura.

De cada um destes comandos funcionais dependem, finalmente, inúmeras Unidades e Órgãos, aos quais compete a implementação dos planos acima delineados. Contam-se, portanto, na Força Aérea, três níveis de decisão: o CEMFA, os Comandos Funcionais e as Unidades e Órgãos. O Estado-Maior da Força Aérea (EMFA) e a Inspeção-Geral da Força Aérea (IGFA), incluídos na figura seguinte, são órgãos de *staff* do CEMFA.

**Fig. 10 - Organograma Simplificado da Força Aérea Portuguesa**



Vejamos de que forma as actividades de manutenção de aeronaves e motores se encaixam na estrutura organizacional.

#### 4.1.1. Direcção de Manutenção Aeronáutica

O CLAFA é, em parte, composto por um conjunto diversificado de Direcções Técnicas especializadas, entre as quais a Direcção de Mecânica Aeronáutica (DMA). De acordo com o diploma legal que regulamenta a organização e as competências do CLAFA<sup>5</sup>, a DMA tem por missão promover e dirigir tecnicamente a manutenção dos meios da sua área funcional e elaborar os estudos de engenharia necessários à sua actividade.

<sup>5</sup> Decreto Regulamentar nº 52/94, de 03 de Setembro



A DMA é chefiada por um Director, secundado por um Sub-Director, e integra diversos órgãos, dos quais destacamos as Repartições de Aeronaves.

As Repartições de Aeronaves, que se distinguem, entre si, pelas frotas a que estão ligadas, assumem, por força dos objectivos que lhes foram consignados, um papel de enorme relevo ao nível da manutenção. Uma vez que os resultados que se pretendem alcançar com o presente trabalho se encaixam na tipologia de atribuições inerentes àquelas repartições, achámos por bem dar-lhes destaque. As Repartições de Aeronaves visam, então, em particular:

- Gerir tecnicamente os sistemas mecânicos ou electromecânicos das aeronaves, os sistemas de armamento, as munições, os equipamentos de voo e sobrevivência, os equipamentos de apoio e as ferramentas aplicáveis;
- Promover a execução das acções de manutenção quer a nível interno, quer a nível externo, nacional e/ou internacional;
- Determinar necessidades em função dos planos de exploração e manutenção das frotas;
- Definir especificações e estabelecer regulamentação de índole técnica;
- Avaliar e qualificar o pessoal da manutenção;
- Patrocinar acções de formação e propor a frequência de cursos de pós-graduação na área;
- Exercer funções de inspecção nos domínios superintendidos;
- Participar em programas de investigação e desenvolvimento;
- Efectuar estudos técnicos relativos à vida das aeronaves, seus sistemas, sub-sistemas e componentes a fim de assegurar o máximo rendimento dos meios disponíveis - e nós ousamos acrescentar - a custos tão reduzidos quanto possível.

A 1ª Repartição de Aeronaves da DMA é responsável pelo F-16 *Fighting Falcon* e, conseqüentemente, pelo Motor F100. Vários elementos dessa repartição deram contributos decisivos para a realização desta dissertação, aos níveis da definição de objectivos, da disponibilização de conhecimentos e informação e da validação dos resultados obtidos.

A DMA tem, em suma, um papel de superintendência. As acções de manutenção propriamente ditas são, porém, desenvolvidas nas Unidades Base, em respeito do princípio que conjuga a centralização do comando com a descentralização da execução.

Estando o F-16 sediado na Base Aérea nº 5, localizada, como é sabido, em Monte Real, é lá que se asseguram as actividades de manutenção a cargo da Força Aérea.

Os *outsourcings* relacionados com a sustentação da frota, são contratual e presentemente assegurados pelas OGMA, S.A. e pela *Techspace*, uma firma belga.

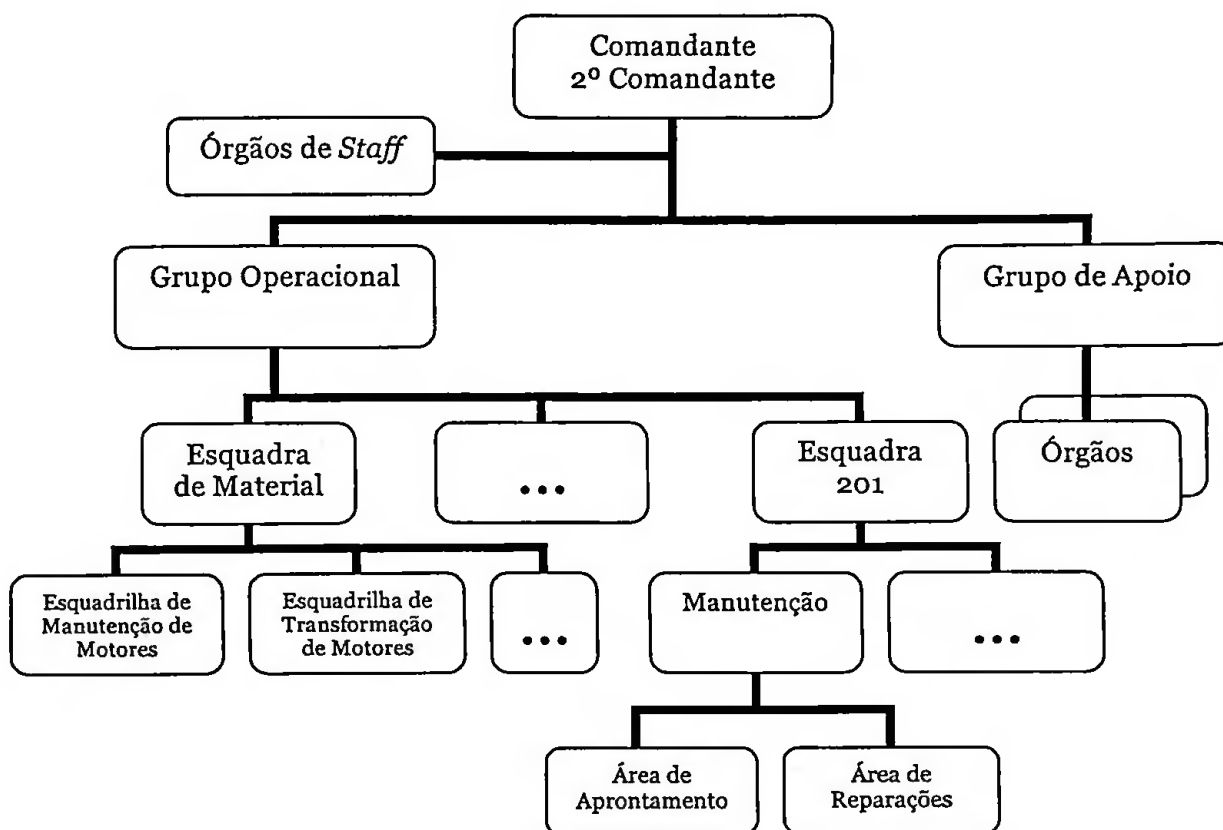
#### **4.1.2. Base Aérea nº 5**

As Bases Aéreas são órgãos de implementação territorial dependentes do COFA, significando que são uma espécie de “postos avançados” desse comando funcional no terreno. A sua principal função é prestar apoio às Unidades Aéreas (Esquadras de Voo) que as integram e que são, afinal, o vértice de toda a estrutura, visto serem as mais directas responsáveis pelo produto operacional da actividade do Ramo.

A Base Aérea nº 5, à semelhança de todas as outras, é encabeçada por um Comandante, coadjuvado por um 2º Comandante e apoiado por diversos órgãos de *staff*. Na sua dependência directa vamos encontrar dois grupos:

- O Grupo Operacional, responsável pela concretização das missões cujo cumprimento depende do emprego de meios aéreos, integrando, entre outros órgãos, as Esquadras de Voo e a Esquadra de Material;
- O Grupo de Apoio, responsável, sobretudo, pela administração logística e financeira da Unidade, pelo pessoal nela colocado e pela segurança das instalações.

**Fig. 11 - Organograma Simplificado da Base Aérea nº 5**



A manutenção de aeronaves e motores reparte-se entre a Esquadra de Material e as Esquadras de Voo, a Esquadra 201 e, em breve, a 2ª Esquadra. Como se constata, esta actividade está integralmente incluída na vertente operacional da Unidade.

À Esquadra de Material compete o desenvolvimento de acções de manutenção de fundo, com vista a garantir a sustentabilidade da frota de F-16, seus sistemas, sub-sistemas e componentes, entre eles o motor.

A Esquadra de Material integra, entre outras, a Esquadrilha de Manutenção de Motores, com competências ao nível das intervenções programadas e inopinadas, em especial as que se enquadram no 2º Escalão, e a Esquadrilha de Transformação de Motores, uma estrutura provisória que, como se adivinha, tem a seu cargo as operações, anteriormente referidas, de transformação dos módulos do Motor F100.

A Esquadra 201 comporta uma estrutura interna de manutenção, sob a alçada de um oficial competente. Essa estrutura, por sua vez, divide-se em duas áreas principais: o aprontamento e as reparações. Ao aprontamento, no qual se enquadra a chamada Linha da Frente, cabe a preparação das aeronaves para o voo e a sua recepção após a aterragem.

À outra área competem inspeções e reparações de baixa complexidade, ou seja, intervenções de 1º Escalão.

O facto desta estrutura de manutenção estar incluída na orgânica da Esquadra de Voo prende-se com questões de auto-suficiência e mobilidade, como afluímos atrás. Efectivamente, qualquer Unidade Aérea deve ser capaz de assegurar as condições mínimas necessárias à sua operação, em concreto, em situações em que as forças têm de ser projectadas para lá do perímetro da Unidade Militar que lhe presta apoio.

Acreditamos ter, assim, dado aos órgãos responsáveis pela manutenção da aeronave e do motor um enquadramento básico, mas adequado.

#### **4.2. Sistemas de Informação**

Não podemos deixar de fazer uma breve referência aos principais sistemas de informação afectos à manutenção das aeronaves e dos motores. A este título dever-se-ão ter em conta sobretudo os seguintes:

##### **Sistemas Exclusivos FAP**

Sistema de Informação de Gestão de Manutenção e Abastecimento - Vertente Abastecimento (SIGMA ABAST): visa apoiar decisões de carácter logístico, tornando possível, entre outras potencialidades, a inventariação de existências e necessidades de sobressalentes, a monitorização dos processos de aquisição e o controlo do material em trânsito;

Sistema de Informação de Gestão de Manutenção e Abastecimento - Vertente Manutenção (SIGMA MANUT)<sup>6</sup>: permite, em particular, controlar o cumprimento das acções de manutenção programadas, acompanhar a ocorrência de intervenções inopinadas, monitorizar as quantidades de mão-de-obra empregues em cada operação e proceder ao *tracking* de números de série e *part numbers*;

Sistema de Informação e Gestão Operacional (SIGOP): tem por objectivo principal facilitar a monitorização diária da prontidão das aeronaves pertencentes a todas as frotas operadas pela Força Aérea e extrair diferentes indicadores de disponibilidade.

---

<sup>6</sup> Foi, entretanto, criada uma aplicação - o PRODIND - que facilita a consulta dos dados do SIGMA MANUT, através da sua importação e transposição para um interface mais simples e flexível, vocacionado para a produção de indicadores.

## **Sistema *Pratt & Whitney***

*Engine Maintenance Management System (EMMS)*: sistema de gestão da manutenção do motor, especializado, sobretudo, na produção de diversos tipos de listagens de material, na compilação de dados históricos e na armazenagem dos requisitos e das datas de conclusão de ordens técnicas calendarizadas.

O EMMS foi, no âmbito do nosso trabalho, uma fonte privilegiada, fornecendo-nos, por exemplo, informação acerca das configurações de motores e *Cores* à data da consulta, dos consumos acumulados de IFT, CCy e HS3 de motores, módulos e sub-módulos, das inspeções programadas em vigor para cada órgão, dos potenciais disponíveis até às intervenções programadas seguintes e do cumprimento de ordens técnicas calendarizadas.

## Parte II - Sistema de Manutenção do Motor F100

### 1. Características do Sistema de Manutenção do Motor F100 - Factores Condicionantes do Modelo de Simulação

Apresentado que foi o Motor F100-PW-220E, e a aeronave que equipa, é chegado o momento de nos concentrarmos no sistema através do qual se garante sua sustentação. Começaremos pelas directivas técnicas que regulamentam, não só a manutenção do motor, como também a de toda a aeronave, após o que veremos a expressão prática da implementação desses postulados e a forma como foram ajustados à frota nacional de Motores F100.

As *Technical Orders* (T.O.) são publicações técnicas oriundas das Forças Armadas norte-americanas e aplicam-se a uma longa lista de sistemas, veículos, máquinas, aparelhos e utensílios nelas utilizados. As aeronaves ocupam lugar no topo dessa lista. As T.O. cumprem, relativamente a cada um dos equipamentos a que se referem e com um elevadíssimo grau de detalhe e precisão, as finalidades abaixo indicadas:

- Caracterização da respectiva função, estrutura e funcionamento;
- Definição das instruções e normas de operação/condução/manuseamento;
- Enumeração das tarefas que permitem diagnosticar o seu estado e identificar a natureza, as causas e a localização de possíveis anomalias;
- Estabelecimento das etapas e dos procedimentos a considerar em todos os tipos de intervenção a que tenha de ser sujeito;
- Fixação das regras a que devem obedecer as acções de manutenção preventiva, como sejam os subconjuntos a inspeccionar/substituir, o momento a partir do qual essas inspecções/substituições devem começar ou ser suspensas e a periodicidade com que, enquanto em vigor, têm de ser repetidas ou, ainda, o tempo de vida útil dos componentes não reparáveis;
- Identificação dos perigos potenciais para as pessoas (*Warnings*) e para o material (*Cautions*) decorrentes do contacto com esses equipamentos;
- Descrição dos comportamentos capazes de potenciar a eficiência inerente à sua operação/condução/manuseamento e às actividades de manutenção que lhes estiverem associadas.

As T.O. aplicáveis a sistemas altamente complexos, como é o caso das aeronaves, desdobram-se numa infinidade de publicações que, se em papel, são dignas de muitas e muitas prateleiras de uma sala de arquivo.

A vastidão da informação nelas contida está organizada segundo um eficaz método de indexação - o *Maintenance Integrated Data Access System* (MIDAS) - que permite encontrar com facilidade e rapidez o assunto procurado.

Estas publicações, que assumem a forma de fichas guardadas em pastas, são actualizadas, numa base regular, por intermédio das denominadas *Changes*, que substituem, sem quebrar a respectiva sequência, as folhas que se tenham, entretanto, tornado obsoletas. Os CD-ROM vieram, como se adivinha, tornar a compilação e a consulta das T.O. processos ainda mais expeditos.

As Forças Aéreas que adquiram aeronaves aos Estados Unidos recebem, com a frota transaccionada, as correspondentes T.O. em vigor àquela data, vinculando-se a contratos de actualização com a USAF, por meio dos quais passam a receber todas as *Changes* que nesse domínio venham a ser emitidas.

A USAF emite, ainda, algumas T.O. específicas, aplicáveis apenas às frotas nacionais de cada país aderente ao programa do F-16 *Fighting Falcon*. As T.O. "portuguesas" distinguem-se das demais através do prefixo PT, que antecede os códigos que identificam os seus assunto e conteúdo.

Esta apresentação sumária das T.O. não fica, porém, completa até que as *Time Compliance Technical Orders* (T.C.T.O.) sejam alvo de referência. Enquanto as T.O. têm, como vimos, um cariz doutrinário, as T.C.T.O. recomendam actuações, mais ou menos prioritárias, dentro dos prazos para o efeito estabelecidos.

A emissão de T.C.T.O. de cariz aeronáutico acontece sempre que:

- Forem descobertas anomalias, antes insuspeitas, susceptíveis de prejudicar o bom funcionamento da aeronave e/ou do motor e, no limite, de pôr em perigo a vida dos pilotos;
- Se encontrem novas maneiras de melhorar o rendimento dos equipamentos;
- Seja possível introduzir alterações capazes de alargar os intervalos entre intervenções de 3º Escalão.

Assim sendo, o cumprimento das T.C.T.O. materializa-se nas seguintes acções de manutenção, desenvolvidas isolada ou cumulativamente:

- Inspeções extraordinárias;
- Reparação de *part numbers*, no todo ou em parte;
- Substituição de *part numbers*.

O grau de prioridade associado a cada T.C.T.O. relacionada com a prevenção de anomalias consideradas iminentes é, como é óbvio, proporcional aos riscos envolvidos no seu incumprimento. As T.C.T.O. menos urgentes e, por conseguinte, derivadas de focos de desgaste perfeitamente monitorizáveis, dão aos Gestores de Frota uma boa margem de manobra para gerir o seu cumprimento, que, a ser retardado, traduz-se apenas na repetição frequente, ainda que com penalidades para a actividade operacional, de inspeções de outra forma desnecessárias.

A obrigatoriedade de realização destas inspeções supervenientes extingue-se, então, assim que o órgão sob suspeita de dano iminente, porquanto exposto a anomalias repentinas antes tidas com improváveis, tenha sido reparado ou substituído por um novo *part number*.

Tão logo tenham passado os prazos fixados para a execução de T.C.T.O. que determinem modificações de configuração, que, neste caso, significa trocar um ou vários *part numbers*, são emitidas *Changes*, através das quais as alterações introduzidas passam a estar consagradas em T.O., assumindo o estatuto de normas vigentes. O mesmo acontece se inspeções extraordinárias forem convertidas em inspeções permanentes.

Assumindo que as T.O. enquadram, do ponto de vista técnico, quer o sistema encarado como um todo - no caso, a aeronave - quer os seus sub-sistemas, tudo o que atrás se disse aplica-se também à propulsão e, por inerência, ao Motor F100-PW-220E. Vamos, portanto, estreitar a amplitude da análise e passar, doravante, a encarar o motor como o mais elevado conjunto superior.

A expressão “conjunto superior”, uma tradução ajustada de “*end item*”, é um termo comum no mundo da manutenção aeronáutica e diz respeito à lógica de decomposição dos sistemas em sub-sistemas de vários níveis e destes em componentes e sub-componentes.

O conjunto superior é o patamar de composição imediatamente acima do item que se estiver a considerar.



A aeronave é simultaneamente o conjunto superior do sistema de propulsão e o conjunto superior final. Porém, como acabámos de referir, trataremos o motor como um *end item* de nível máximo - relega-se, assim, para segundo plano, a sua interacção com o todo muitíssimo mais vasto que constitui o avião.

Interessa a este propósito, delimitar as fronteiras do nosso tema, circunscrito, a montante, pelo motor, e a jusante, pela HPT. Os cinco módulos do motor - *Fan*, FDT, HPC, *Augmentor* e *Gearbox* - assumem uma posição intermédia entre aqueles extremos.

Daqui decorre que sejam deste estudo excluídos os aspectos da manutenção relacionados, por um lado, com os restantes sistemas da aeronave e, por outro, com os restantes subconjuntos em que é possível subdividir o motor, os módulos e a HPT (sub-sistemas, componentes e sub-componentes), já que, de outro modo, estaríamos perante um grau de complexidade incomportável, pelo menos no âmbito deste trabalho.

Contudo, a forma como até aqui associámos o motor às partes que o integram carece de alguns refinamentos e esta assume-se como a ocasião ideal para apresentá-los.

Do exposto, ficámos a saber que:

- O motor é constituído por módulos e sub-sistemas;
- Os módulos integram sub-módulos, no caso do *Core*, e componentes;
- As componentes desdobram-se, por vezes, em sub-componentes.

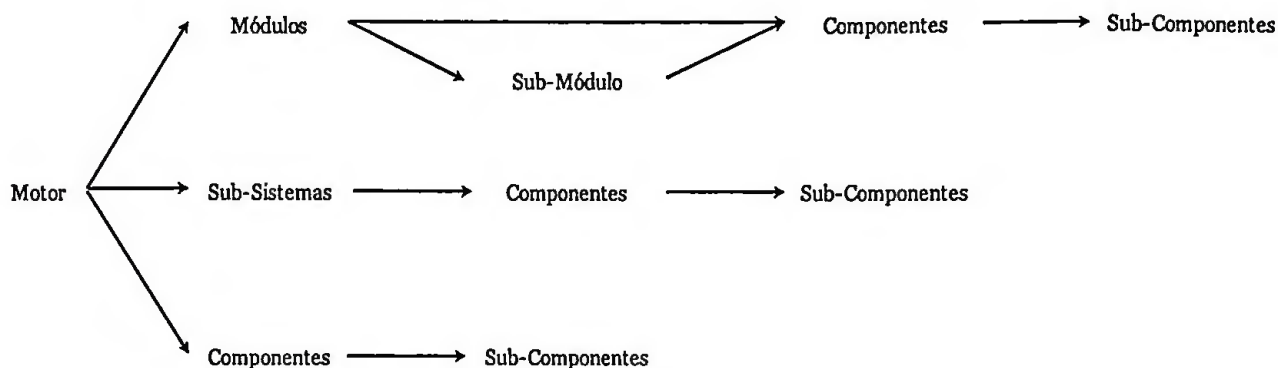
Nesta sequência, não podemos deixar de esclarecer que usaremos amiúde o termo “componente” em sentido restrito, isto é, como subdivisão de blocos maiores, mas convém não esquecer que, em sentido amplo, todos os subconjuntos do motor (ou de qualquer outra máquina) são seus componentes.

No caso em apreço, os módulos e o sub-módulo, ainda que macro-agregados de muitas outras peças, são componentes do motor.

Por outro lado, a hierarquia que se subentende do que até aqui se disse é um reflexo simplificado dos caminhos de decomposição do motor.

A figura seguinte ajuda-nos a descrevê-los com o detalhe que merecem:

**Fig. 12 - Caminhos de Decomposição do Motor**



Através deste esquema sublinha-se que há sub-sistemas e componentes directamente instalados no motor e, portanto, ao mesmo nível dos módulos.

A título de exemplo, o EMS, atrás referido, é um desses sub-sistemas e o CENC<sup>7</sup> um desses componentes.

As T.O. prevêem um método de codificação, aplicável aos itens controlados, ou seja, aos itens monitorizados com uma periodicidade regular. Este método, denominado *Component Indenture* (CI), permite determinar o nível de decomposição do motor a que pertencem os itens, por meio dos códigos que preconiza - os *Configured Item Identifiers* (CII).

Dever-se-á considerar a seguinte tipologia de CII (prefixos dos códigos):

- Motor: AF
- Módulos do Motor: DF
- Sub-Módulo do *Core* (HPT): DF
- Sub-Sistemas e Componentes do Motor: LF
- Componentes dos Módulos e do Sub-Módulo: PF

Muito embora a HPT tenha como *end item* o *Core*, ela é tratada pelas T.O. como um módulo de pleno direito, dado o seu contributo determinante para o funcionamento do conjunto de alta pressão e os elevados custos decorrentes da sua manutenção, como aliás já havíamos mencionado. Nós, porém, decidimos, por questões que se prendem com a parte prática desta dissertação, fazer uma abordagem distinta, em que a HPT está mesmo um nível abaixo do HPC. Daí a sobejamente repetida expressão “sub-módulo”.

<sup>7</sup> *Convergent Exhaust Nozzle Control* – é uma espécie de válvula de circuito fechado, que participa no processo de monitorização da pressão do ar resultante da sujeição do motor a elevadas rotações.

Apraz, por fim, clarificar que, quando nos queremos referir aos elementos de cada um destes níveis de decomposição em abstracto, isto é, sem revelar a sua localização hierárquica, usamos os termos item ou órgão.

Em relação às T.O. e às T.C.T.O., resta, apenas acrescentar, que, no caso específico do Motor F100, a sua emissão tem resultado de um esforço conjunto de definição e actualização de regras de sustentabilidade, repartido entre a USAF e o fabricante *Pratt & Whitney*.

Estamos, enfim, em condições de abordar o *modus operandi* estabelecido para a manutenção do motor, compreendendo, à partida, a origem dos princípios que o corporizam. Sempre que necessário, serão evidenciadas as particularidades nacionais do método de trabalho estabelecido.

Iremos, contudo, conceder especial atenção às actividades desenvolvidas no contexto da manutenção programada, já que as intervenções forçadas por anomalias imprevisíveis requerem, tão só, a correcta identificação do problema e a devida reparação. As avarias, desde que sanadas, não afectam significativamente a durabilidade dos órgãos.

### **1.1. Filosofias Subjacentes à Manutenção do Motor F100-PW-220E**

Duas abordagens intimamente ligadas estão na base do desenvolvimento do conceito de manutenção do Motor F100 - a *Reliability-Centered Maintenance* e a *On Condition Maintenance*. Já falámos delas antes, em sentido amplo. Vejamos, agora, como se aplicam, em concreto, ao motor.

Nos primeiros anos da sua operação, nos EUA, vigorava um esquema de substituições calendarizadas de componentes, independentemente do seu estado de conservação, à luz do que, em parte, preconiza a RCM. Embora tal expediente assegurasse elevados graus de fiabilidade, traduzia-se em indesejáveis desperdícios orçamentais, porquanto nem todos os componentes eram rentabilizados, sendo, por vezes, descartados ainda em boas condições. A transição progressiva para a OCM possibilitou o saneamento desse problema, sem delapidar a fiabilidade exigível ao motor.

Começou, por conseguinte, a recorrer-se, cada vez mais, a técnicas de vigilância, como sejam a inspecção boroscópica, cujos princípios se assemelham aos da endoscopia, a análise de óleos das juntas ou o estudo dos dados fornecidos pelo EDU, quer em intervalos fixos, quer sempre que os sistemas de monitorização do motor o ditem.

Porém as demais ferramentas da RCM nunca chegaram a ser postas de parte. Por um lado, casos há, se bem que mais raros, em que ainda se recorre à substituição compulsiva de componentes sem se atender ao seu desgaste, em especial aquando dos *overhauls*. Por outro, recorre-se, com frequência, a melhorias na concepção das peças. Prova disso é o Programa de Modificação e Melhoria de Componentes (*Component Improvement Program - CIP*), promovido pela USAF. O CIP introduz novos componentes, tecnologicamente superiores, de modo a aumentar a fiabilidade inerente do motor.

Até aqui, tudo o que neste ponto se disse assenta, na perfeição, aos itens cuja razão de substituição é conhecida, ou seja, aos componentes cujo tempo médio de vida está tabelado. Mas nem todas as peças gozam de tal privilégio.

De facto, o Motor F100 foi projectado para durar apenas 8000 CCy (o que daria, no máximo, para cerca de 16 anos de operação), entretanto ultrapassados por força da decisão de assegurar a vida de serviço da frota de F-16 até ao seu limite absoluto de 8000 horas de voo (que equivalem, grosso modo, a 40 anos de actividade), nomeadamente através dos programas de reforço estrutural atrás mencionados. Concluiu-se que era possível, por intermédio de regenerações sucessivas, criar condições para que os motores acompanhassem o ciclo de vida da aeronave.

Daqui resultou que todos os componentes desenhados para resistir, sem problemas, a 8000 CCy de operação tivessem de passar a ser monitorizados de modo assíduo e atento, depois de transposto esse marco, dado o desconhecimento da sua razão de substituição. Estes são os chamados componentes não controlados, por dispensarem, nos primeiros 8000 CCy, qualquer tipo de vigilância.

Para dar resposta às novas necessidades de acompanhamento da degradação dos motores, surgiu o *Extended Life Management Plan* (ELMP), vocacionado para a solução dos problemas decorrentes da utilização dos motores para além do tempo de serviço estabelecido à partida, em particular no que aos componentes não controlados concerne.

Constatamos, em suma, que a sustentabilidade do Motor F100 é, nos dias de hoje, assegurada sobretudo por meio dos postulados da OCM, em consonância com as medidas propostas pelo ELMP, isto, claro está, em sede de intervenções programadas.

Adiante, faremos uma breve menção às intervenções inopinadas, fruto das falhas que nem mesmo as acções preventivas atrás descritas conseguem evitar.

## **1.2. Conceitos Fundamentais da Metodologia de Manutenção do Motor F100-PW-220E**

Neste ponto pretende-se dar a conhecer os factores que, na nossa opinião, melhor individualizam a metodologia de manutenção do motor e que foram determinantes na criação das rotinas subjacentes ao modelo de simulação concebido, cuja descrição detalhada se fará mais à frente.

### **1.2.1. Modularidade**

Começamos por lembrar e sublinhar o papel fundamental que a modularidade do motor, filosofia subjacente, como vimos, à concepção de toda a aeronave, desempenha na optimização das diligências da manutenção.

O facto de o motor ser constituído por cinco grandes blocos amovíveis, rotáveis e, portanto, propícios a substituições rápidas, evita que as partes “saudáveis” fiquem indefinidamente à espera que as “doentes” se recomponham, situação a que não conseguem escapar os motores “tradicionais”. Esta vantagem contribui, de forma decisiva, para aumentar o número médio de motores prontos, donde decorrem, por inerência, o recrudescimento da quantidade de aeronaves prontas e a redução das restrições à actividade operacional.

### **1.2.2. Prontidão, Operacionalidade e Instalação**

É através dos conceitos em epígrafe que se define, em cada momento, o estado do motor, dos módulos e dos sub-módulos.

Em sentido lato, prontidão e operacionalidade confundem-se, embora sejam termos com significados ligeiramente distintos.

A prontidão prende-se com a disponibilidade imediata com que podemos usar um determinado recurso, humano ou material - a tónica é posta no factor tempo, isto é, na rapidez com que os recursos se tornam disponíveis para actuação ou utilização.

A operacionalidade, por seu turno, decorre de um estado inerente aos meios, que permite o seu emprego nas melhores condições.

Um meio pronto tem forçosamente de estar operacional, mas a inversa poderá não ser verdadeira. De facto, um recurso pode estar operacional, sem, no entanto, poder ser empregue de imediato, por estar afastado do local onde faz falta, por carecer de energia ou combustível, ou por qualquer outra razão que dificulte a sua rápida utilização. Em sentido tão restrito quanto o nosso âmbito usaremos as seguintes expressões:

- Aeronaves e motores prontos - para reforçar a ideia de que podem servir os propósitos para que foram construídos a qualquer momento;
- Módulos e sub-módulos operacionais - porque a sua prontidão depende de estarem ou não instalados no respectivo conjunto superior.

A instalação de uma HPT num *Core* ou de um qualquer módulo no motor significa que fazem parte da sua configuração.

Os motores também são instalados nas aeronaves, mas, na nossa simulação, não subordinámos a sua prontidão à instalação no completo, dado não ser comum um motor operacional estar desinstalado. São, por regra, as aeronaves que aguardam motor e não o contrário. Assumiremos, por este motivo, que todos os motores prontos estão instalados.

### **1.2.3. Níveis de Desagregação de Conjuntos**

Dependendo da sua profundidade, cada intervenção exige um destes quatro níveis (crescentes) de desagregação de conjuntos, definidos por nós:

- Nível 0: as inspecções são realizadas sem que haja necessidade de remover o motor do seu conjunto superior - a aeronave;
- Nível 1: as inspecções/intervenções exigem a remoção do motor da aeronave em que está instalado;
- Nível 2: as inspecções/intervenções implicam não só a remoção do motor da aeronave, como também o seu desmembramento em grandes blocos, uma vez que, neste caso, as actividades de manutenção incidem, em particular, sobre um único módulo e/ou sub-módulo - este nível exige precedentemente uma desagregação de nível 1;
- Nível 3: as inspecções/intervenções implicam a desmontagem completa de módulos e/ou de sub-módulos, entretanto separados do motor - este nível exige, *a priori*, uma desagregação de nível 2.

Considerar-se-ão adiante somente os três primeiros níveis de desagregação de conjuntos, já que o nível 3 se prende com as operações de regeneração de módulos e sub-módulos, cujos detalhes transcendem o âmbito deste trabalho. Teremos apenas em conta as operações necessárias à expedição de um módulo ou sub-módulo para *depot* e não os procedimentos concretos que lhe estão subjacentes.

#### 1.2.4. Unidades de Monitorização

Decidimos adoptar a designação de unidades de monitorização ou controlo, também designadas por *tracking methods* para os eventos decorrentes da operação do motor, cuja acumulação determina a realização periódica de intervenções preventivas obrigatórias.

Há quatro tipos de unidades de monitorização:

- *In-Flight Time* (IFT): é o tempo, em horas decimais (exemplo: 2 horas e 30 minutos correspondem a 2,5 horas decimais), que o motor opera em voo.
- *Engine Operating Time* (EOT): é o tempo total, em horas decimais, de operação do motor, em voo e em banco de ensaio - em Portugal, o seu valor corresponde a cerca de 1,6 do tempo de operação em voo, ou seja,  $EOT \approx 1,6 IFT$ .
- *Calculated Cycles* (CCy): os ciclos calculados constituem a mais complexa unidade de monitorização, dado resultarem da combinação de outros eventos, e determinam-se por intermédio da seguinte fórmula:

$$CCy = 0,25 LCF + 0,75 MAN$$

Em que:      LCF - *Low Cycle Fatigue*      MAN - *Manual Cycle*

Os ciclos LCF e MAN são duas medidas do desgaste imposto ao motor e, por inerência, aos respectivos módulos, através da alternância entre diferentes níveis de potência, expressos em rpm. A alternância de esforços de diferentes intensidades gera fadiga - a combinação ponderada dos ciclos LCF e MAN permitem quantificá-la.

Os ciclos LCF são determinados a partir de  $N_2^8$ , que exprime, como vimos, a velocidade de rotação do veio que liga o compressor de alta pressão à turbina de alta pressão, e traduzem o número de vezes em que se verificou a sequência 10250 - 12500 - 10250 rpm. Os ciclos LCF exprimem a fadiga resultante de acontecimentos rotineiros.

Os ciclos MAN são igualmente determinados com base em  $N_2$  e resultam da acumulação de sequências 6500 - 12500 - 6500 rpm. Os ciclos MAN traduzem a fadiga provocada por eventos que, embora rotineiros, são menos frequentes que os que dão origem aos ciclos LCF.

- *Hot Section Time 3 (HS3)*: esta unidade de monitorização mede o tempo, em horas decimais, de operação na zona quente, ou seja, o tempo em que a *Fan Turbine Inlet Temperature (FTIT)* - temperatura do ar à entrada da turbina de baixa pressão que equivale à temperatura do ar à saída da de alta pressão - permaneceu acima dos 915 °C.

Na verdade, existem quatro categorias de tempos de operação em zona quente<sup>9</sup>:

HS1: FTIT > 935 °C

HS3: FTIT > 915 °C

HS2: FTIT > 970 °C

HS4: FTIT > 948 °C

Porém, só os valores de HS3 nos interessam, visto ser o nível a partir do qual são determinadas algumas inspecções programadas.

Ficam, assim, apresentadas as unidades através das quais se definem todos os intervalos entre as acções de manutenção regulares abrangidas nesta dissertação - as que ao motor, aos módulos e ao sub-módulo HPT dizem respeito.

Refira-se, a título de curiosidade, que existem duas outras medidas de desgaste que, por não constituírem unidades de contagem para a realização de inspecções, não são consideradas *tracking methods*.

São elas o *Afterburner Time (ABT)* e os *Afterburner Cycles (ABC)* e dizem, respectivamente, respeito ao tempo de operação, em horas decimais, do motor em potência máxima, ou seja, em pós-combustão, e aos ciclos consumidos durante esse mesmo tempo.

---

<sup>8</sup> Recordemos que,  $N_1$ , por seu turno, reflecte a velocidade de rotação do veio que liga a *Fan* à turbina de baixa pressão.

<sup>9</sup> As categorias sobrepõem-se. Por exemplo, quando a FTIT atinge HS2, está simultaneamente em HS3, HS1 e HS4.



### **1.2.5. Alinhamento de Intervenções**

Outro vector incontornável da metodologia de manutenção do motor é o que com as medidas de alinhamento de intervenções se prende. Previstas nas T.O. e directamente instrumentadas pelo Gestor de Frota, visam otimizar os tempos ininterruptos de operação do motor, por força da concertação das paragens para inspecção e reparação. Tenta-se, sempre que possível, efectuar mais do que uma intervenção de cada vez que um motor pára de forma programada ou inopinada. O alinhamento de intervenções faz-se, portanto, entre as acções de manutenção respeitantes a um mesmo motor.

A combinação de três expedientes permite harmonizar as paragens impostas a cada motor, seus módulos e sub-módulo:

- Através da fixação de intervalos de revisão proporcionais;
- Por intermédio das tolerâncias que, nalguns casos, acrescem aos prazos definidos para a realização das intervenções de carácter preventivo, consentindo o seu retardamento;
- Por antecipação das intervenções programadas.

O tempo de inspecção/reparação não interfere no alinhamento, uma vez que é um factor externo, porquanto posterior, à decisão de concertar intervenções. Vejamos de que forma são usados estes expedientes.

De facto, sempre que entendido conveniente, fixam-se, para duas ou mais inspecções programadas de diferentes tipos, mas controladas na mesma unidade de monitorização (u.m.), intervalos de igual amplitude ou, pelo menos, divisíveis entre si o que, regularmente, torna viável a sua realização simultânea, pressupondo-se, como é óbvio, a sincronização dessas paragens, ou seja, que as contagens que a elas conduzem se iniciaram num mesmo momento.

Se essa proporcionalidade não for, à partida, garantida pelas T.O. e T.C.T.O. em vigor, poderá o Gestor de Frota, aumentar uma ou mais frequências, de modo a viabilizar a concertação de acções de manutenção calendarizadas. Este recurso tem sido explorado pela Força Aérea Portuguesa - cabe àquele responsável identificar as situações em que as reduções dos intervalos entre inspecções trazem benefícios capazes de superar os eventuais prejuízos, como sejam, por exemplo, o aumento do ritmo de deterioração das ferramentas e dos instrumentos usados ou as dificuldades de gestão do pessoal que podem decorrer da realização simultânea de múltiplas inspecções entretanto alinhadas.

Pressupondo, então, que a contagem subjacente a cada inspeção se iniciou num mesmo momento do tempo, vejamos o seguinte exemplo:

**Quadro 3 - Concomitância Natural e Forçada Entre Inspeções**

Inspeções	Intervalo Entre Inspeções
A	300 u.m.
B	600 u.m.
C	1300 u.m.

Neste caso, há concomitância natural - a que decorre das normas fixadas pela USAF e pelo fabricante - entre as inspeções A e B a cada 600 unidades de monitorização (u.m.).

Imaginando que o Gestor de Frota decidia aumentar a frequência da inspeção C para 1200 u.m., o que é o mesmo que dizer que optou por reduzir o respectivo intervalo de concretização em 100 u.m., obter-se-ia uma situação de concomitância forçada entre as duas primeiras inspeções e esta última. Assim, de 1200 em 1200 u.m. verificar-se-ia a coincidência das três acções de manutenção.

O quadro seguinte facilita, relativamente ao exemplo em apreço, a identificação dos quatro primeiros momentos - duplos e triplos - de alinhamento, destacados a sombreado.

**Quadro 4 - Momentos de Concomitância**

Momento / Inspeções	300 u.m.	600 u.m.	900 u.m.	1200 u.m.	1500 u.m.	1800 u.m.	2100 u.m.	2400 u.m.
A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
B		✓		✓		✓		✓
C				✓				✓

✓ Intervenções Realizadas em cada Momento

As tolerâncias ou folgas, por seu turno, representam a possibilidade de retardar a realização de acções de manutenção preventiva, medida que, como já se referiu, visa, de igual modo, alinhar o maior número possível de intervenções programadas. A sua aplicação não é, todavia, generalizada, ou seja, só determinadas inspeções beneficiam dessa hipótese de retardamento.

As folgas são calculadas em percentagem do limite simples.

Por sua vez, o limite simples é a amplitude do intervalo entre inspecções consecutivas do mesmo tipo.

Chamamos limite absoluto à soma do limite simples com a respectiva folga, nula ou positiva - daqui resulta que para todas as inspecções sem tolerância, o limite simples coincide com o limite absoluto.

A regra geral é que os itens controlados em horas, de voo ou de operação, beneficiem de uma tolerância de 10%. No entanto, os *overhauls do Augmentor*, embora controlados em CCy, gozam também de uma folga igual.

Exemplificando:

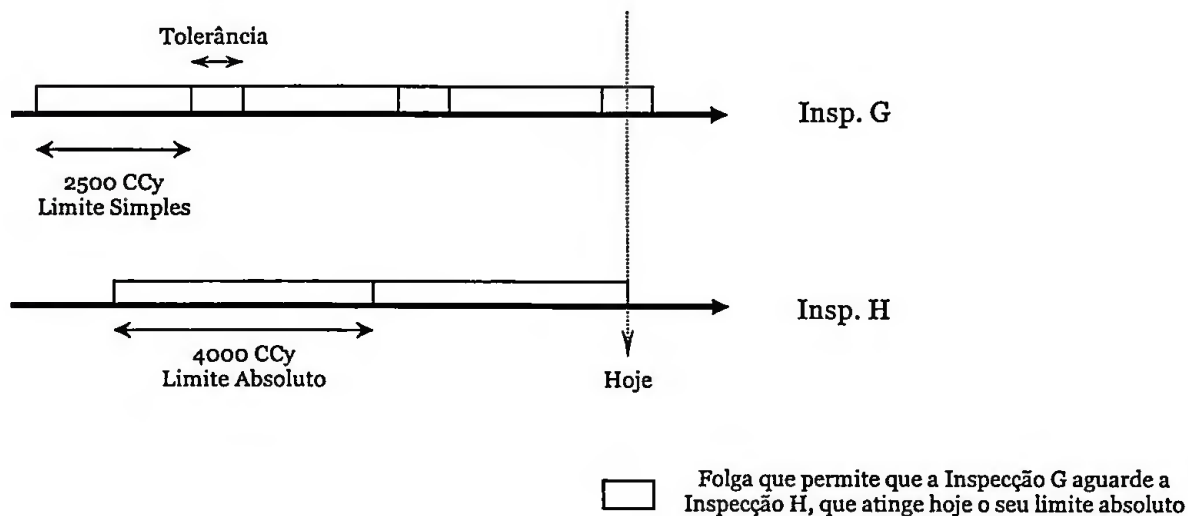
#### Quadro 5 - Limites Simples e Absolutos

Inspeções	Limite Simples	Tolerância	Limite Absoluto
D	350 u.m.	10%	385 u.m.
E	500 u.m.	0%	500 u.m.
F	100 u.m.	10%	110 u.m.

Mas, afinal, de que modo é que as folgas servem os objectivos do alinhamento? As tolerâncias estabelecidas permitem atrasar a realização de determinadas intervenções de modo a fazê-las coincidir com o momento em que uma ou várias outras acções de manutenção preventiva atingem o seu limite absoluto. As inspecções para as quais haja folgas vigentes podem, por vezes, “esperar” por outras cuja realização esteja iminente, independentemente das unidades de monitorização em que estão a ser controladas, pois estas podem compatibilizar-se, como veremos.

A Figura 13 ilustra o uso das tolerâncias:

Fig. 13 - Tolerâncias



No exemplo da Figura 13, o *tracking method* das inspeções G e H é coincidente, mas, como referimos, tal não constitui um requisito desta medida de alinhamento.

Note-se, porém, que o contrário, ou seja, o adiantamento de inspeções programadas também acontece com frequência.

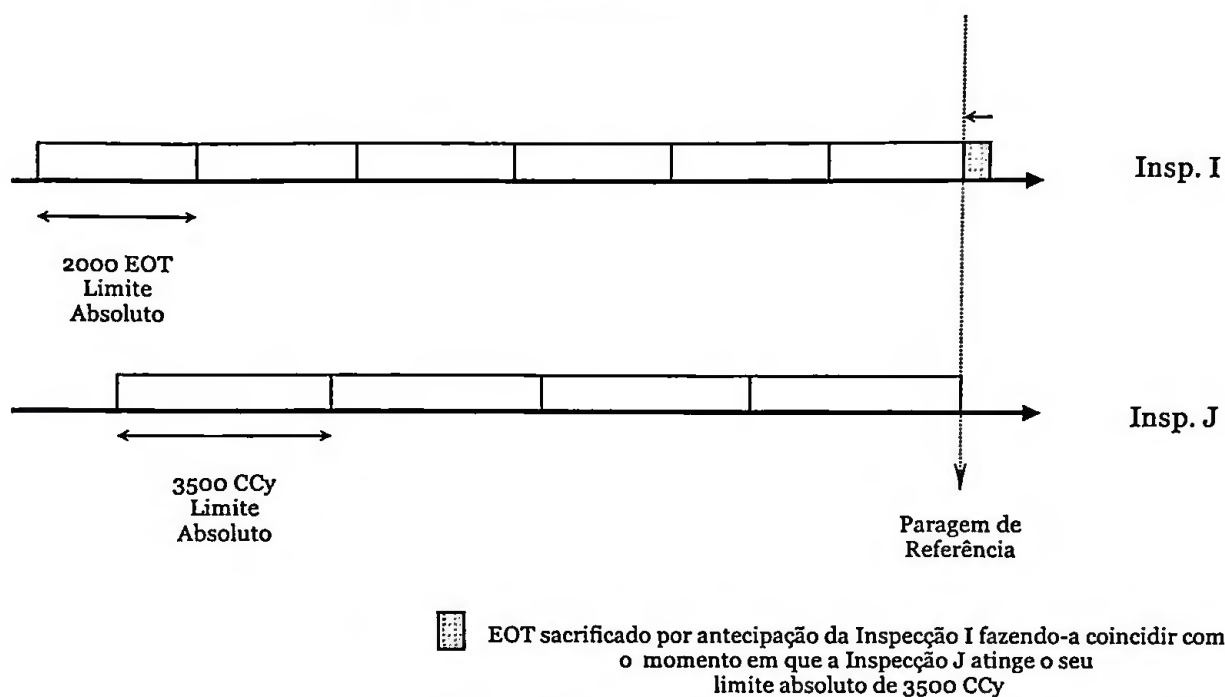
É prerrogativa do Gestor de Frota determinar, de acordo com as regras estabelecidas em T.O., a concretização antecipada de uma ou mais intervenções, por força de uma paragem programada ou inopinada entretanto verificada. Isto significa sacrificar tempos disponíveis de operação até aos limites absolutos das inspeções que se antecipam, em prol do supracitado alinhamento, se daí advier alguma vantagem. Daqui depreende-se que as avarias podem, à semelhança das inspeções, desencadear processos de concertação.

Qualquer inspeção, havendo ou não para ela uma tolerância definida, poderá ser alvo de uma decisão de antecipação e o número de unidades de monitorização a sacrificar, em cada caso, está previsto em T.O..

Também, neste contexto, podem conciliar-se inspeções cujas unidades de monitorização são diferentes.

A Figura 14 ajuda a compreender o processo de antecipação de inspeções:

**Fig. 14 - Antecipação de Inspeções**



Paralelamente, ao contrário dos limites absolutos, que são intransponíveis, pode, em situações extremas, antecipar-se uma intervenção para além do número de unidades de monitorização, para esse efeito, recomendadas em T.O., ou seja, uma intervenção pode ser realizada antes da “data mais cedo” sugerida nas ordens técnicas. Como se compreende, é intolerável deixar um órgão degradar-se a pontos de se correr o risco de acontecer uma falha catastrófica grave, mas nada impede, para além de constrangimentos económico-financeiros, a efectivação prematura de uma acção de manutenção.

Para completar este ponto falta ainda explicar de que forma o alinhamento de inspeções se relaciona com os diferentes níveis de desagregação de conjuntos que nos interessa considerar - nível 0 (motor na aeronave), nível 1 (motor removido da aeronave) e nível 2 (motor desmontado).

De facto, a conciliação das inspeções de um motor não pode ser alheia aos níveis de desagregação de conjuntos que lhes estiverem associados.

Não faz muito sentido, por exemplo, antecipar uma intervenção de nível 2 pelo facto de se ter verificado uma paragem de nível 0. Essa atitude subverteria os propósitos do alinhamento de intervenções, uma vez que, ao invés do motor voltar rapidamente à operação, estaríamos a impedi-lo de voar por tempo indeterminado.

A desmontagem do motor visando a separação de um ou mais módulos é uma operação entre 4 a 6 seis vezes mais demorada do que a generalidade das inspecções de nível 0. Contudo, o que pode realmente parar o motor por tempo indefinido é a eventualidade de não ser possível substituir de imediato os módulos removidos para intervenção.

O contrário, ou seja, a realização antecipada de uma inspecção de nível 0 por força de uma paragem de nível 2, já não é, de todo, descabido, embora não seja generalizável.

Imaginemos que um motor pára para lhe ser removida a HPT, cujo prazo para *overhaul* se venceu, estando uma inspecção de nível 0 a um dos seus componentes iminente. Ora, tendo em conta que as inspecções de nível 0 visam averiguar, por exemplo, o grau de desgaste ou de corrosão de um ou vários componentes, seria absurdo considerar a sua antecipação - os *overhauls* incluem, como sabemos, inspecções muitíssimo mais profundas e preconizam operações de manutenção que permitem regenerar o módulo e, por conseguinte, todos os seus componentes. Seria o mesmo que gastar tempo a analisar o estado de conservação de um muro que vai ser deitado abaixo para futura reconstrução.

Por outro lado, embora pudesse teoricamente justificar-se a antecipação de inspecções de nível 0, a verdade é que, de um modo geral, a elevada frequência com que são realizadas desaconselha-o.

Assim sendo, ressalvadas raras excepções, temos que:

- Não se antecipam inspecções de nível 0;
- As inspecções de nível 0 não despoletam processos de alinhamento;
- Só se equaciona antecipar intervenções iminentes cujo nível de desagregação de conjuntos seja igual ou inferior ao que estiver associado à paragem de referência, ou seja, à paragem que desencadeia um eventual processo de alinhamento.

Isto é o mesmo que dizer que só se adianta a realização de intervenções dos níveis 1 e 2 e apenas quando a paragem de referência - avaria ou acção planeada - também corresponde a um desses níveis, nos moldes explicados.

O próximo quadro sistematiza o esquema de conciliações decorrente das afirmações que acabámos de fazer:

**Quadro 6 - Alinhamento e Níveis de Desagregação de Conjuntos**

Insp. Antecipável Paragem Referência	Nível 0	Nível 1	Nível 2
Nível 0			
Nível 1		✓	
Nível 2		✓	✓

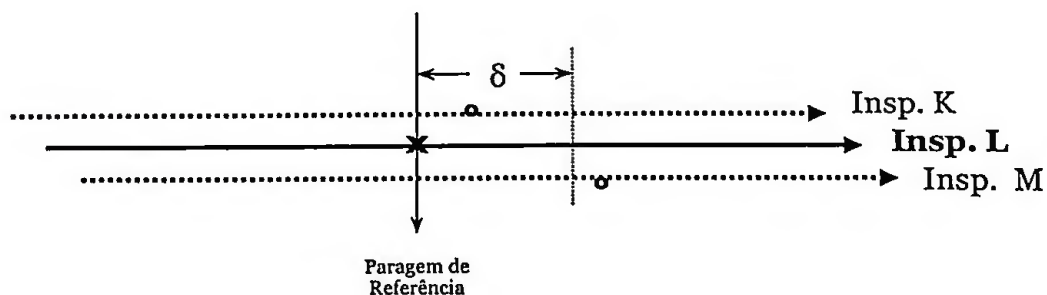
✓ Intervenções Compatíveis com a Paragem de Referência

Convém ainda salientar que por “inspecções iminentes” queremos significar inspecções que são antecipáveis pelo facto dos seus limites simples estarem na proximidade  $\delta$  do momento ao qual se reporta a antecipação.

A Figura 15 permite-nos visualizar melhor esta ideia. Considere-se que:

- X marca a paragem de referência (inspecção L);
- As inspecções K, L e M reportam-se a um mesmo motor;
- As inspecções K e M são compatíveis com a paragem de referência, em termos de níveis de desagregação de conjuntos;
- $\delta$  representa as unidades de monitorização máximas que estamos dispostos a sacrificar para tentar um alinhamento.

**Fig. 15 - Alinhamento de Inspeções por Antecipação**



Se entre  $X$  e  $X + \delta$  houver limites simples das próximas inspecções K e/ou M, estamos perante uma situação de potencial alinhamento, em que as inspecções K e/ou M podem ser antecipadas para o ponto  $X$ .

Assim, se “o” assinalar os momentos em que são atingidos os próximos limites simples das inspecções K e M, constata-se que o alinhamento poderia acontecer, no ponto  $X$ , somente entre K e L.

Designaremos as paragens antecipadas por paragens alinhadas. Voltando, pela última vez, ao nosso exemplo, tem-se, então, que a inspecção L assume o papel de paragem de referência, traduzindo-se a inspecção K numa paragem alinhada.

Considerando um dado motor, o alinhamento entre inspecções de um mesmo órgão será, para já, designado por alinhamento interno e o que se efectuar entre inspecções de órgãos diferentes por alinhamento externo. Adiante refinaremos estas definições.

Para finalizar, é imperativo salientar que, de um modo geral, a realização simultânea de diferentes inspecções quase nunca permite que elas se dispensem entre si. Reportando-nos, a título de exemplo, a um módulo, relativamente ao qual tenha sido possível concertar duas intervenções, se uma delas não for um *overhaul*, não é provável que uma possa substituir a outra.

Os conceitos de tolerância, de tempo limite simples e absoluto e, sobretudo, o de alinhamento de intervenções ganharão especial relevo mais adiante, pois são, como se verá, essenciais ao modelo de simulação.

#### **1.2.6. Rigidez Dinâmica**

Escolhemos de forma deliberada esta expressão paradoxal com o intuito de captar a atenção dos leitores para o que julgamos ser o último vector-chave da metodologia de manutenção aplicável ao Motor F100 - o facto dessa metodologia se fazer da coexistência pacífica, harmónica e complementar entre princípios rígidos e práticas flexíveis. De facto, os fundamentos que inspiraram a concepção do motor e, por inerência, a filosofia e a metodologia segundo as quais se exerce a sua manutenção não podem deixar de aplicar-se, dado terem sido criados à sua imagem e semelhança. O motor não pode, por exemplo, desvincular-se da modularidade que o caracteriza, nem tão pouco faria sentido desistir de mantê-lo segundo os postulados da RCM e da OCM.



Diga-se, a propósito, que princípios como estes conseguiram, até hoje, escapar da obsolescência, continuando a constituir soluções válidas, aplicáveis a projectos bastante mais recentes. Veja-se o caso do JSF e dos motores F135-PW-400/-600 e F136-GE que o irão equipar.

Por tudo isto, decidimos apelidá-los de rígidos, embora, na verdade, talvez o adjectivo “permanentes” lhes assentasse melhor, pelo menos até que o último motor desta geração deixe de operar.

Por outro lado, as práticas instrumentais da metodologia em apreço, não param de evoluir. A experiência adquirida por meio do contacto quotidiano com o motor e a evolução tecnológica manipulam-nas a todo o momento.

O saber acumulado permite refinar os procedimentos, os meios de diagnóstico, as peças, as ferramentas e todos os materiais ao serviço da manutenção, ao mesmo tempo que as informações recém-adquiridas, como é o caso das que derivam da descoberta de novos perigos potenciais, vêm clamar, através de T.C.T.O., por cuidados redobrados - introdução de novas inspecções ou aumento da frequência das que já existem, substituições imediatas de componentes, entre outros.

A partir daqui, esperamos que resulte clara a ideia de que o esquema de manutenção a seguir descrito mais não é do que um reflexo da actual conjuntura - a sua aplicabilidade nos mínimos detalhes tem, sem qualquer réstia de dúvida, os dias contados.

Os aspectos da manutenção aos quais decidimos dar destaque, são inquestionavelmente importantes, mas não serão os únicos. Parecem-nos, todavia, ser os conceitos que, em termos directos, mais condicionam o desenvolvimento do modelo de simulação que concebemos.

### **1.3. Intervenções Programadas Definidas para o Motor F100 e Respectivos Subconjuntos**

A tipologia de intervenções regulares a que é sujeito não só o motor como também os seus módulos, sub-módulos e outros subconjuntos em pouco difere da que a outros equipamentos complexos se aplica.

Contudo, as intervenções por nós consideradas encaixam-se apenas em dois escalões dos três definidos:

- 2º Escalão: inspecções efectuadas através de processos não destrutivos simples mas minuciosos, dos quais se destaca a observação directa, podendo conduzir a meras limpezas ou à substituição pontual dos itens cujo estado de conservação não se coadune com os padrões exigíveis - este escalão aplica-se ao motor, aos módulos, ao sub-módulo e a alguns componentes e sub-componentes;
- 3º Escalão: intervenções que envolvem a realização de ensaios não destrutivos complexos, limpezas químicas, reparações profundas e substituições de componentes e sub-componentes, ou seja, operações através das quais o órgão intervencionado adquire a condição de quase novo - este escalão aplica-se aos módulos, ao sub-módulo e a alguns componentes e sub-componentes.

As inspecções de 1º Escalão, por seu turno, consistem em confirmações visuais, sumárias e muito genéricas das boas condições da aeronave antes da descolagem e após a aterragem e, no limite, podem exigir limpezas ou substituições pontuais, sem no entanto, ser necessária qualquer desmontagem. Não permitem, com raras excepções, aferir o estado dos seus sub-sistemas, entre os quais o motor. Estas verificações têm lugar na Linha da Frente, que é o local variável (hangares, pistas, *shelters*, etc.) onde o pessoal da manutenção expede ou recebe o avião.

Todas as intervenções de 2º e 3º Escalão são realizadas em *Backshops*, nacionais ou estrangeiras.

O plano de inspecções obrigatórias a seguir apresentado é o que vigora actualmente, podendo, como dissemos, sofrer alterações a qualquer momento.

Por outro lado, é também importante sublinhar que o conjunto de acções de manutenção programada aplicável pode variar de país para país, consoante as particularidades dos motores de cada frota.

### **1.3.1. Regras de Inspeção Periódica do Motor**

A inspeção que, por excelência, diz respeito ao completo denomina-se Inspeção de Fase.

Ela visa, sobretudo, determinar a condição dos órgãos (sub-sistemas e componentes) instalados no motor, em paralelo com os módulos - recordemos a Figura 12.

A Inspeção de Fase repete-se a cada 200 IFT e tem uma tolerância de 10%.

Esta inspecção não esgota, contudo, o rol de acções de manutenção preventiva a que o completo é sujeito.

Dever-se-ão considerar, ainda, duas outras:

- A inspecção à rede de injectores de combustível, realizada de 100 em 100 IFT;
- A inspecção ao sistema de combustível de pós-combustão (*Augmentor*), que muitas vezes determina a sua limpeza e cuja frequência foi há não muito tempo atrás duplicada, passando dos 1200 para os 600 IFT.

Ambas as inspecções têm, à semelhança da Inspecção de Fase, tolerâncias de 10%.

Temos aqui o primeiro exemplo de como a proporcionalidade dos intervalos entre inspecções contribui favoravelmente para a concertação de paragens, neste caso, programadas. A cada 600 IFT realizam-se três inspecções de uma só vez e a cada 200 IFT duas, admitindo, como é óbvio, a sua concertação inicial.

Além disso, a aplicação de uma tolerância de 10% a todas elas permite que a proporcionalidade preexistente entre os respectivos limites simples seja transposta para os limites absolutos que, correspondentemente, passariam a ser, da intervenção mais frequente para a menos frequente, 110, 220 e 660 IFT.

Os motores não são submetidos a *overhaul*. Como veremos, as regenerações são um “privilégio” dos módulos e sub-módulos que lhe dão corpo.

### **1.3.2. Regras de Inspeção Periódica dos Módulos e do Sub-Módulo**

De facto, o conceito de *overhaul* aplica-se apenas aos módulos e aos sub-módulos, já que o motor pouco mais é do que uma soma daquelas partes.

O potencial de que dispõem, definido, em sentido restrito, como o tempo de operação disponível até ao próximo *overhaul*, corresponde ao número de unidades de monitorização entre dois *depots* sucessivos.

Em sentido lato, o potencial é o tempo de operação disponível entre quaisquer intervenções do mesmo tipo e não só entre *overhauls*.

Seja qual for o contexto, o potencial é também designado por *hard time*. Cinjamo-nos, porém, à sua acepção restrita.

Para os itens regeneráveis, o potencial é, então, o tempo de operação disponível até à próxima revisão geral e, para os não regeneráveis, a duração absoluta do seu ciclo de vida, ou seja, o tempo de operação disponível até à sua substituição definitiva. O potencial mede-se, assim, através da unidade de desgaste que estiver associada ao *overhaul*.

Nesta óptica, as intervenções intercalares, a existirem, não passam de interrupções nos ciclos de vida renováveis de módulos e sub-módulos.

Veremos, já de seguida, e para cada um deles, de que forma os respectivos potenciais são ou não inter-cortados por inspecções intermédias.

### **Módulo da *Fan***

As *Fans* param, entre *depots* consecutivos, a cada 250 CCy, para inspecção do 3º disco.

Os *overhauls*, por seu turno, são efectuados em intervalos de 4000 CCy. As *Fans* integradas nos motores da 2ª Esquadra, traziam, dos EUA, potenciais de 3000 CCy, que têm estado a ser alargados, de modo progressivo, em 1000 CCy, através do cumprimento da T.C.T.O. 2J-F100(i)-506, no âmbito do processo de transformação de motores.

Nenhuma destas intervenções tem qualquer tolerância associada.

### **Módulo da *Fan Drive Turbine***

A operação da LPT é, nalguns casos, interrompida sempre que atingidos os 50 CCy para inspecção às turbinas cujas *blades* do 4º andar sejam de dois tipos específicos.

As regenerações das LPT executam-se:

- A cada 3500 CCy - para as que ainda não tiverem cumprido a T.C.T.O. 2J-F100(III)-577;
- A cada 4000 CCy - para as restantes.

As últimas LPT a chegar a Portugal tinham potenciais de 3000 CCy, presentemente em fase de expansão para os 4000.

Nem as inspecções intercalares, nem os *overhauls* são susceptíveis de *overfly* (outra forma de nos referirmos ao conceito de tolerância).

### **Módulo do *Core***

Os *Cores* param apenas para ir a *depot*, o que acontece a cada 4000 CCy, sem tolerância.

### **Módulo do *Augmentor***

Os *Augmentors* que ainda não tenham sido sujeitos à T.C.T.O. 2J-F100(IV)-581 devem ser inspeccionados entre os 600 CCy (limite simples) e os 660 CCy (limite absoluto), a fim de se verificar o estado da respectiva *Chamber Duct*.

Porém, fazendo uso da sua capacidade de arbítrio, o Gestor de Frota determinou que essa inspecção se faça a cada 250 CCy, sem folgas, para permitir o alinhamento com a inspecção que a *Fan* cumpre com essa mesma periodicidade. Este é um caso concreto em que o Gestor de Frota tomou uma decisão conducente à harmonização de paragens.

Os *Augmentors* são regenerados sempre que completem 2000 CCy - este limite está em vigor para os que não tenham sido submetidos às T.C.T.O. 2J-F100(IV)-564 ou 2J-F100(IV)-566.

Estão nesta situação todos os *Augmentors* da frota, já que a execução das tarefas por aquelas T.C.T.O. determinadas está, por enquanto, suspensa, por razões técnicas determinadas pelo fabricante. Tão logo seja possível pô-las em prática, o que não se prevê vir a acontecer num futuro próximo, o Tempo Limite do Potencial (TLP) daqueles módulos passará para os 3000 CCy.

Aos 2000 CCy actualmente estabelecidos para o *overhaul* do *Augmentor* acrescem 200 CCy de tolerância, correspondentes a 10% do limite simples.

### **Módulo da *Gearbox***

As *Gearboxes* são regeneradas sempre que atingidos os limites abaixo indicados, aos quais acresce uma tolerância de 10%:

- 3000 EOT, nos casos em que as determinações da T.C.T.O. 2J-F100(V)-571 já tiverem sido executadas;
- 1800 EOT, nos restantes casos.

### **Sub-Módulo *High Pressure Turbine***

As *Next Scheduled Depot Visits* (NSDV) associadas a todas as turbinas de alta pressão estão separados por 4000 CCy.

Também, neste caso, não são admitidas quaisquer folgas no cumprimento das intervenções.

Resta-nos fazer uma observação quanto aos *overhauls* do conjunto de alta pressão, ou seja, ao conjunto formado pelo *Core* e pela HPT.

Enquanto a turbina de baixa pressão pode ser isoladamente enviada para *depot*, significando que não é obrigatório ir instalada num *Core*, este não pode prescindir daquela para o mesmo efeito - o cumprimento das acções de manutenção de 3º Escalão previstas para o HPC depende do emparelhamento de ambos os órgãos.

Tenta-se que as respectivas regenerações estejam tão sincronizadas quanto possível, embora, na prática, sejam comuns *overhauls* individuais da HPT.

Em resumo, vigoram hoje as seguintes intervenções programadas:

**Quadro 7 - Inspeções Programadas em Vigor**

	Inspeções Cumulativas			Overhauls Alternativos		
	INSP 1	INSP 2	INSP 3	OH1	OH2	OH3
<b>MOTOR</b>	<u>100 IFT</u>	<u>200 IFT</u>	<u>600 IFT</u>			
<b>FAN</b>	250 CCy			3000 CCy	4000 CCy	
<b>FDT</b>	50 CCy	60 CCy	5 HS3	3000 CCy	3500 CCy	4000 CCy
<b>HPC</b>				4000 CCy		
<b>AUG</b>	250 CCy			<u>2000 CCy</u>		
<b>GBX</b>				<u>1800 EOT</u>	<u>3000 EOT</u>	
<b>HPT</b>	10 HS3			4000 CCy		

	Todos os itens
	Módulos à espera de Cumprir T.C.T.O.
	Módulos com <i>overhaul</i> (OH) de intervalo longo
	Módulos com <i>overhaul</i> de intervalo curto - à espera da transformação que reduz a periodicidade dos OH
<u>Sublinhado</u>	Inspeções que beneficiam de 10% de tolerância

### 1.3.3. Manutenção Não Programada

Acabámos de conhecer as práticas instrumentais da manutenção preventiva.

É chegado o momento de discutir, em breves linhas, o panorama actual em matéria de intervenções correctivas decorrentes de avarias.

Recordemos a curva em forma de banheira, atrás apresentada.

Neste domínio, gostaríamos de salientar que, no que toca especificamente o Motor F100-PW-220E, não será muito adequado admitir uma infância, visto traduzir-se numa tecnologia que “nasceu adulta”.

De facto, sendo o estádio -220E uma evolução de várias versões anteriores, encabeçadas pela versão -100, entendemos que não lhe é aplicável um período de adaptação, caracterizado por taxas de avaria decrescentes, aquando da sua estreia. No caso português, poder-se-á ter verificado tal período, não por constrangimentos tecnológicos, mas por força da adaptação de pilotos e especialistas da manutenção ao motor que, por terras lusas, começou a operar, como sabemos, em 1994.

Ainda assim, a confirmar-se a existência de tal período, julgamo-lo irrelevante, já que a componente humana ajusta-se, por norma, com rapidez a novos desafios, sobretudo quando a formação tem, como teve, qualidade.

Daqui decorre que, na nossa opinião, apenas as etapas da maturidade e da obsolescência se apliquem com toda a propriedade ao motor -220E.

Os dados que, neste contexto, recolhemos pecam por escassos, o que nos impediu de efectuar quaisquer inferências estatísticas no campo das avarias - no futuro, este tema deverá merecer uma atenção bastante mais profunda. Nos primeiros 10 anos de operação no nosso país os motores e, em particular, os módulos falharam, como se previa e desejava, poucas vezes. Tivemos de socorrer-nos da experiência empírica dos especialistas da manutenção para, em sede da simulação que nos propusemos realizar, fixarmos frequências adequadas para três dos quatro tipos de falhas que definimos:

- Falha de pequena gravidade (G1);
- Falha de média gravidade (G2);
- Falha grave (G3).

O nível G4 foi reservado à ocorrência de acidentes conducentes à perda do motor, ao qual associámos uma muito reduzida probabilidade de ocorrência.

Os primeiros três graus de gravidade estabelecidos para as avarias culminam, para efeitos de reparação, em níveis de desagregação de conjuntos crescentes, condizentes com a complexidade que lhes está associada, como de resto se observa na realidade.

Importará, ainda referir que, independentemente da gravidade associada às paragens inopinadas, podemos encaixar os eventos que as determinam em duas categorias:

- Falha por degradação: deriva da deterioração progressiva de um componente - este tipo de falha é, por norma, evitado, pelas acções de manutenção preventiva;
- Falha catastrófica: súbita, imprevisível e suficientemente poderosa para inutilizar a peça onde se verifica.

Voltemos ao ciclo de vida do motor. Embora não o tenhamos podido comprovar, em absoluto, por meio de cálculos, não será chocante admitir que os motores nacionais se encontram, neste momento, na sua fase de maturidade.

Mas fará sentido vislumbrar um estágio de obsolescência quando sabemos que as regenerações a que são submetidos os módulos os deixam num estado próximo do novo?

A resposta a esta questão reside na diferença que há em entre uma mera proximidade e uma absoluta coincidência com um estado considerado novo. De facto, um módulo regenerado, embora em excelentes condições de operação, não é o mesmo que um módulo a estrear. O desgaste induzido pela utilização culmina em sinais de degradação a que nem mesmo os *overhauls* conseguem pôr cobro, pelo que, a certa altura, esses indícios se começam a manifestar, cada vez com mais frequência. Os motores F100 entrarão, então, a partir de certo ponto numa fase de velhice, em que a taxa de avarias é crescente no tempo.

A inexistência de informação sobre essa etapa do ciclo de vida dos módulos, em especial no que concerne as novas taxas de avaria aplicáveis, num futuro mais ou menos próximo, a cada tipo de anomalia e o ritmo da sua progressão cronológica, levou-nos, como teremos oportunidade de referir, a assumir, a título de simplificação teórica, a constância das probabilidades de ocorrência de falhas.

#### **1.4. Gestão da Manutenção dos Motores F100 em Portugal**

Os pontos que, nesta parte, antecedem o que agora se inicia aplicam-se, com as devidas adaptações, a todas as frotas internacionais de Motores F100-PW-220E. A partir daqui dedicamo-nos às especificidades da gestão da manutenção em Portugal.

##### **1.4.1. Práticas Actuais**

A Base Aérea nº 5 adquiriu, logo após a chegada dos primeiros motores da Esquadra 201, em 1994, capacidade para regenerar o *Augmentor*.



Em tempos mais recentes, e na sequência da recepção dos motores da 2ª Esquadra, os técnicos da manutenção passaram por um período de formação que os habilitou a realizar o *overhaul* à *Fan*, à *FDT* e à *Gearbox*. Contudo, estas novas aptidões foram, até agora, aplicadas, em exclusivo, na sequência do processo de transformação dos motores destinados à Esquadra de Voo em vias de ser criada.

Como já referimos, enquanto os primeiros motores foram adquiridos já transformados em -220E, os que irão equipar a 2ª Esquadra foram vendidos pelos Estados Unidos na versão -200C. A BA 5 foi incumbida de conduzir a conversão desses motores, operação que, visando, em última análise, aumentar as suas potencialidades, conduz quase invariavelmente à regeneração dos módulos. Nesta sequência, a equipa de transformação, procedeu, em regime de excepção, ao *overhaul* das *Fans*, das *FDT*, das *Gearboxes* e dos *Augmentors* destinados à 2ª Esquadra. Todavia, manter-se-á, até ordens em contrário, a filosofia de manutenção actual, significando que só o *Augmentor* continuará a ser regenerado na BA 5, não obstante haver planos para, de futuro, regenerar “em casa” também a *Gearbox*. Os restantes *depots* far-se-ão, como até aqui, fora do país<sup>10</sup>. Passar a desenvolver todas as acções de manutenção de 3º Escalão na BA 5 é, pelo menos para já, um cenário imponderável. Exigiria esforços financeiros que, na actual conjuntura, não se afiguram sustentáveis.

Se cada regeneração doméstica, tomada *per si*, não tem custos que não pudessem ser absorvidos pelas dotações orçamentais destinadas à sustentação da frota, o mesmo já não se pode dizer acerca dos inevitáveis e avultados investimentos associados à aquisição de sobressalentes. A esmagadora maioria dos fabricantes de componentes, não raras vezes exclusivos, só aceita encomendas bastante volumosas, que permitam diluir, de forma vantajosa, os elevados custos fixos ligados à sua produção. Encomendar em larga escala, neste contexto, não faria muito sentido, se se considerar que o número de F-16 *Fighting Falcons* e, por inerência, o de motores operados pela Força Aérea Portuguesa é reduzido. Outro problema é o da obrigatoriedade de adquirir ferramentas dispendiosas e a capacidade de realizar ensaios não destrutivos. Uma vez mais, se torna claro que, com uma frota reduzida, a repartição desses custos pelas aeronaves se torna inoportável.

Além disso, as T.C.T.O. exigem alterações regulares, que, por vezes, sem aviso, tornam obsoletos determinados tipos de peças, o que poderia implicar uma completa inutilização de *stocks*, da qual resultariam indesejáveis e irrecuperáveis perdas financeiras, impossíveis de articular com as limitações orçamentais com que se debatem actualmente as Forças Armadas.

---

<sup>10</sup> Os módulos regenerados no estrangeiro são actualmente enviados à firma *Techspace*, sedeada na Bélgica.

### 1.4.2. Custos da Manutenção

No nosso trabalho considerar-se-ão apenas os encargos directamente decorrentes das regenerações sub-contratadas de módulos e sub-módulos - eles têm uma relevante expressão no cômputo global dos gastos com a manutenção do Motor F100, em particular, e da aeronave, em geral, e serão determinantes na avaliação das vias de descontinuação da frota. Esta perspectiva sustenta-se no facto dos encargos derivados do *overhaul* dos módulos representarem cerca de 70% de todos os gastos com a sustentação do F-16 *Fighting Falcon*.

O que aqui está em causa é decidir se vale ou não a pena efectuar a regeneração de módulos e sub-módulos para lá de 2020 e, assim sendo, interessam-nos, sobretudo, os custos daí resultantes. Uma vez que os restantes encargos não afectam, de forma significativa, as conclusões que pretendemos tirar, visto não terem impacto na decisão de sanear a frota, desde cedo se tornou óbvio que inclui-los seria um investimento pouco compensatório. A título de simplificação, esses custos serão, portanto, excluídos do modelo, embora possam e devam ser englobados no futuro.

Teremos, assim, em conta dois tipos de despesas de regeneração, que se distinguem entre si pela sua dimensão e pela profundidade das acções de manutenção a que dizem respeito. De facto, de duas em duas regenerações substitui-se um número de componentes e sub-componentes mais elevado do que o que é trocado nos *overhauls* intercalares. Isto acontece porque aos *part numbers* que integram alguns módulos e a HPT se aplicam dois ciclos de vida, com durações interrelacionadas da forma que se indica:

- Duração do Ciclo de Vida 1 =  $t$
- Duração do Ciclo de Vida 2 =  $2t$

Grosso modo, admite-se que os *overhauls* que coincidem com o ciclo de vida 1 - aos quais chamaremos “pequenos *overhauls*” - representam um encargo que corresponde a cerca de 60% do que decorre dos *overhauls* que coincidem com o ciclo de vida 2 - os “grandes *overhauls*”.

Esta lógica, cujos fundamentos serão explicados na quarta parte do nosso trabalho, só se aplica, porém, à *Fan*, à FDT, ao *Core* e à HPT, já que no caso do *Augmentor* e da *Gearbox* todas as regenerações são praticamente iguais.

Se  $\theta$  representar o custo do *overhaul* menos dispendioso, podemos estabelecer a seguinte relação:

### Quadro 8 - Custos de *Overhaul*

Módulos e Sub-Módulo	Pequeno OH	Peso no Total	Grande OH	Peso no Total
<i>Augmentor</i>	0	2,54%	0	1,57%
<i>Gearbox</i>	1,67 0	4,25%	1,67 0	2,62%
<i>Fan</i>	4,66 0	11,85%	7,77 0	12,18%
FDT	5,00 0	12,71%	8,33 0	13,06%
HPT	12,00 0	30,51%	20,00 0	31,36%
HPC + HPT	15,00 0	38,14%	25,00 0	39,20%

Fonte: DMA

Os preços subjacentes ao quadro acima são os presentemente pagos pela Força Aérea Portuguesa à *Techspace*, pelo que podem ser considerados uma especificidade nacional. A outros países e outras firmas aplicar-se-ão tabelas diferentes.

Como se conclui, o conjunto de alta pressão - HPC e HPT - lidera destacado o *ranking* dos custos de regeneração, seguido da FDT e da *Fan*. Uma vez que os módulos destes tipos são, grosso modo, sujeitos a *depot* de 4000 em 4000 CCy, temos os mais vultuosos custos de manutenção de 8000 em 8000 CCy.

Por esta razão é comum designar as grandes e as pequenas regenerações, respectivamente, por “*overhaul* dos 8000 CCy” e “*overhaul* dos 4000 CCy”.

Neste âmbito, há ainda uma ressalva importante a fazer em relação ao *overhaul* do *Augmentor*. Como dissemos, essa intervenção passou, de algum tempo a esta parte, a efectuar-se nas instalações da BA 5, sendo a única que a Força Aérea Portuguesa não tem necessidade de subcontratar. Contudo, uma vez que não se conhece o custo da regeneração doméstica do *Augmentor*, valorizaremos os seus *depots* aos preços cobrados em regime de subcontratação.

Já de seguida, apresentar-se-á a ferramenta de simulação desenvolvida na sequência deste trabalho. Os temas abordados na parte que agora se encerra, sem prejuízo de outros que oportunamente se entenda debater, são indispensáveis para compreensão dos mecanismos subjacentes àquela aplicação, conquanto condicionam, de forma directa, as actividades da manutenção.

## Parte III - Desenvolvimento de um Modelo de Simulação Destinado ao Estudo da Descontinuação da Frota Nacional de Motores F100

### 1. Objectivos e Metodologia

Como se sabe, propusemo-nos, através desta dissertação, conceber uma ferramenta de simulação que permitisse o estudo de diferentes formas de pôr termo à vida de serviço dos Motores F100.

Começámos por tentar entender a envolvente do problema. As Parte I e II são reflexo do conhecimento adquirido. Contudo, a aplicação que idealizámos exigiu-nos mais. Precisávamos de dados concretos susceptíveis de evolução induzida por intermédio dos mecanismos inerentes à simulação, cujo funcionamento é inspirado na realidade observada. Esses dados e outras informações relevantes para o desenvolvimento da ferramenta provieram:

- De consultas, numerosas e detalhadas, a especialistas e técnicos da DMA, da Esquadra de Material da BA 5 e da Esquadra 201 directamente envolvidos na sustentação dos motores;
- Da monografia “Caracterização da Utilização Operacional do Motor F100 da 1ª Esquadra de F-16” [23];
- Da recolha de dados do EMMS;
- Da consulta de registos históricos de módulos;
- Da leitura de publicações técnicas do Motor F100.

Incapazes de encontrar um modelo conceptual e/ou soluções informáticas prontas capazes de enquadrar satisfatoriamente os *inputs*, por forma a transformá-los nos *outputs* pretendidos, optámos pela programação, assente no *Access* e no *Visual Basic for Applications* (VBA).

Vejamos, então, em que é que consiste o modelo de simulação.

## 2. Modelo de Simulação

Como já se referiu, o objectivo último da presente dissertação é o de propor formas vantajosas, não só do ponto de vista operacional, como também do económico-financeiro, de descontinuar progressivamente, no limite até meados da década de 30, a frota dos Motores F100-PW-220E que equipam hoje os F-16 *Fighting Falcons* da Esquadra 201 da Força Aérea Portuguesa e que, de futuro, irão equipar também as aeronaves da 2ª Esquadra.

Para concretizar tal objectivo tornava-se necessário construir um modelo que permitisse simular o comportamento do sistema de manutenção preventiva e correctiva do Motor F100 em Portugal e a actividade operacional que o justifica. Pretendia-se, portanto, desenvolver um instrumento mimético, capaz de recriar “laboratorialmente” a interacção que entre homens (pilotos e membros das equipas de manutenção) e máquinas (os binómios aeronave-motor) se estabelece.

A ferramenta foi, então, projectada para reconstituir, a montante, os voos através dos quais se cumprem as missões a cargo do F-16 e, a jusante, as acções de manutenção que incidem sobre os motores, cuja prontidão afecta, de forma determinante, o número de aeronaves disponíveis para descolar.

Começámos por procurar, sem sucesso, modelos conceptuais aplicáveis ao nosso problema.

Numa segunda etapa, tentámos encontrar uma aplicação informática compatível com o mecanismo de simulação idealizado. A pesquisa levada a cabo confirmou a inexistência no mercado de soluções “pré-fabricadas” capazes de converter os numerosos *inputs* envolvidos nos *outputs* desejados - desde logo a alternativa da programação de raiz se impôs como uma opção inelutável.

Aceite que foi a inevitabilidade de se partir do zero, a escolha recaiu sobre uma combinação entre o *Access* e o *VBA*.

A parceria entre as aplicações eleitas exigiu:

- A criação e o preenchimento de tabelas em *Access*;
- A estruturação das rotinas do modelo em linguagem corrente e sua transposição para o *VBA*.

## 2.1. Breve Panorâmica do Funcionamento do Modelo

Ainda antes de explicarmos, com detalhe, de que forma moldámos o *Access* e o *VBA* aos nossos objectivos, apraz dar uma perspectiva sumária da dinâmica do sistema desenvolvido.

Os próximos parágrafos são, portanto, dedicados a uma primeira aproximação aos mecanismos do modelo.

Tudo gira em torno das missões voadas - traduzem-se numa espécie de chave da ignição e despoletam os acontecimentos que impelem a informação contida nas tabelas *Access* a evoluir.

Tão logo tenhamos ajustado os parâmetros associados às missões virtualmente executadas pelos pilotos dos F-16 *Fighting Falcons*, o *VBA* começa por planear, de acordo com as premissas por nós definidas, todos os voos do período simulado.

No final de cada missão não abortada por falta de motores disponíveis, cuja existência é testada, *a priori*, imputam-se, aos completos sorteados - o *VBA* selecciona pseudo-aleatoriamente os números de série de motor que ficam associados a cada voo - e aos correspondentes subconjuntos, as unidades de monitorização consumidas e actualizam-se os diversos históricos subjacentes.

Em seguida, motor a motor, iremos procurar anomalias induzidas pelo voo - caso existam, determinam a realização de reparações.

Apura-se, depois, para os motores e respectivos subconjuntos, se foram atingidos limites para a realização das acções programadas de manutenção vigentes, o que, a verificar-se, implica a sua concretização.

Tendo havido pelo menos uma paragem, programada ou inopinada, cujo nível de desagregação seja igual ou superior a 1, tentam alinhar-se com ela intervenções programadas iminentes e compatíveis.

Relembremos que as inspecções efectuadas sem que haja necessidade de remover o motor da aeronave - inspecções de nível 0 - não justificam o alinhamento.

Como veremos também, apenas se consideram, a título de simplificação, as paragens associadas a módulos para efeitos de concertação de intervenções.

Os tempos de imobilização dos itens sujeitos a acções de manutenção planeadas ou supervenientes são pseudo-aleatoriamente gerados, de acordo com as normas por nós estabelecidas, nos termos adiante explicados.

Até aqui, dedicámo-nos às paragens e aos desmantelamentos resultantes de eventuais avarias e/ou intervenções programadas. As etapas seguintes, por seu turno, encarregam-se da reposição da prontidão dos órgãos entretanto imobilizados.

O foco muda da missão, para o calendário, isto é, doravante as mais importantes alterações ao estado do sistema são dinamizadas pela passagem do tempo.

Nesta sequência, investiga-se o vencimento de prazos de imobilização na data da missão que está a ser processada. Se a investigação se revelar frutífera, dão-se como prontos/operacionais os itens temporariamente afastados para manutenção.

Para terminar, tenta formar-se, primeiro, o máximo número possível de conjuntos de alta pressão (instalação de sub-módulos HPT em módulos HPC) e, depois, de completos (instalação de módulos em motores), através da manipulação:

- dos *sparcs* disponíveis;
- dos motores que “perderam” um ou mais módulos, removidos para intervenção programada ou não programada.

Esgotadas todas as hipóteses de formar novos motores, e por aqui entenda-se novas combinações de módulos, passa-se ao processamento da missão seguinte, da maneira atrás descrita - fecha-se, assim, um ciclo intermédio de simulação.

Um ciclo intermédio de simulação completa-se sempre que uma missão é tratada do início ao fim.

A simulação termina quando, depois de processadas todas as missões, se calculam os custos decorrentes das revisões gerais realizadas.

## 2.2. Vertente Access

### 2.2.1. Estrutura de Tabelas

A estrutura de tabelas subjacente ao nosso modelo de simulação é inicialmente ilustrada por intermédio do Esquema **Entidade-Associação (EA)**. O EA é um diagrama que visa organizar a informação que irá ser objecto de tratamento por parte de uma base de dados. No curso de Sistemas de Informação para a Gestão, ministrado no Instituto Superior de Economia e Gestão, pelo Professor Doutor António Palma dos Reis, em 1998, foram definidos, do modo que se apresenta, os conceitos fundamentais a considerar neste domínio:

**Entidade** é qualquer objecto ou conceito com interesse para a organização e acerca do qual se pretende registar informação.

Às propriedades que caracterizam as entidades chama-se **atributos**.

Os **atributos-chave** são os que identificam inequivocamente cada entrada numa tabela.

**Associação** é o elo de ligação que se estabelece entre uma ou mais entidades.

O Esquema EA ajuda-nos, portanto, a responder a duas questões:

- O quê? Que tipo de informação se pretende armazenar;
- Como? Como inter-relacionar essa informação, de modo a obter uma estrutura de dados coerente.

O Esquema Entidade-Associação subjacente à nossa rede de tabelas Access é apresentado no Anexo 1 e corresponde a uma versão simplificada da estrutura do modelo de simulação - escolheu-se desprezar os atributos, visto que a sua inclusão no diagrama torná-lo-ia confuso.

As relações entre entidades devem ler-se no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio.

A entidade **Missões** é destacada a vermelho, uma vez que é responsável por desencadear todo o processo de simulação - sugerimos que a leitura se inicie a partir dela.

Da análise do esquema proposto resultam as seguintes afirmações:



- Missões - imputam desgaste [a] - Módulos [e] Sub-Módulos [através da entidade Motores (linha ".....")];
- Módulos [e] Sub-Módulos - compõem - Motores;
- Motores - executam - Missões;
- Missões - provocam - Avarias;
- Avarias - afectam - Módulos [e] Sub-Módulos;
- Módulos [e] Sub-Módulos - efectuam - Reparações;
- Módulos [e] Sub-Módulos - efectuam - Regenerações Programadas;
- Regenerações Programadas - acarretam - Custos de OH;
- Motores - efectuam - *Pequenas e Médias Inspeções Programadas*;
- Módulos [e] Sub-Módulos - efectuam - *Pequenas e Médias Inspeções Programadas*.

O diagrama permite-nos identificar as principais áreas-chave tidas em conta no desenvolvimento do modelo de simulação e, em particular, na construção das tabelas:

- **Missões** - informação decorrente dos voos;
- **Regenerações Programadas** (*Grandes Inspeções*) - regras, tempos e custos inerentes aos *overhauls*, distribuídos por três agrupamentos de tabelas:
  - Módulos,
  - Sub-Módulos,
  - Custos de OH: encargos directamente decorrentes das regenerações de módulos e sub-módulos;
- **Pequenas e Médias Inspeções Programadas** - regras e tempos inerentes às acções de manutenção programada não destinadas à regeneração, aplicando-se a:
  - Motor,
  - Módulos,
  - Sub-Módulos;
- **Avarias e Reparações** - informações concernentes às anomalias verificadas nos módulos e às actividades de manutenção não programada daí decorrentes.

É importante esclarecer que as avarias surgem invariavelmente associadas aos módulos onde se verificam e não ao completo, cuja identidade depende, em absoluto, daqueles subconjuntos. Negligenciando as raras anomalias imputáveis aos sub-sistemas instalados no motor, todas as avarias são inseparáveis dos módulos nos quais se manifestam, pelo que tomaremos esta simplificação por boa, isto é, assumiremos que apenas os módulos são susceptíveis de danos reparáveis.

As avarias verificadas na HPT serão consideradas avarias do *Core* que a contém.

Note-se, ainda, que decidimos incluir na simulação a possibilidade remota de se verificar a perda total de um motor, motivada, por exemplo, por um acidente. Neste caso, o evento surge ligado ao motor e repercute-se nos respectivos módulos e sub-módulo, que ficam definitivamente arredados da simulação.

As avarias são determinadas pelo VBA por meio de um procedimento pseudo-aleatório.

A estrutura de tabelas implementada inclui três áreas-chave adicionais, não identificáveis através do esquema Entidade-Associação:

- **Atributos Directos** - principais características associáveis aos *pivots* da simulação abaixo listados, como sejam a tipologia, o elenco de números de série, o desgaste inicial e acumulado, a configuração actual e histórica ou o estado corrente de prontidão e instalação:

- Motores,
- Módulos,
- Sub-Módulos;

- **Históricos de Paragem** - registo cronológico de todas as paragens impostas a:

- Motores,
- Módulos,
- Sub-Módulos;

- **Níveis de Desagregação de Conjuntos** - níveis de desagregação de conjuntos associáveis a:

- Inspeções,
- Reparações.

No Anexo 2 descrevemos a função e o conteúdo das principais tabelas criadas com base no *Access*, encaixando-as em cada um dos compartimentos enunciados.

Vejam os como:

**Quadro 9 - Elenco de Tabelas Access**

<b>Missões</b>	
<b>1.</b>	<b>T_Missoes_Parametros_Iniciais</b>
<b>2.</b>	<b>T_Missoes_Consumos_Condicionamentos</b>
<b>3.</b>	<b>T_Missoes_Voadas</b>
<b>4.</b>	<b>T_Missoes_Motores</b>
<b>Atributos Directos - Motores</b>	
<b>5.</b>	<b>T_Motores_Conf_Situacao</b>
<b>6.</b>	<b>T_Motores_Hist_Conf</b>
<b>Atributos Directos - Módulos</b>	
<b>7.</b>	<b>T_Modulos</b>
<b>8.</b>	<b>T_Modulos_Situacao</b>
<b>9.</b>	<b>T_Modulos_Hist</b>
<b>10.</b>	<b>T_Modulos_HPC_Conf_Actual</b>
<b>11.</b>	<b>T_Modulos_HPC_Hist_Conf</b>
<b>Atributos Directos - Sub-Módulos</b>	
	<b>12. T_Sub_Modulos</b>
	<b>13. T_Sub_Modulos_Situacao</b>
	<b>14. T_Sub_Modulos_Hist</b>
<b>Níveis de Desagregação de Conjuntos</b>	
<b>15.</b>	<b>T_Tipos_DSB_RSB</b>
<b>Pequenas e Médias Inspecções Programadas - Motores</b>	
<b>15.</b>	<b>T_Motores_Insp_Regras_Contador</b>
	<b>16A. T_Motores_Insp_Regras_Contador_o a 16E. T_Motores_Insp_Regras_Contador_5</b>
<b>17.</b>	<b>T_Motores_Insp_Tempos</b>
	<b>17A. T_Motores_Insp_Tempos_o a 17E. T_Motores_Insp_Tempos_5</b>
<b>Pequenas, Médias e Grandes Inspecções Programadas - Módulos</b>	
<b>18.</b>	<b>T_Modulos_Insp_Regras_Contador</b>
	<b>18A. T_Modulos_Insp_Regras_Contador_o a 18E. T_Modulos_Insp_Regras_Contador_5</b>
	<b>19. T_Modulos_Insp_Tempos</b>
	<b>19A. T_Modulos_Insp_Tempos_o a 19E. T_Modulos_Insp_Tempos_5</b>
<b>20.</b>	<b>T_Modulos_Custos_OH</b>
	<b>20A. T_Modulos_Custos_OH_o a 20E. T_Modulos_Custos_OH_5</b>
<b>21.</b>	<b>T_Modulos_Custos_OH_Hist</b>
<b>Pequenas, Médias e Grandes Inspecções Programadas - Sub-Módulos</b>	
	<b>22. T_Sub_Modulos_Insp_Regras_Contador</b>
	<b>22A. T_Sub_Modulos_Insp_Regras_Contador_o a 22E. T_Sub_Modulos_Insp_Regras_Contador_5</b>
	<b>23. T_Sub_Modulos_Insp_Tempos</b>
	<b>23A. T_Sub_Modulos_Insp_Tempos_o a 23E. T_Sub_Modulos_Insp_Tempos_5</b>
	<b>24. T_Sub_Modulos_Custos_OH</b>
	<b>24A. T_Sub_Modulos_Custos_OH_o a 24E. T_Sub_Modulos_Custos_OH_5</b>
	<b>25. T_Modulos_Custos_OH_Hist</b>
<b>Avarias e Reparações</b>	
<b>26.</b>	<b>T_Modulos_Avarias_Nivel</b>
<b>27.</b>	<b>T_Modulos_Avarias_Prob_Tempos</b>
<b>Históricos de Paragem</b>	
<b>28.</b>	<b>T_Motores_Hist_Stops</b>
	<b>29. T_Modulos_Hist_Stops</b>
<b>30.</b>	<b>T_Modulos_HPC_Standby</b>
	<b>31. T_Sub_Modulos_Hist_Stops</b>

No Anexo 2 constam apenas as tabelas cujo conjunto número-designação foi encostado ao lado esquerdo e assinalado a *bold* no quadro anterior - as restantes, por serem estruturalmente idênticas a outras já apresentadas, dispensam descrição. Todas as tabelas cujo número surge acompanhado de uma letra destinam-se, como veremos, a permitir o ajustamento calendarizado do conteúdo das tabelas com o mesmo número, mas sem essa letra.

Por fim, as diferentes cores escolhidas separam as tabelas de *input* e mistas (a azul), das tabelas de *output* (a amarelo) e das tabelas conceptuais (a verde).

As tabelas de *input* e mistas são preenchidas com os parâmetros iniciais e intercalares da simulação, tal como se explica na Parte IV deste trabalho. Entre elas há apenas uma diferença: o conteúdo das tabelas de *input* não é alterado durante a simulação, ao passo que o das tabelas mistas é. Estas últimas são, portanto, assim designadas visto prestarem-se tanto ao *input* como ao *output* de dados.

As tabelas de *output*, por seu turno, são inteiramente preenchidas pelo VBA.

As tabelas conceptuais visam tão só armazenar informação relevante, que, no entanto, não é utilizada nem transformada pela ferramenta.

### 2.2.2. Dados

Os dados empíricos e os dados oriundos do EMMS usados para preencher as tabelas foram-nos facultados pela 1<sup>a</sup> Repartição da Direcção de Mecânica Aeronáutica e pela Esquadra de Material da Base Aérea nº 5. Foi também através destes órgãos que tivemos acesso aos registos históricos e às publicações técnicas relevantes. Usámos, além destas fontes, os resultados de um estudo realizado pela Capitã Joana Rocha, Engenheira Aeronáutica, em 2002. Através dele ficámos a conhecer o perfil de missões entre 1996 e 2001, isto é, o peso relativo de cada missão no total dos voos realizados e os consumos médios unitários de CCy e HS3, por hora de voo e por tipo de missão.

Carece, entretanto, esclarecer que os parâmetros que subjazem à geração de valores pseudo-aleatórios com base na distribuição uniforme não resultaram de análises estatísticas, mas antes da experiência dos nossos contactos especializados. Essa geração aplica-se às avarias, aos tempos de inspecção e reparação e à duração dos voos.

No que toca as avarias, cedo compreendemos que as mesmas não tinham relevância estatística. De facto, as anomalias dignas desse nome são eventos raros.

É, aliás, esse o objectivo das filosofias de manutenção por meio das quais se sustenta a frota de Motores F100. Recordemos que o F-16 é uma aeronave monomotor - são inadmissíveis falhas graves ao nível da propulsão, cuja ocorrência possa resultar na perda do avião e, no limite, do piloto.

Assim sendo, as frequências associadas a cada um dos três graus de gravidade de avaria definidos, G1 a G3, bem como os tempos de reparação que a elas se prendem, foram empiricamente propostos, de acordo com a sensibilidade dos especialistas. A frequência de ocorrência de acidentes, por seu turno, foi sugerida por nós, segundo um critério de elevadíssima improbabilidade.

No que concerne os tempos médios de inspeção e reparação fomos confrontados com três factos de peso:

- O tratamento dos dados referentes aos tempos médios envolvidos nas inspeções obrigatórias realizadas na BA 5 revelou-se, pela forma como a informação está sistematizada, uma tarefa com um rácio custo-benefício desvantajoso, sobretudo num caso em que os mesmos são do conhecimento geral, tendo-se em conta o elevado grau de uniformização alcançado, neste domínio, pelas equipas que desenvolvem essas acções de manutenção;
- Os *overhauls*, até à data, subcontratados pela Força Aérea são relativamente recentes e escassos, o que redundava na inexistência transitória de informação histórica relevante, em particular no que toca os tempos envolvidos na sua concretização;
- O reduzido número de avarias verificado implica que os respectivos tempos de reparação sejam também inexpressivos do ponto de vista estatístico.

As razões atrás apresentadas aconselharam, também neste caso, o recurso aos técnicos.

No que toca, por fim, a duração dos voos, há a referir que não tivemos acesso aos respectivos registos, pelo que, uma vez mais, ficámos dependentes da experiência do Gestor de Frota para afinar a duração média das missões.

De futuro, qualquer um destes aspectos - avarias, tempos de inspeção e reparação e duração dos voos - deverá ser alvo análises mais aprofundadas.

### **2.3. Vertente *Visual Basic for Applications***

A programação é a ferramenta através da qual se irá manipular a informação armazenada na base de dados.

Antes, porém, de conhecermos as rotinas, vejamos as regras e as simplificações que as condicionam.

### 2.3.1. Regras e Simplificações Consideradas na Concepção do Modelo

A programação das rotinas obedeceu a uma série de regras e de simplificações teóricas, que nos próximos parágrafos nos encarregamos de explicar.

Algumas delas foram já mencionadas, *en passant*, ao longo do texto, mas entendemos por bem lembrá-las, em jeito de resumo. Pretendemos, com a sua apresentação prévia, tornar mais fluida a descrição das rotinas.

#### Imputação do Desgaste ao Motor, Módulos e Sub-Modulos

Enquanto no caso dos módulos e sub-módulos os valores acumulados de desgaste reflectem as unidades de monitorização consumidas desde que entraram em funcionamento, independentemente das configurações que tiverem integrado, os valores acumulados de desgaste associados aos motores dizem respeito aos IFT, EOT, CCy e HS3 imputáveis a cada configuração.

Recordemos que cada completo pouco mais é do que a agregação de cinco grandes órgãos - os módulos. Assim sendo, e tendo em conta que a identidade dos motores se altera a cada nova configuração, não faz sentido apurar o desgaste globalmente acumulado por número de série, que não passa de um código alfanumérico.

O que queremos saber, afinal, é como se comportam as diferentes combinações, pelo que é suficiente monitorizar as unidades de desgaste consumidas por cada uma delas durante o período simulado.

Embora o caso do *Core* seja paralelo ao do motor, porquanto também a sua configuração depende da HPT que o integra, a lógica de contabilização do desgaste é díspar. De facto, se, por um lado, se registam os consumos de unidades de monitorização imputáveis a cada parilha HPC-HPT, por outro, os *Cores* não deixam de acumular desgaste a título individual, independentemente das turbinas que o integram e dos motores em que tenha estado instalado. O *Core*, ao contrário do motor, que sem os módulos se reduz a pouco mais do que um número de série, tem existência física para além da HPT, ou seja, ainda que sem ela, é um corpo identificável de forma inequívoca.

Temos, então, que o desgaste dos módulos, que se traduzem em entidades sempre tangíveis, deve ser monitorizado em termos globais, ao passo que o do motor é indissociável dos órgãos que em cada momento o compõem. Interessa-nos, portanto, e apenas no que aos módulos diz respeito, contabilizar, no final de cada período simulado, o desgaste que lhes foi imputado desde que começaram a operar.

## **Alinhamento de Intervenções**

A simulação não instrumenta as concomitâncias naturais e não determina concomitâncias forçadas, dado não controlar a proporcionalidade dos intervalos entre inspecções, nem a sincronia do início das inerentes contagens de unidades de monitorização - limita-se a processar as intervenções tal como foram “fotografadas” no momento da recolha de dados.

Vejamos, agora, como são tratadas as tolerâncias. Embora, na prática, as folgas sejam geridas por forma a permitir o alinhamento das diversas paragens por inspecção ou avaria, podendo ou não ser utilizadas, total ou parcialmente, ir-se-á partir do princípio simplificador que as tolerâncias em vigor são esgotadas, prevalecendo o limite absoluto sobre o limite simples. De facto, enquanto no caso das inspecções ao motor a gestão das folgas é linear, uma vez que se trata da aplicação de uma mesma percentagem de tolerância (10%) a limites proporcionais, noutros deparamo-nos com elevados graus de subjectividade, inerentes ao julgamento do Gestor de Frota e às circunstâncias que envolvem as suas decisões. Essa subjectividade é, no mínimo, difícil de recriar num simulacro. A simplificação aqui em causa tem, portanto, como consequências no modelo:

- O aumento ligeiro dos intervalos entre paragens, motivado pela utilização permanente dos limites máximos absolutos;
- A inexistência de alinhamentos por retardamento de intervenções, conseguidos à custa do uso das tolerâncias, que, como vimos, possibilitam muitas vezes que inspecções com folga aguardem a realização de outras, prestes a atingir o seu limite simples e/ou absoluto.

Apenas o expediente da antecipação de intervenções é, na simulação, usado com total respeito do que na realidade se passa.

Ficámos, atrás, a saber que podem ser alinhadas intervenções controladas por diferentes unidades de monitorização, mas não de que forma.

As margens de sacrifício, que são o tempo de operação em voo que se está disposto a sacrificar em prol do alinhamento de intervenções, serão por nós definidas em IFT, a principal unidade de contagem do modelo, embora as T.O. o façam em CCy e EOT.

A decisão de antecipação depende, em cada momento, da existência inspecções programadas iminentes, ou seja, a menos de dado IFT de distância. Considerando que só as inspecções ao motor são controladas em IFT, teremos de converter esta unidade de monitorização nas restantes - só assim poderemos testar se há paragens iminentes, monitorizadas em EOT, CCy ou HS3, na vizinhança da paragem de referência.

A conversão far-se-á por meio das seguintes fórmulas:

- Conversão de IFT em EOT:

$$EOT = 1,6 \text{ IFT}$$

- Conversão de IFT em CCy:

$$CCy = \left[ \sum_{i=1}^{10} (\text{Peso da Missão } i \times \text{Consumo Médio de CCy por IFT da Missão } i) \right] \times \text{IFT}$$

- Conversão de IFT em HS3:

$$HS3 = \left[ \sum_{i=1}^{10} (\text{Peso da Missão } i \times \text{Consumo Médio de HS3 por IFT da Missão } i) \right] \times \text{IFT}$$

Recordemos que considerámos 10 tipos de missões.

Excluindo-se a passagem de IFT a EOT, que é imediata, a conversão de IFT em CCy e em HS3 far-se-á, então, através da média ponderada, pelo peso de cada tipo de missão, dos consumos unitários (consumos por hora de voo) da respectiva unidade de monitorização.

Esse valor traduz o consumo médio global de CCy e HS3, tendo-se em conta o perfil de missões definido.

No âmbito dos alinhamentos, há, ainda, uma limitação importante a referir. Por motivos de ordem técnica, ligados à forma como as rotinas foram redigidas em VBA, as paragens do motor e da HPT não servem de referência para a antecipação de outras intervenções, nem são alinháveis com paragens verificadas ao nível dos módulos. Isto significa que só há alinhamentos entre intervenções relativas à *Fan*, à FDT, ao *Core*, ao *Augmentor* e à *Gearbox*.

Embora estejamos convencidos de que esta situação não reduz significativamente o rigor do modelo face à realidade que tenta retratar, entendemos conveniente estudar, a *posteriori*, uma forma de envolver o motor e a HPT no mecanismo de alinhamentos.



## Repercussão das Paragens no Motor, Módulos e Sub-Módulo

Outro aspecto digno de nota é o facto de todas as paragens começarem por ser registadas ao nível do motor, ou seja, todas as interrupções na operação, independentemente do nível de desagregação de conjuntos envolvido, são associadas, em primeiro lugar, ao histórico de paragens do completo.

Apenas em caso de uma intervenção de nível 2, registaremos a ocorrência no histórico de paragens correspondente ao órgão separado do completo, ou seja, no histórico de paragens de módulos e/ou de sub-módulos.

Como se adivinha, a situação mais exigente do ponto de vista dos registos históricos de imobilização é a que determina a extracção do *Core* para subsequente remoção da HPT - neste caso movimentam-se os históricos de paragem dos motores, dos módulos e dos sub-módulos. O procedimento justifica-se porque, quaisquer que sejam o tipo de paragem e os objectivos da intervenção, o motor é sempre imobilizado. Assim sendo, só se repercutem paragens nos subconjuntos do motor perante a sua separação do completo, caso em que temos de geri-las *per si*.

Nas ocasiões em que forem especificamente visados módulos ou sub-módulos, no contexto de intervenções que, contudo, não exigem uma desagregação de nível 2, as paragens que daí resultam só se repercutem nos motores em que estão instalados e é por intermédio do respectivo histórico que são monitorizadas. O Quadro 10 ajuda-nos a visualizar o esquema de registos históricos de paragem, que reflecte, afinal, a repercussão do nível de desagregação de conjuntos associado a cada imobilização no motor, módulos e sub-módulos:

**Quadro 10 - Nível de Desagregação de Conjuntos e Registos Históricos**

Nível de Desag. Conjuntos	0	1	2 – Sem Remoção da HPT	2 – Com Remoção da HPT
Histórico de Paragem				
Histórico Paragem dos Motores	✓	✓	✓	✓
Histórico Paragem dos Módulos			✓	✓
Histórico Paragem dos Sub-Módulos				✓

Lembremo-nos, porém, de que, através do Anexo 2, convertemos a designação dos níveis de desagregação de conjuntos atrás apresentados nos seguintes, doravante empregues:

- Nível 0 = **AER** (motor na AERonave);
- Nível 1 = **REM** (motor REMovido da aeronave);
- Nível 2 = **DMT** (motor DesMonTado).

## **Avarias**

Como referimos, admitir-se-á que apenas os módulos são susceptíveis de avariar. Deixamos, assim, de lado as avarias que potencialmente podem ocorrer nos sub-sistemas e componentes do motor. Por outro lado, as avarias da HPT serão consideradas avarias no *Core*. Em caso de anomalia, assumimos que, mesmo que tenha de ser removido do motor, o *Core* não se separa da HPT para efeitos de reparação.

Em paralelo, decidimos aventar a possibilidade de ocorrência de acidentes susceptíveis de determinar a perda total do motor. Dos quatro graus de anomalias por nós previstos, só G4 aparece associado ao motor. Os restantes níveis, G1 a G3, dizem respeito, em exclusivo, aos módulos.

A ocorrência quer de avarias, quer de acidentes é simulada através da geração pseudo-aleatória desses eventos, de acordo com os parâmetros impostos. No caso dos *crashes*, embora as perdas sejam imputadas ao motor, os seus efeitos são, como não poderia deixar de ser, transmitidos aos subconjuntos que no momento o integram. As avarias simuladas, por seu turno, verificam-se, como já dissemos, ao nível dos módulos. A destruição isolada de módulos, causada por imponderáveis relacionados, ou não, com a operação do motor em voo, não foi por nós equacionada.

Recordemos, ainda, que, a título de simplificação, admitimos a constância da taxa de avarias no período simulado, embora saibamos que tal assunção não corresponde inteiramente ao que acreditamos vir a passar-se na realidade, na qual a mesma deverá, a partir de certo ponto, começar a aumentar por força da obsolescência.

Teremos de estudar as avarias com maior profundidade, tão logo se entenda que têm relevância estatística, para podermos propor uma evolução adequada dessa taxa.

## **Prontidão e Configurações**

No nosso modelo, um motor pronto equivale a um motor instalado numa aeronave.

De facto, motor e aeronave confundem-se, intencionalmente, na realidade simulada, uma vez que não existe, por desnecessária, uma entidade **Aeronave** no nosso diagrama de interacção de dados - reveja-se o esquema Entidade-Associação apresentado no Anexo 1.



Em matéria de configurações, estabelecemos que tanto os *Cores* como os motores não podem mudar de configuração mais do que uma vez por dia - este impedimento reflecte-se na forma como foram definidas as chaves das tabelas onde se regista essa informação, como se pode comprovar no Anexo 2.

A prontidão do motor, a operacionalidade de módulos e sub-módulos e as instalações de subconjuntos no conjunto superior são manipuladas através dos campos lógicos criados para o efeito nas tabelas:

- T\_Motores\_Conf\_situacao;
- T\_Modulos\_Situacao;
- T\_Sub\_Modulos\_Situacao.

### **Paragens de Referência Decorrentes de Inspeções Programadas**

Após cada missão, os contadores, entretanto actualizados, dos motores, módulos e sub-módulos são verificados. Todas as intervenções obrigatórias que estiverem a uma “distância” menor ou igual a 1,5 IFT, convertidos, da forma que explicámos em sede do processo de concertação por antecipação, nas demais unidades de monitorização, começam a ser efectuadas, os respectivos contadores são “esvaziados” e eventuais processos de alinhamento são desencadeados.

Consideram-se, para este efeito, valores menores ou iguais a 1,5 IFT, que aqui não correspondem a uma margem de sacrifício, por forma a impedir que os limites estabelecidos para a realização de intervenções programadas seja atingido em voo. De facto, apenas em situações extremas uma missão dura mais de uma hora e meia.

### **Tempos de Instalação e Desinstalação de Módulos**

Embora na realidade os tempos de instalação e desinstalação de módulos variem, caso a caso, fixou-se um prazo constante de 3 dias, suficiente para cobrir a maioria das operações de substituição. Este prazo é sempre “cobrado” no momento da paragem para desmontagem, permitindo que as subseqüentes montagens se façam instantaneamente.

Imaginemos um motor ao qual, após uma missão, são removidos um ou mais módulos para intervenção DMT, que acabam por ser, nessa mesma ocasião, substituídos por outros. Embora o VBA forme e registe, de imediato, a nova configuração, só decorridos 3 dias o motor será dado como pronto. No que toca os módulos removidos para intervenção, esses 3 dias são somados ao tempo de paragem subjacente, pseudo-aleatoriamente gerado pelo VBA.

## Paragens por Tempo Indeterminado e Paragens “Definitivas”

Quando módulos ou sub-módulos param por um período indeterminado, por exemplo, quando assumem a condição de *sparcs*, é-lhes associado um tempo de paragem longo, que é interrompido tão logo voltem a entrar em uso.

Atribuiu-se o valor de 20000 dias a todas as paragens que, na realidade, teriam uma duração indefinida. Esse prazo dias ultrapassa, de forma deliberada, o horizonte temporal da nossa simulação, que se estende do corrente ano a meados da década de 30 deste século. Permite-se, deste modo, por exemplo, que um órgão constituído *sparc* assim permaneça até ao fim do horizonte temporal recriado ou que um *Core* sem potencial, ao foi removida a HPT ainda operacional, aguarde, se necessário, “para sempre”, uma turbina de alta pressão com o *hard time* esgotado, para que juntos possam seguir para *overhaul*.

As perdas por acidente resultam numa paragem “definitiva”, fixada, por convenção, em 40000 dias, neste caso imputada a todos os itens - motor, módulos e sub-módulos.

Embora a duração das paragens “definitivas” seja diferente da estabelecida para as paragens por tempo indeterminado, o impacto no funcionamento do modelo é rigorosamente o mesmo, já que ambas vão, com toda a segurança, muito para além do nosso período simulado. A diferenciação, fez-se, apenas para que o *crash* se identifique, por via do tempo de paragem, de uma forma expedita.

## Conjunto de Alta Pressão

Admitiremos que a parelha HPC-HPT só se desfaz em duas situações:

- *Overhaul* individual da turbina;
- Quando o *Core* esgota o seu potencial antes da HPT que o integra.

Isto significa que, na eventualidade de haver intervenções DMT, que não o *overhaul*, associadas à HPT, o *Core* é removido do motor, mas o conjunto de alta pressão não se desfaz - o HPC acompanha a respectiva turbina nessa intervenção. No caso oposto, ou seja, sempre que o *Core* tenha de ser sujeito a uma acção DMT, também não se verifica o desmembramento do conjunto. Esta assunção mais não é do que uma simplificação, já que, na verdade, os itens poder-se-iam separar nas situações que acabámos de descrever.

No que às regenerações diz respeito, há ainda um aspecto importante a ter em conta: recordemos que a HPT pode ser sujeita a *overhaul* separada do *Core*, sendo a inversa falsa.

### 2.3.2. Rotinas

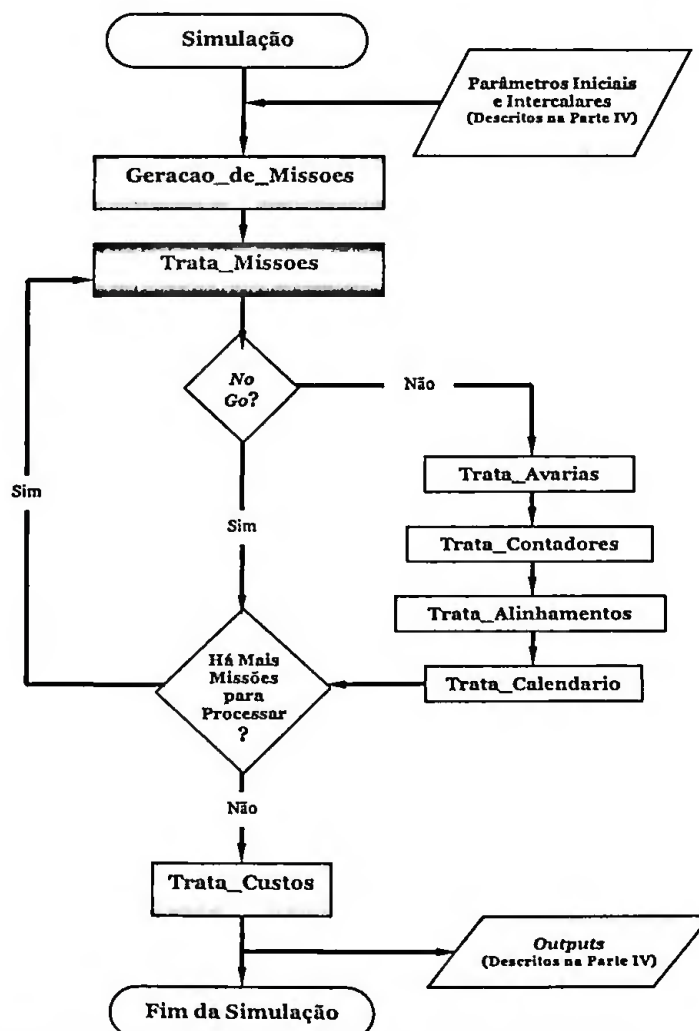
Passemos, então, sem mais delongas, à descrição detalhada das rotinas, ordenadas da seguinte forma:

**Quadro 11 - Rotinas VBA**

Rotinas Principais	Designação	Objectivos Gerais
Geração de Missões	Geracao_de_Missoes	Arranque do processo de simulação
Tratamento de Missões	Trata_Missoes	Actualização de históricos, imobilização e desmantelamento de motores e subconjuntos para manutenção
Tratamento de Avarias	Trata_Avarias	
Tratamento de Contadores	Trata_Contadores	Alinhamento de intervenções
Tratamento de Alinhamentos	Trata_Alinhamentos	
Tratamento de Eventos Calendarizados	Trata_Calendario	Remontagem e "reactivação" de motores e subconjuntos sujeitos a acções de manutenção
Tratamento de Custos	Trata_Custos	Apuramento dos custos de OH

Estas rotinas obedecem à seguinte sequência:

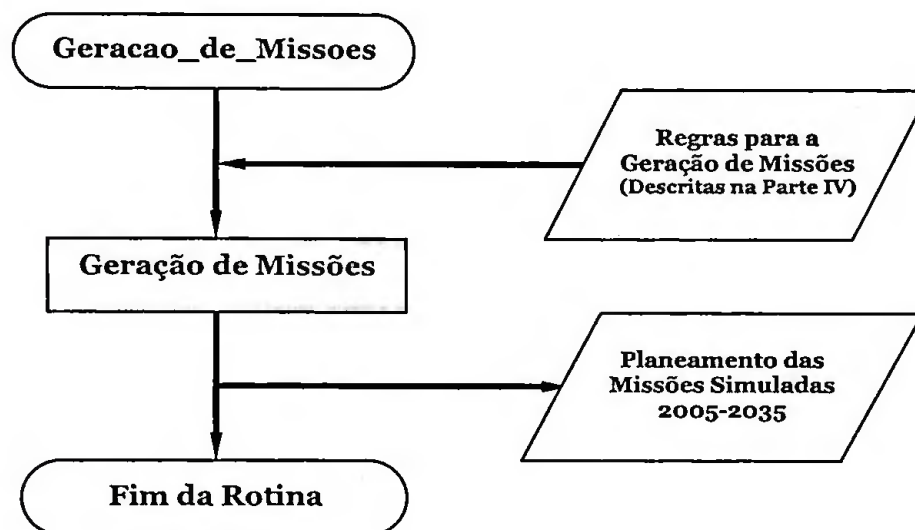
**Fig. 16 - Processo de Simulação**



## Rotina de Geracao\_de\_Missoes

Fluxograma Simplificado de Eventos:

Fig. 17 - Rotina de Geracao\_de\_Missoes



Corroborando o que atrás dissemos, o nosso ponto de partida são as missões voadas. Elas são geradas com base nos parâmetros definidos na tabela T\_Missoes\_Parametros\_Iniciais e registadas na tabela T\_Missoes\_Voadas.

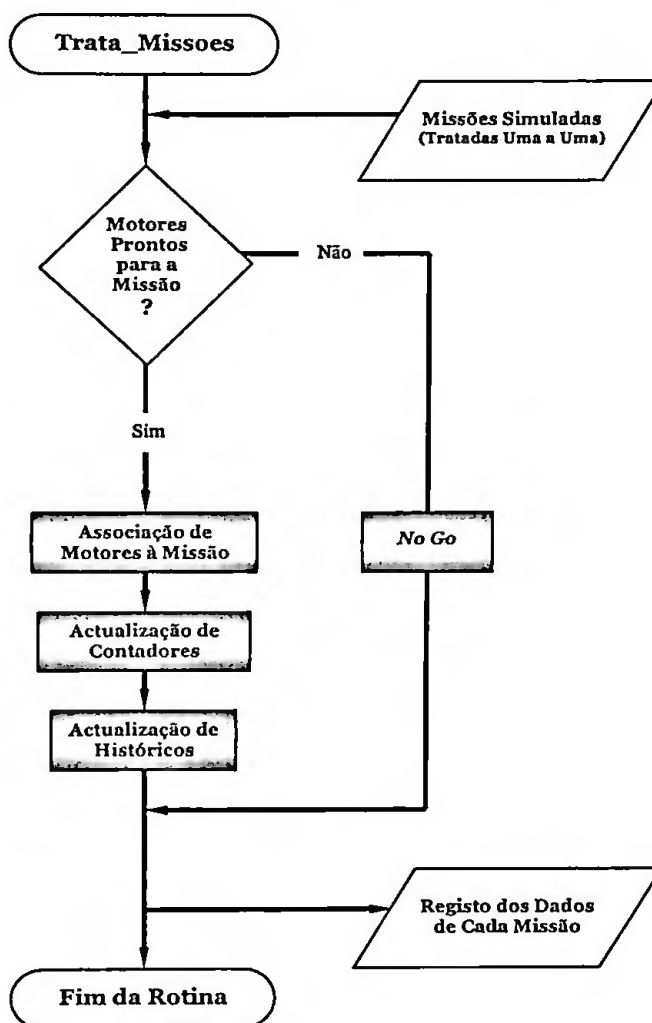
Com excepção dos campos **Número Real de Aeronaves e Observações**, que ficam, nesta fase, por preencher, os dados de todas as missões a realizar durante o período simulado são definidos à partida, independentemente dos demais factores considerados no modelo. Esta é uma espécie de pré-rotina, já que antecede os mecanismos que irão, de facto, recriar o sistema de manutenção da frota de Motores F100.

As rotinas a seguir apresentadas repetem-se para cada missão gerada, isto é, para cada registo da tabela T\_Missoes\_Voadas.

## Rotina Trata\_Missoes

Fluxograma Simplificado de Eventos:

Fig. 18 - Rotina Trata\_Missoes



Esta rotina subdivide-se em várias sub-rotinas.

### Sub-Rotina Teste de Motores Prontos (Associação de Motores à Missão)

Através desta sub-rotina, vamos averiguar a existência de motores prontos para realizar a missão.

Consulta-se a tabela T\_Motores\_Conf\_Situacao e determina-se o número de motores prontos nessa data, com vista à sua comparação com a quantidade de aeronaves “exigida”, pelo VBA, para essa missão, valor pseudo-aleatoriamente gerado e inscrito no campo **Número Programado de Aeronaves** da tabela T\_Missoes\_Voadas.

Daí resultam três cenários possíveis:

- A.  $N^{\circ}$  de Motores Prontos  $\geq$   $N^{\circ}$  Programado de Aeronaves  $\Rightarrow$   $N^{\circ}$  Real de Aeronaves =  $N^{\circ}$  Programado de Aeronaves;
- B.  $0 < N^{\circ}$  de Motores Prontos  $<$   $N^{\circ}$  Programado de Aeronaves  $\Rightarrow$   $N^{\circ}$  Real de Aeronaves =  $N^{\circ}$  de Motores Prontos;
- C. ( $N^{\circ}$  de Motores Prontos = 0)  $\Rightarrow$  Missão abortada por falta de motores.

O registo de T\_Missoes\_Voadas que estiver a ser tratado dá-se, assim, por completo.

Sempre que se verifique o cenário A, o VBA sorteia os motores que irão ficar associados ao cumprimento da missão, procedimento desnecessário perante o cenário B. Em qualquer dos casos, segue-se a inscrição dos motores indigitados na tabela T\_Missoes\_Motores.

### **Sub-Rotina Actualização de Contadores**

Nesta etapa, o VBA actualiza os contadores por meio dos quais se monitorizam as inspecções obrigatórias de motores, módulos e sub-módulos.

Fá-lo sequencialmente, do primeiro ao último motor envolvido na missão e, no âmbito de cada um deles, do primeiro ao último subconjunto, identificados através das configurações actuais e tendo-se em conta as inspecções vigentes. Considerem-se as tabelas:

- T\_Motores\_Insp\_Regras\_Contador;
- T\_Modulos\_Insp\_Regras\_Contador;
- T\_Sub\_Modulos\_Insp\_Regras\_Contador.

Uma inspecção está em vigor, nas tabelas acima, sempre que os campos onde se definem os intervalos entre inspecções e *overhauls* são diferentes de zero.

O VBA só actualiza os contadores de intervenções vigentes, nada fazendo se os campos atrás referidos contiverem o valor zero.

Com base nas unidades de monitorização subjacentes a cada intervenção programada, soma ao valor acumulado no respectivo contador o desgaste decorrente do voo em apreço.

### **Sub-Rotina Actualização de Históricos**

Sucedem-se a actualização dos históricos de operação de motores, módulos e sub-módulos, consagrados nas tabelas:



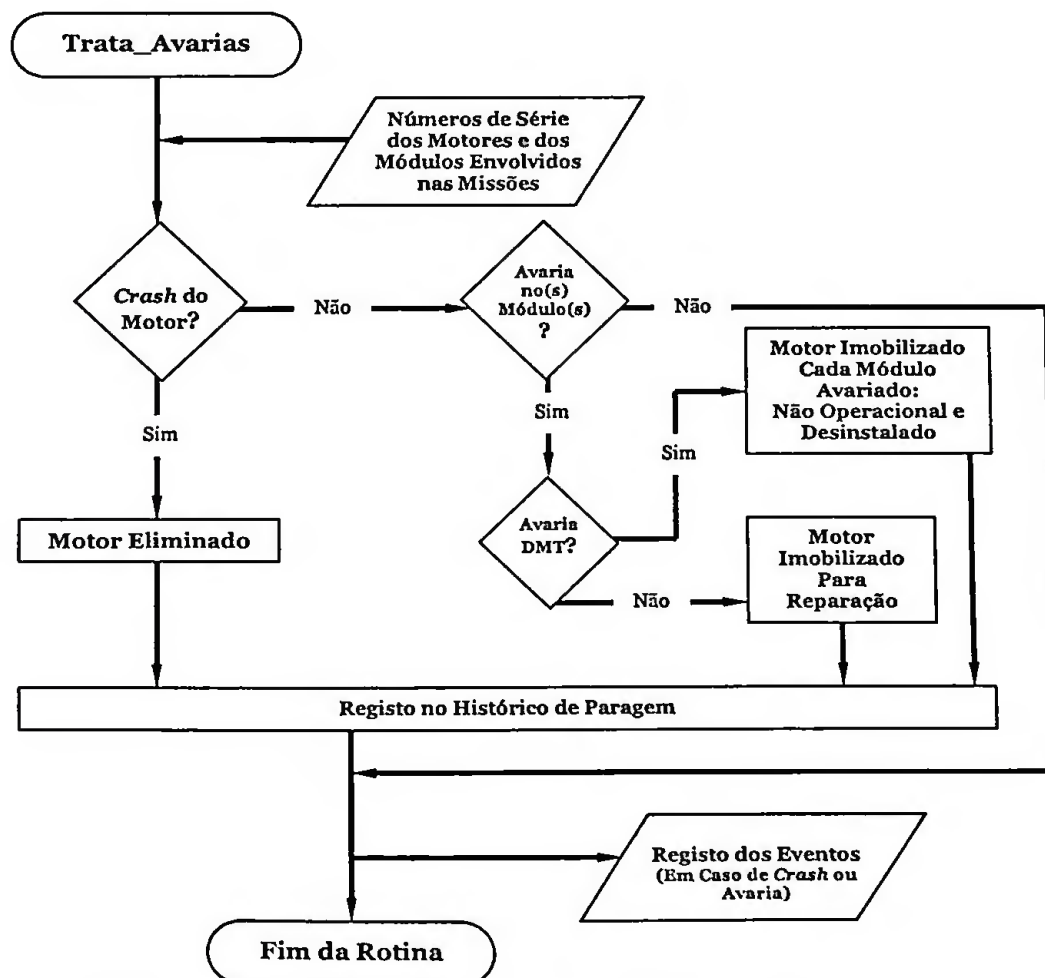
- T\_Motores\_Hist\_Conf;
- T\_Modulos\_Hist;
- T\_Modulos\_HPC\_Hist\_Conf;
- T\_Sub\_Modulos\_Hist.

Também aqui, o VBA recorre às tabelas onde constam as configurações actuais, T\_Motores\_Conf\_Situacao e T\_Modulos\_HPC\_Conf\_Actual, para transmitir, a partir do número de série do motor, o desgaste recém-adquirido a módulos e sub-módulos. O processo de actualização é mesmo que se usou para actualizar os contadores, ou seja, os valores acumulados nos históricos são acrescidos dos consumos do voo que está a ser processado.

### Rotina Trata\_Avarias

Fluxograma Simplificado de Eventos:

Fig. 19 - Rotina Trata\_Avarias



O teste de avarias é um dos muitos que irão forçar o sistema a evoluir, missão após missão.

Após a realização de cada voo, verificar-se-á se ocorreram anomalias causadoras de danos reversíveis ao motor.

Esses danos, cuja frequência é definida na tabela T\_Modulos\_Avarias\_Prob\_Tempos, poderão ter vários níveis de gravidade - ligeiro, médio ou grave - e acontecem sempre que forem pseudo-aleatoriamente escrutinados e associados aos números de série dos módulos. A ocorrência de uma avaria determina uma de duas possibilidades:

- Se o tipo de DSB-RSB definido para esse nível de avaria for AER ou REM, só a prontidão do motor é suspensa e apenas o respectivo histórico de paragens é alterado - T\_Motores\_Hist\_Stops;
- Caso, porém, o DSB-RSB associado à avaria seja DMT, é suspensa tanto a operacionalidade do motor, como também a dos módulos avariados, o que implica registos em ambos os históricos de paragem (T\_Motores\_Hist\_Stops e T\_Modulos\_Hist\_Stop), a eliminação dos números de série dos itens removidos da configuração do completo e o encerramento da configuração em T\_Motores\_Hist\_Conf.

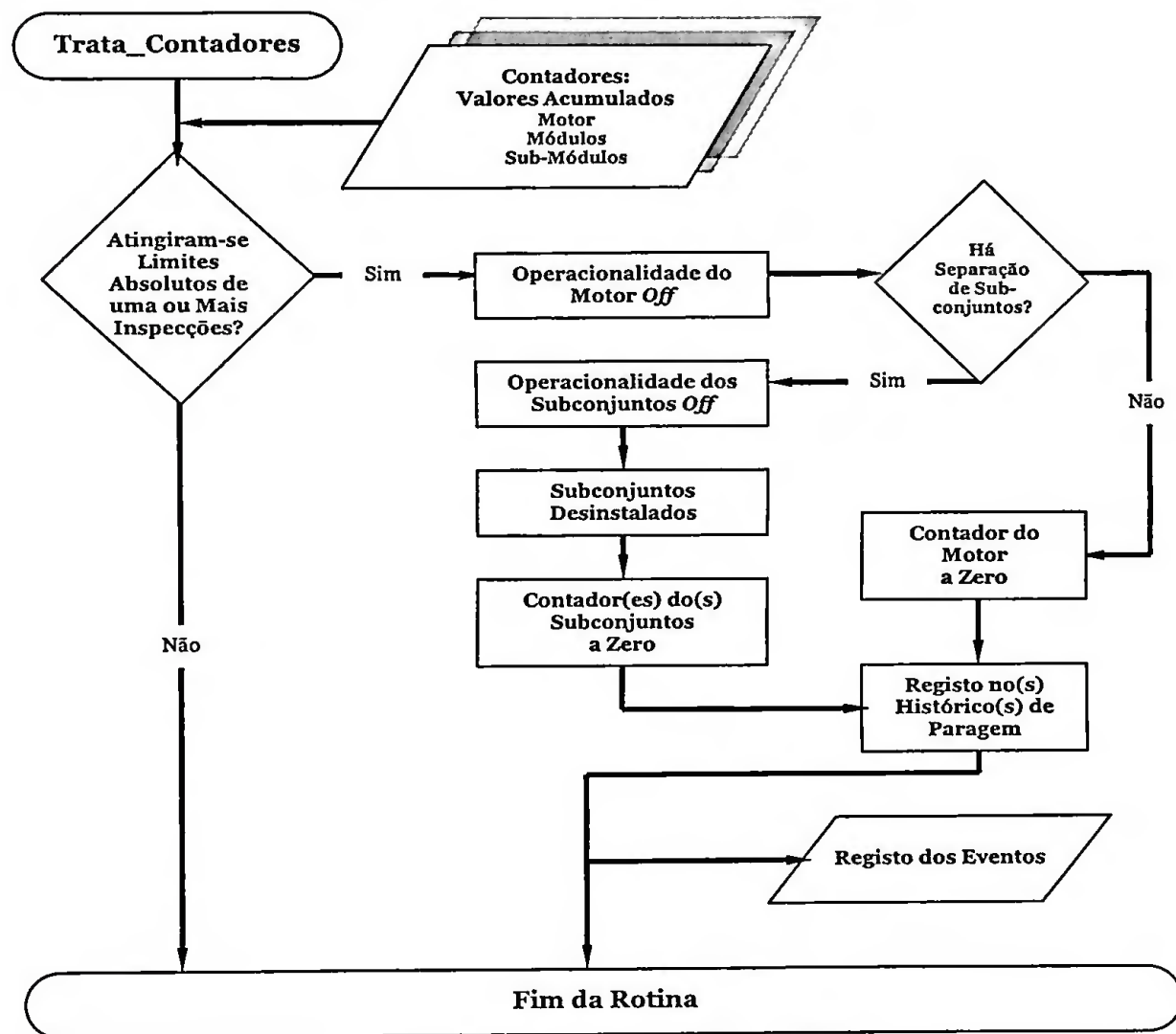
Se, ao nível do motor, for sorteado um *crash*, ter-se-á de:

- Cancelar a prontidão do motor e a operacionalidade dos seus módulos e sub-módulo;
- Inscrever os órgãos, pela última vez, nos históricos de paragem, dando-os como destruídos e associando-lhes o tempo convencional de paragem “definitiva” (40000 dias);
- Encerrar a configuração do motor em T\_Motores\_Hist\_Conf e a do *Core* em T\_Modulos\_HPC\_Hist\_Conf.

## Rotina Trata\_Contadores

Fluxograma Simplificado de Eventos:

Fig. 20 - Rotina Trata\_Contadores



### Sub-Rotina Trata Contadores de Motores

Começar-se-á pela averiguação das necessidades de paragem motivadas pelo vencimento de um ou mais limites absolutos estabelecidos para as intervenções programadas para os motores em T\_Motores\_Insp\_Regras\_Contador.

Será, então, realizada uma inspecção se:

$$X \times (1 + Y) - Z \leq 1,5 \text{ IFT}$$

Em que:

**X** - Campo **Inspecção i** (tabela T\_Motores\_Insp\_Regras\_Contador)

**Y** - Campo **Tolerância da Inspecção i** (tabela T\_Motores\_Insp\_Regras\_Contador)

**Z** - Campo **Inspecção i Acumulado** (tabela T\_Motores\_Insp\_Regras\_Contador)

**i** = 1, 2 ou 3

Testa-se a desigualdade anterior para cada uma das inspecções definidas para o motor, ou sejam, as inspecções 1 a 3.

O esgotamento desses limites implicará a paragem do motor, concretizada pelo cancelamento da sua prontidão, pela limpeza do respectivo contador e pela inscrição do correspondente número de série no histórico de paragem, onde aguardará o cumprimento da acção de manutenção.

### **Sub-Rotina Trata Contadores de Módulos**

Numa segunda etapa, apura-se, do mesmo modo, se há módulos a beirar a inspecção, o que, a confirmar-se, tem as consequências que passamos a descrever.

O processo de paragem associado à intervenção num ou mais módulos variará de acordo com o tipo de DSB-RSB estabelecido para cada intervenção:

- Se o DSB-RSB definido para cada inspecção cujo limite se tenha vencido for AER ou REM, a paragem faz-se através do cancelamento da prontidão do motor, da limpeza dos contadores correspondentes às inspecções em apreço e da inscrição do número de série do completo no respectivo histórico de paragem;

- Se, por outro lado, o DSB-RSB definido for DMT, tipo que corresponde a todos os *overhauls*, mas não só, o procedimento é um pouco mais complexo.

Para se extrair do completo um módulo que não o *Core*, é necessário parar o motor e os módulos a desinstalar, a fim de permitir a sua separação, o que implica, uma vez mais, cancelar a prontidão do motor e dos módulos sujeitos a remoção, limpar os respectivos contadores e inscrever os números de série do motor e desses módulos nos históricos de paragem correspondentes.

Ter-se-á também de desmarcar as *boxes* de instalação dos módulos a remover e apagar o seu número de série da configuração do motor.

Perante um *depot* do *Core* a maneira de proceder será outra.

De facto, um HPC não pode, como referimos, ser enviado para regenerar o seu potencial sem estar associado a uma HPT, embora o inverso seja possível, isto é, uma HPT pode ser submetida a OH individualmente. Assim, a menos que os intervalos de inspeção dos conjuntos HPC-HPT estejam sincronizados, o que, na realidade, nem sempre acontece, o HPC tem de ficar à espera de uma HPT “esgotada” para cumprir o *overhaul*. Testa-se a proximidade do *depot* da HPT, tentando-se uma conciliação a 400 IFT. Esta margem de sacrifício é bastante elevada, porque interessa submeter os conjuntos de alta pressão a regenerações concertadas. Os 400 IFT correspondem, grosso modo, aos 1000 CCy definidos em T.O. e convertidos ao valor médio aproximado de 2,5 CCy/IFT.

Caso o alinhamento não possa concretizar-se, a paragem de um HPC para *overhaul* passa, então, pelo cancelamento da sua operacionalidade, pela limpeza do respectivo contador, pela desmarcação da *box* de instalação correspondente, pela remoção do seu número de série da configuração do motor e pela transferência para uma área de espera, representada por T\_Modulos\_HPC\_Standby, onde aguarda por uma HPT “esgotada”. Regista-se, ainda, no histórico de paragens por força da entrada em espera. Caso contrário, o *overhaul* conjunto concretiza-se - observam-se os mesmos procedimentos, com excepção da entrada do HPC em *standby*.

### **Sub-Rotina Trata Contadores de Sub-Módulos**

Por fim, caberá repetir todo o processo para os sub-módulos. Também as paragens da HPT estão dependentes do tipo de DSB-RSB estabelecido para cada intervenção. Se o DSB-RSB definido para a inspeção cujo limite se atingiu for AER ou REM, a paragem faz-se, uma vez mais, por meio do cancelamento da prontidão do motor, da limpeza do respectivo contador e da inscrição do número de série do motor no histórico de paragem, onde aguardará o cumprimento da acção de manutenção. Se, por outro lado, o DSB-RSB definido for DMT, o que só acontece em caso de *overhaul*, a paragem exige os seguintes passos:

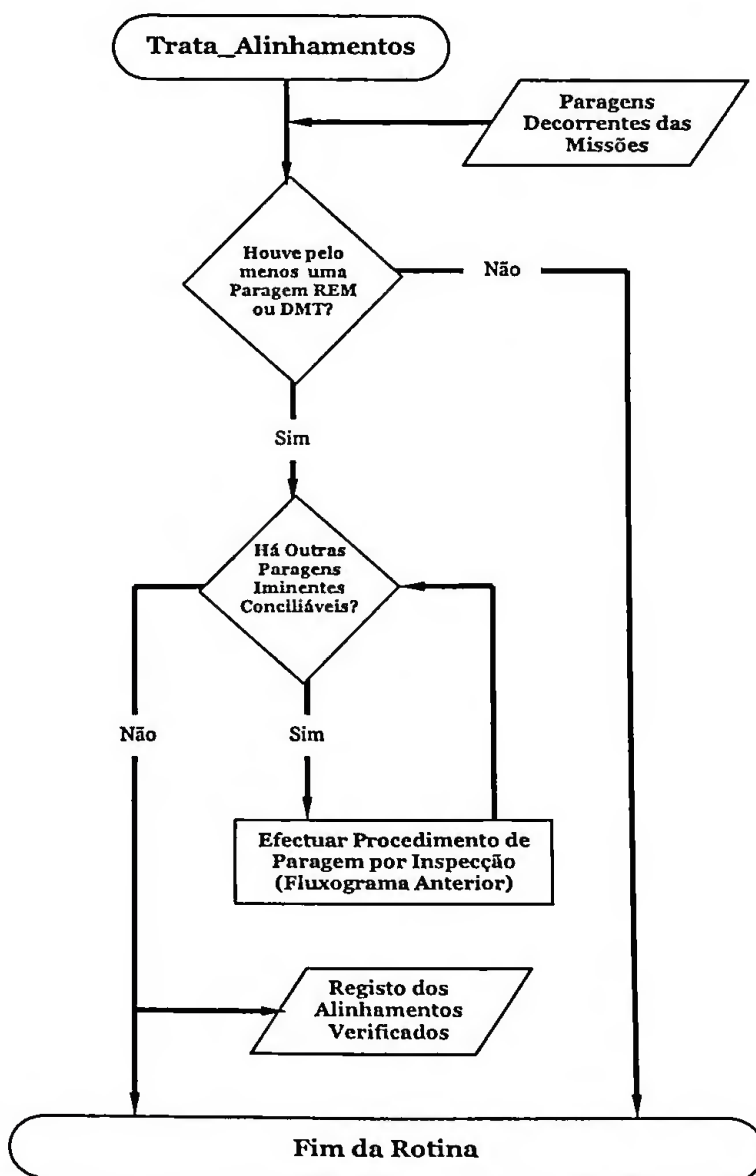
- Se o HPC onde a HPT está instalada estiver no limiar da regeneração, cujo limite se atingiria com grande probabilidade nos 400 IFT seguintes, ambos podem ser encaminhados para *depot*, através da inscrição conjunta no histórico de paragens de módulos, limpando-se os respectivos contadores e desmarcando-se as *boxes* de operacionalidade e de instalação correspondentes;
- Contudo, se o HPC atrás referido estiver ainda longe do respectivo tempo limite do potencial (TLP) dá-se a sua entrada em espera operacional e a HPT segue para *depot* (*per si* ou integrada noutra *Core* anteriormente posto em *standby* inoperacional).

A separação do conjunto de alta pressão por força da regeneração da HPT, traduz-se, por conseguinte, no fim da associação dos respectivos números de série, no cancelamento da prontidão do *Core* em causa e no seu registo na área de *standby*, onde aguardará uma HPT pronta e disponível, isto é, com potencial e não associada a qualquer outro *Core*. Note-se que, neste caso, o contador do HPC não é apagado, para que a contagem possa continuar a partir do momento em que, depois de associado a uma HPT pronta, é instalado num motor.

### Rotina Trata\_Alinhamentos

Fluxograma Simplificado de Eventos:

Fig. 21 - Rotina Trata\_Alinhamentos



Na eventualidade de terem havido intervenções conducentes ao desmembramento do motor, o VBA vai procurar, para os módulos removidos, acções de manutenção DMT programadas e iminentes. Estamos perante potenciais alinhamentos internos, isto é, alinhamentos de operações DMT respeitantes a um mesmo órgão, neste caso, um módulo.

As T.O. ajudaram-nos a determinar, para estes casos, as seguintes margens de sacrifício, convertidas ao valor médio aproximado de 2,5 CCy por hora de voo:

- 1000 CCy (400 IFT) para o *Core* e para a *HPT*;
- 750 CCy (300 IFT) para a *Fan*, a *FDT* e o *Augmentor*;
- 600 CCy (240 IFT) para a *Gearbox*.

Efectuam-se, paralelamente, tentativas de alinhamento externo, ou seja, alinhamentos em que se conciliam intervenções (REM ou DMT) referentes a módulos distintos ou de intervenções que, dizendo respeito a um mesmo módulo, não são todas DMT. Aqui as margens de sacrifício são mais moderadas, uma vez que este tipo de conciliação é menos vantajoso do que o interno, através do qual se torna possível a realização de mais de uma acção de manutenção DMT num mesmo módulo. Dos alinhamentos externos, pelo contrário, poderá resultar a separação de módulos que não os removidos na sequência da Rotina Trata\_Contadores, pelo que as sinergias daí decorrentes são mais reduzidas.

Neste contexto, as margens de sacrifício foram definidas por nós, à luz da doutrina, numa tentativa de imitar as decisões, nesta matéria, tomadas pelo Gestor de Frota:

- 40 IFT para a antecipação de intervenções REM, face a paragens REM ou DMT de referência;
- 80 IFT para a antecipação de intervenções DMT, face a paragens DMT de referência.

Os alinhamentos verificam-se se uma, várias ou todas as inspecções alinháveis obedecerem à seguinte condição:

$$X \times (1 + Y) - Z \leq N \text{ IFT}$$

Em que:

**X** - Campo **Inspeção i** (tabela T\_Modulos\_Insp\_Regras\_Contador)

**Y** - Campo **Tolerância da Inspeção i** (tabela T\_Modulos\_Insp\_Regras\_Contador)

**Z** - Campo **Inspeção i Acumulado** (tabela T\_Modulos\_Insp\_Regras\_Contador)

**i** = 1, 2, 3 ou OH

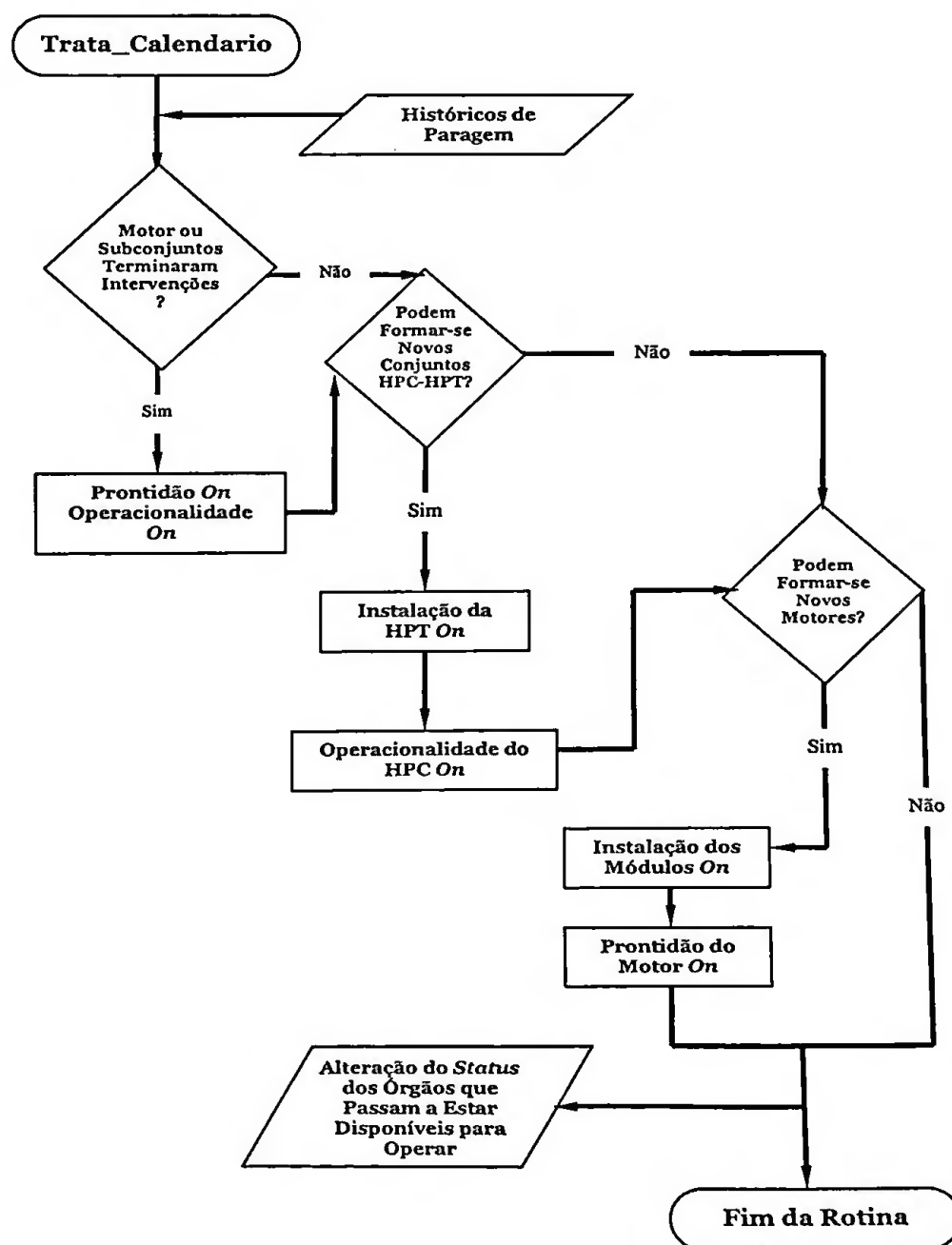
**N** - Diferentes margens de sacrifício

Sendo exequível o alinhamento, limpam-se os contadores correspondentes às inspecções antecipadas, anula-se a operacionalidade dos itens em relação aos quais seja necessário fazê-lo e procede-se ao registo da sua imobilização.

### Rotina Trata\_Calendario (Tratamento de Eventos Calendarizados)

Fluxograma Simplificado de Eventos:

Fig. 22 - Rotina Trata\_Calendario





Nesta etapa, os eventos sucedem-se por força da data actual, que pode determinar a reentrada ao serviço de itens imobilizados para manutenção. Isso verificar-se-á se:

$$\text{Data Actual} \geq \text{Data da Paragem} + \text{Tempo de Inspeção-Reparação-Standby}$$

Em que os campos **Data da Paragem** e **Tempo de Inspeção-Reparação-Standby** pertencem às tabelas *T\_Item\_Hist\_Stops*.

Segue-se uma lógica de reactivação indutiva, isto é, das HPT aos motores, passando pelos módulos. Não poderia, de resto, ser de outra forma, já que cada órgão depende dos do nível anterior para voltar a operar.

Para efeitos de reentrada ao serviço, considera-se a “data mais tarde” de fim das intervenções cuja concretização tenha sido determinada, sempre que o órgão em causa - motor, módulo ou sub-módulo - seja alvo de acções de manutenção simultâneas iniciadas num mesmo dia.

Caso não seja possível encontrar *sparcs* disponíveis para preencher as vagas deixadas pelos itens removidos, tentar-se-á formar novos motores completos, a partir de todos os motores desfalcados após uma mesma missão, promovendo-se a troca de módulos entre si. Parte-se do menos incompleto dos motores e procuram-se módulos de substituição nos motores mais incompletos.

Os motores que, após duas etapas de “reasseblagem”, realizada através dos *sparcs* e da permuta de módulos entre motores desfalcados, permanecerem incompletos, ficam a aguardar futuras hipóteses de suprir a falta dos órgãos ausentes.

Por outro lado, se as tentativas de “reasseblagem” forem bem sucedidas e, ainda assim, sobrarem *sparcs*, o VBA esgotará as hipóteses de, a partir deles, se formarem novas configurações, num total não superior a 45, quantitativo explicado na última parte.

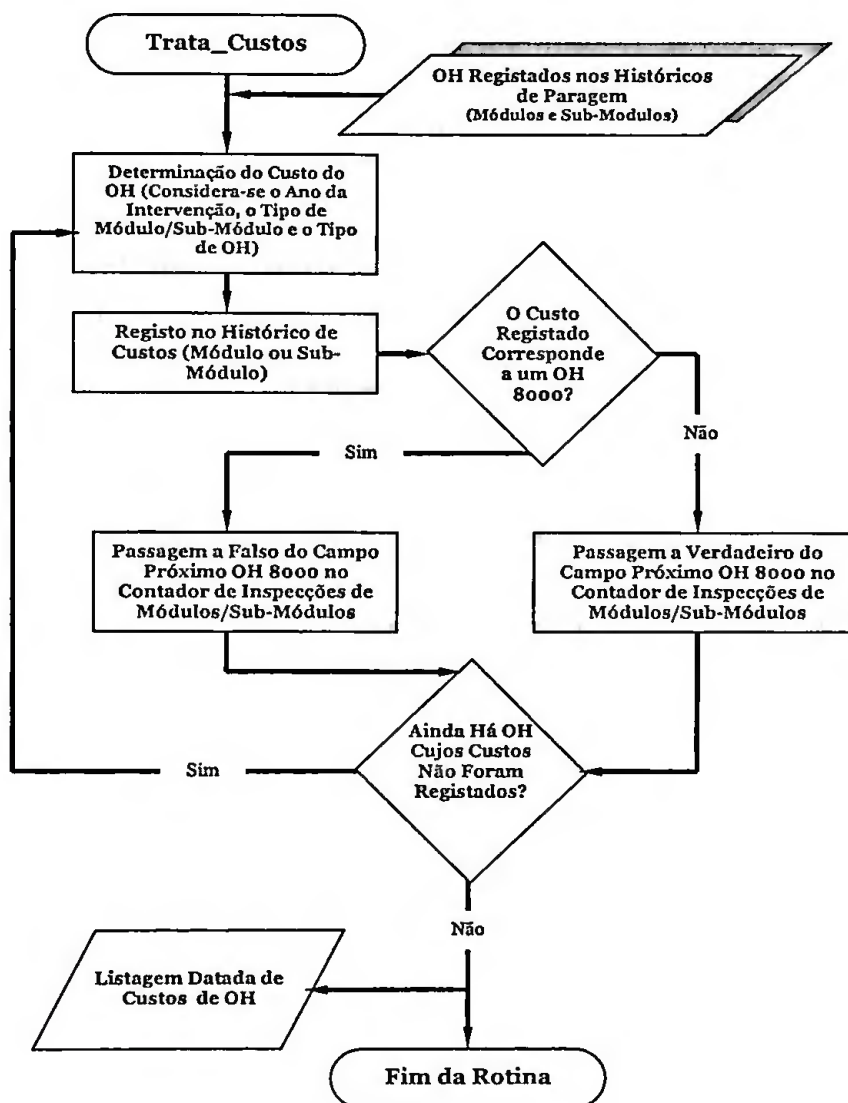
Finda a Rotina *Trata\_Calendario*, reinicia-se um novo ciclo de processamento de missões.

A simulação termina com a Rotina *Trata\_Custos*, uma espécie de pós-rotina, que só é chamada depois de tratadas todas as missões planeadas.

## Rotina Trata\_Custos

Fluxograma Simplificado de Eventos:

Fig. 23 - Rotina Trata\_Custos



Esta rotina tem dois objectivos:

- Registrar nas tabelas T\_Modulos\_Custos\_OH\_Hist e T\_Sub\_Modulos\_Custos\_OH\_Hist os encargos resultantes das operações de regeneração;
- Alternar os “grandes *overhauls*” com os “pequenos *overhauls*”, através da manipulação do campo lógico **Próximo OH 8000** das tabelas T\_Modulos\_Insp\_Regras\_Contador e T\_Sub\_Modulos\_Insp\_Regras\_Contador.

O Quadro 12 resume os diferentes estados em que podemos encontrar o motor, os módulos e os sub-módulos antes, durante ou depois da simulação.

**Quadro 12 - Estados de Prontidão / Operacionalidade e de Instalação**

	Não Pronto Não Operacional	Pronto Operacional	Não Instalado	Instalado	Standby	Situação	Duração da Paragem
Motor		✓	N/A	N/A	N/A	Disponível para o Voo	N/A
Motor	✓		N/A	N/A	N/A	Imobilizado para Manutenção	Finita
Motor	✓		N/A	N/A	N/A	Dormente	Finita
Motor	✓		N/A	N/A	N/A	Destruído	40000 Dias
Módulos ≠ Core	✓		✓		N/A	Removido para Manutenção	Finita
Módulos ≠ Core		✓	✓		N/A	Spare	Finita
Módulos ≠ Core		✓		✓	N/A	Em Uso	N/A
Módulos ≠ Core	✓			✓	N/A	Dormente	Finita
Módulos ≠ Core	✓		✓		N/A	Destruído	40000 Dias
Core	✓		✓		✓	Removido - A Aguardar HPT Esgotada para OH Conjunto	Finita
Core	✓		✓			Removido para Intervenção Conjunta com a HPT	Finita
Core		✓	✓		✓	Removido - A Aguardar HPT Pronta para se Tornar Disponível	Finita
Core		✓	✓			Spare	Finita
Core		✓		✓		Em Uso	N/A
Core	✓			✓		Dormente	Finita
Core	✓		✓			Destruído	40000 Dias
HPT	✓		✓		N/A	Removida do Core para OH	Finita
HPT	✓			✓	N/A	Intervenção DMT não OH	Finita
HPT		✓	✓		N/A	Spare	Finita
HPT		✓		✓	N/A	Em Uso	N/A
HPT	✓			✓	N/A	Dormente	Finita
HPT	✓		✓		N/A	Destruída	40000 Dias

## Parte IV - Estudo da Descontinuação da Frota Nacional de Motores F100

### 1. Considerações Iniciais

Por intermédio do modelo de simulação, cujo funcionamento acabámos de descrever, pretende-se, como referimos, avaliar alternativas de descontinuação progressiva da frota de Motores F100, capazes de servir de forma vantajosa os interesses da Força Aérea Portuguesa. Embora os custos associados à manutenção do motor não sejam os únicos a ter em conta no planeamento do processo de extinção das esquadras equipadas com o F-16 *Fighting Falcon*, são, sem dúvida, dos mais relevantes, dados os elevados encargos decorrentes da regeneração dos módulos que o compõem - eles representam, como se sabe, cerca de 70% da totalidade dos encargos decorrentes da sustentação da aeronave.

Nesta matéria, há dois aspectos a considerar - o operacional e o económico-financeiro. A solução que vier a ser escolhida terá de resultar de um compromisso equilibrado entre estes factores, ou seja, terá de constituir uma alternativa que, embora visando uma poupança orçamental elevada, não comprometa o desempenho operacional das Esquadras de Voo sedeadas em Monte Real.

Relembremos que as aeronaves F-16 *Fighting Falcon* foram adquiridas pela Força Aérea Portuguesa, nos seguintes moldes:

- 20 aeronaves novas, das quais se contam hoje apenas 19<sup>11</sup> - estas aeronaves, destinadas à 1ª Esquadra, entraram ao serviço a partir de 1994;
- 20 aeronaves usadas, destinadas à 2ª Esquadra - estas aeronaves, depois de submetidas ao MLU e aos programas de reforço estrutural *Falcon Up* e *Falcon Star*, estão presente e gradualmente a entrar ao serviço.

As aeronaves novas têm, como sabemos, um tempo estimado de vida útil de 8000 horas de voo, o que lhes permite voar, em Portugal, um máximo de 40 anos, valor que resulta de um cálculo aproximado com o valor redondo de 200 horas de voo por ano e por aeronave. Por outro lado, sabendo-se que os aviões da 2ª Esquadra chegaram ao nosso país com cerca de 3000 horas de voo já consumidas, conclui-se que lhes restam, aproximadamente, 25 anos de serviço.

---

<sup>11</sup> Uma das aeronaves perdeu-se no noticiado acidente ocorrido em 8 de Abril de 2002, na Base Aérea nº 5. Esse avião poderá vir a ser repostado, no futuro, a fim de se perfazer o planeado total de 40 F-16 *Fighting Falcons* ao serviço da FAP. No nosso trabalho assumiremos, porém, um total de 39 aeronaves.

Feitas as contas, as aeronaves que começaram a operar em 1994 terminarão o seu ciclo de vida por volta de 2034/2035 e as que estão, neste momento, a entrar ao serviço poderão voar, grosso modo, até 2029/2030. Temos, como é óbvio, presente o facto de que os aviões de cada esquadra irão esgotar o seu tempo de vida útil em momentos diferentes, não só porque os tempos de voo acumulados não são exactamente iguais de célula para célula, como também porque as entradas ao serviço têm sido assíncronas. Ainda assim, numa óptica conservadora, parece-nos razoável aceitar as datas acima mencionadas para o termo do ciclo de vida dos motores de cada um dos dois lotes de aeronaves.

Daqui decorre que o ano de 2035 se afigure como uma espécie de barreira temporal intransponível, no que concerne a extinção da frota nacional de F-16 *Fighting Falcons*, isto claro está, se novos factores, neste momento imponderáveis, não vierem alterar o quadro previsível de eventos, antecipando ou retardando o fim da vida de serviço da aeronave.

Neste trabalho, tomaremos, portanto, o ano 2035 como o limite máximo absoluto para a utilização operacional dos meios aéreos em estudo.

Note-se, porém, que para a degradação das aeronaves, contribui, não só, o tempo de voo, como também dois outros factores, em particular:

- A severidade das missões, tanto maior quanto mais elevado o consumo de ciclos a que dão origem;
- A corrosão, decorrente da operação em ambientes marítimos, como é o caso português.

A longevidade dos motores, por outro lado, é hoje vista como praticamente ilimitada, desde que os respectivos módulos não deixem de ser regenerados e que os componentes não controlados sejam monitorizados e substituídos ou reparados ao primeiro sinal de fadiga.

Em boa verdade, os motores foram projectados para voar 8000 CCy, como já havíamos referido. Mantendo-se o ritmo histórico de consumo de ciclos, tal limite esgotar-se-ia em aproximadamente 14 a 16 anos.

Contudo, cedo se constatou que era possível alongar o seu tempo de serviço, desde que cumpridos os requisitos atrás referidos.

Os componentes não controlados, concebidos para durar pelo menos 8000 CCy, não precisavam, à partida, de monitorização, visto esperar-se, aquando da sua concepção, que sobrevivessem ao completo.

Todavia, o alargamento do ciclo de vida do motor determinou que tivessem de passar a ser vigiados e a sua substituição coincide, não raras vezes, com as grandes regenerações, realizadas, grosso modo, a cada 8000 CCy e assim designadas precisamente por exigirem a substituição de um número mais elevado de componentes do que por altura dos *overhauls* intercalares, realizados de 4000 em 4000 CCy - fica, desta forma, explicada a diferença que cedo estabelecemos entre as regenerações a que são submetidos os módulos da *Fan*, da *FDT* e do *Core*, em cada um daqueles intervalos.

A opção de alongar a vida de serviço do motor, ainda que bastante dispendiosa, é mais barata do que adquirir módulos novos, tendo em conta os custos proibitivos de reactivar uma linha de produção, actualmente parada, por força de uma encomenda que, no caso português, jamais beneficiaria do factor escala. No caso da *Fan*, da *FDT* e do *Core*, o preço de um módulo novo representa pelo menos o dobro do que se paga por um grande *overhaul*.

Relacionemos, então, os módulos com o processo de descontinuação da frota de aeronaves. Com o esgotamento do tempo de vida útil das células no horizonte, torna-se fundamental determinar o momento a partir do qual se pode considerar cada nova regeneração um desperdício de potencial. De facto, não interessa fazer *overhauls* em momentos “próximos” do limite de vida útil das aeronaves, visto que essa situação determinaria uma sobrevivência generalizada dos módulos para além da data subjacente àquele limite.

Do ponto de vista económico-financeiro, o mais indicado será, por conseguinte, definir um programa de *phase-out* dos módulos que conduza a um baixo índice de sobrevida dos mesmos para lá do horizonte temporal em apreço.

O fulcro do nosso trabalho reside, assim, na elaboração de calendários segundo os quais os módulos seriam escalonadamente retirados de serviço, por forma a minimizar, nos termos definidos, o número dos que ultrapassam com potencial as três fronteiras de descontinuação tidas em conta: 2025, 2030 e 2035.

Serão, também, comparados os custos resultantes dos planos de *phase-out* propostos com os que existiriam numa situação de continuidade, ou seja, numa situação em que os módulos não deixam de ser regenerados.

## **2. Processo de Simulação**

Efectuámos 10 corridas de simulação, com início em 01-01-2005 e fim em 31-12-2035, o que perfaz um total 31 anos simulados. Em todas elas foram processados com os mesmos dados de partida, cujo racional se explica já de seguida.

### **2.1. Parâmetros Iniciais e Intercalares de Cada Corrida**

Neste ponto, não faremos, uma descrição exaustiva do conteúdo de cada uma das tabelas de *input* e mistas - tal seria, na nossa opinião, excessivo e desnecessário, além de nos forçar, nalguns casos, a revelar informações cuja confidencialidade é inviolável. Assim sendo, serão por nós descritos em grandes linhas.

A este propósito, não podemos deixar de sublinhar que a situação de partida, posteriormente transformada pelo mecanismo de simulação, se traduz numa aproximação possível à realidade vigente à data da recolha dos dados. De facto, não tivemos acesso à totalidade das informações necessárias, o que nos obrigou a partir de pressupostos que, embora não prejudicando os objectivos do trabalho, não espelham, com absoluta precisão, o panorama então existente. Daqui resulta que, dos resultados adiante apresentados, não possam ser feitas inferências quanto ao exacto estado actual e futuro da frota nacional de Motores F100, nem tão pouco quanto às Esquadras de F-16 *Fighting Falcon*.

Por parâmetros iniciais entendem-se os dados susceptíveis de processamento desde o arranque da simulação, reportado, como sabemos a 01 de Janeiro de 2005. Por parâmetros intercalares, os que apenas em datas posteriores passam a estar “visíveis” às rotinas programadas - apresentaremos, mais adiante, os mecanismos subjacentes à sua “activação”.

Importa, ainda, lembrar que os dados para tal considerados provieram de cinco fontes:

- De numerosas consultas aos especialistas e técnicos que, a diferentes níveis da estrutura organizacional da Força Aérea Portuguesa, se responsabilizam pela manutenção do Motor F100;
- Da monografia “Caracterização da Utilização Operacional do Motor F100 da 1ª Esquadra de F-16”;
- Do EMMS;

- Dos registos históricos dos módulos, em suporte de papel, sempre que foi necessária informação relativa a alguns motores da 2ª Esquadra, que, por serem mais recentes em termos de processamento, nem sempre estavam carregados no EMMS;
- De publicações técnicas.

Recordemos o elenco de tabelas de *input* e mistas, assinaladas a azul no Quadro 9 e a respectiva estrutura, patente no Anexo 2. Vejamos, por grandes conjuntos, como foram preenchidas as tabelas.

### Missões

O número anual de missões, igual em todas as corridas, considerou-se:

- Crescente, de 2005 a 2012;
- Semi-estacionário, de 2013 a 2035.

O ano 2012 constitui o momento a partir do qual é seguro admitir que duas esquadras estarão a funcionar a um nível próximo do pleno, embora, na realidade, esse nível possa ser alcançado antes daquela data - estamos, também aqui, a adoptar, uma postura conservadora.

Por funcionamento pleno entende-se o estádio em que ambas as esquadras têm ao seu dispor a globalidade das aeronaves que lhes foram atribuídas, num total de 39.

Até ao final de 2012 espera-se ter todos os aviões da 2ª Esquadra a operar, depois de terem sido gradualmente submetidos ao MLU e aos programas de reforço estrutural atrás mencionados. Contudo, nessa altura, haverá, por certo, aeronaves da 1ª Esquadra a passar pelos mesmos processos, pelo que o pleno absoluto não terá sido, ainda que por pouco, atingido.

No entanto, uma vez que se trata de intervenções escalonadas, a Esquadra 201 poderá continuar a cumprir as missões que lhe estão confiadas, mesmo que um pouco “desfalcada” e com um conjunto heterogéneo de aeronaves, em termos de capacidades operacionais.

Assumiremos, a título de simplificação, o pleno de 2013 em diante, ou seja, desprezaremos o “desfalque” resultante dos *upgrades* a que irão ser sujeitas as aeronaves da 1ª Esquadra, por desconhecermos o calendário e o escalonamento previsto para essas intervenções.



Assim sendo, a evolução do número de missões entre 2005 e 2013 é proporcional ao crescimento do número esperado de aeronaves disponíveis em cada um desses anos, resultando daqui que em 2013 tenhamos cerca do dobro das missões previstas para 2005.

A partir de 2013, o número de missões estabiliza, ainda que tenhamos decidido fazê-lo variar, de modo subtil, uma vez que a invariância do número de missões planeadas para 23 anos consecutivos é inverosímil.

Nesta sequência, admitindo que  $n$  representa o número de missões programadas para 2013, definimos as seguintes variações para os anos seguintes:

- 2014 =  $n - 50$ ;
- 2015 =  $n$ ;
- 2016 =  $n + 50$ ;
- 2017 =  $n$ ;
- e assim por diante.

O valor 50 corresponde a uma pequena percentagem do número de missões estimado para 2013 e foi por nós discricionariamente fixado de modo a produzir o desejado efeito de ligeira oscilação, entre um valor máximo e mínimo de voos que não perverte o equilíbrio entre a actividade operacional e o número de aeronaves disponíveis.

No que diz respeito à tipologia das missões voadas, manteve-se o mesmo perfil de 2005 a 2035, uma vez que não sabemos de que forma se irão distribuir os voos pelas diferentes metas operacionais, com a entrada ao serviço das aeronaves da 2ª Esquadra. Mantivemos, também, sempre inalterados os valores que servem de referência à geração pseudo-aleatória da duração de cada voo - neste caso, mais do que no anterior, fazê-lo é razoável, dado tratar-se de uma variável pouco flexível. De qualquer modo, tanto o perfil de missões, como os tempos médios considerados na determinação aleatória do IFT associado a cada descolagem são passíveis de fácil recalibragem em sede de futuras simulações, havendo todo o interesse em medir o impacto que alterações nestes domínios teriam no comportamento da frota de motores.

Os consumos de CCy e HS3 por hora de voo e por tipo de missão, bem como o número mínimo e máximo de aeronaves associado a cada objectivo operacional são, da forma como está construída a aplicação, os mesmos no período estabelecido para qualquer corrida de simulação. O elevado grau de estabilidade que caracteriza estes parâmetros determina, porém, que tal constância não se afigure distante do que realidade acontece.

## Motores

Carregámos a tabela T\_Motores\_Conf\_Situacao com 45 configurações completas, das quais apenas 22 são dadas como prontas. As restantes 23, em processo de transformação e, portanto, não prontas, foram colocadas num estado de “dormência”, entrando faseadamente ao serviço até 31 de Dezembro de 2011, ou seja, um ano antes de todas as células da 2ª Esquadra terem terminado os programas de actualização e reforço estrutural. Daqui resulta que nunca teremos mais de 45 motores completos em simultâneo - este máximo fica um pouco aquém do previsto pela DMA, mas adoptámos, uma vez mais, um critério conservador.

A tabela T\_Motores\_Hist\_Conf é inicializada com as 45 configurações atrás referidas, distinguindo-se as 22 primeiras das 23 restantes pela data de início de configuração que a cada uma delas se associa, respectivamente 01-01-2005 e datas posteriores que não ultrapassam 31-12-2011, encontradas de acordo com do escalonamento previsto pela Força Aérea para o processo, em curso, de transformação de motores.

## Módulos

Nas tabelas deste agregado é considerado o seguinte inventário de módulos:

- 52 *Fans*;
- 50 *FDT*;
- 50 *Cores*;
- 50 *Augmentors*;
- 50 *Gearboxes*.

São-lhes associados os valores historicamente acumulados de IFT, CCy e HS3.

No que concerne a respectiva situação inicial, cada um deles encaixa-se num dos seguintes casos:

- Não instalado e operacional: módulos *spare*;
- Instalado e não operacional: módulos integrados nas configurações dormentes;
- Instalado e operacional: módulos integrados nos 22 motores prontos no arranque.

No que toca o *Core*, as simulações são iniciadas com 48 conjuntos HPC-HPT formados e 2 *Cores* sem turbina de alta pressão no seu interior. Dessas 48 configurações, 22 fazem parte dos 22 motores prontos desde o arranque, 23 dos 23 motores “adormecidos” e as restantes 3 são *sparcs*.

São registadas 48 configurações históricas, numa lógica idêntica à atrás descrita para os motores, em que aos *sparcs* é atribuída a mesma data de início que se associou às 22 configurações prontas e instaladas. Por seu turno, as 23 configurações dormentes surgem ligadas às datas de activação dos motores em que estão instaladas.

### **Sub-Módulos**

São listadas 50 turbinas de alta pressão e faz-se-lhes corresponder os consumos históricos acumulados de IFT, CCy e HS3.

A sua situação tem, como está bom de ver, de encaixar-se na dos *Cores*. Assim sendo, temos 48 HPT instaladas, das quais apenas 25 estão operacionais (22 instaladas em *Cores* que integram configurações prontas e 3 instaladas em *Cores* sobressalentes), e 2 operacionais e não instaladas, guardadas como *sparcs*. As 23 restantes integram conjuntos dormentes.

### **Inspecções Programadas**

As inspecções obrigatórias estabelecidas, à partida, para cada órgão são inscritas nas tabelas *T\_Item\_Insp\_Regras\_Contador* e copiadas, antes do arranque da simulação, para as tabelas *T\_Item\_Insp\_Regras\_Contador\_0*, cuja função é memorizar a situação existente na data de arranque. Depois, em cinco datas pré-definidas - 01 de Janeiro de 2010, de 2015, de 2020, de 2025 e de 2030 - o conteúdo das tabelas *T\_Item\_Insp\_Regras\_Contador\_1* a *T\_Item\_Insp\_Regras\_Contador\_5* é, respectiva, sucessiva e automaticamente, sobreposto ao da tabela principal (*T\_Item\_Insp\_Regras\_Contador*), permitindo ajustar a informação relativa às intervenções programadas, em particular extinguir ou acrescentar inspecções e aumentar o potencial associado a cada item, módulo ou sub-módulo.

Neste caso, pusemos termo às inspecções em vigor para o *Augmentor*, para a *Fan* e para a FDT, que passam a ser sujeitos somente a *overhaul*, a partir de 2010, data em que todos esses módulos já terão cumprido as T.C.T.O. que os libertam de tais intervenções programadas. Aplica-se a mesma lógica de memória e sobreposição às tabelas *T\_Item\_Insp\_Tempos*, nas quais se registam os tempos médios de paragem decorrentes de cada tipo de imobilização programada e que têm de ajustar-se, nas mesmas datas, às modificações calendarizadas de que são alvos as tabelas *T\_Item\_Insp\_Regras\_Contador*.

Por exemplo, a supressão de uma intervenção nesta tabela obriga-nos a eliminar na primeira os dados correspondentes.

Finalmente, e no que concerne os custos de regeneração de módulos e sub-módulos, verifica-se a sua actualização, em 5%, de 5 em 5 anos, nas mesmas datas pré-definidas atrás enunciadas, uma vez mais por intermédio do método de memória e sobreposição.

### **Avárias e Reparações**

Neste domínio, limitámo-nos a estabelecer a frequência das avarias, por nível de gravidade e tipo de módulo, e os tempos de imobilização resultantes das correspondentes paragens inopinadas.

### **Históricos de Paragem**

Embora a vocação das tabelas *T\_Item\_Hist\_Stops* seja primordialmente a de guardar as paragens geradas pelo sistema, elas são utilizadas no arranque com o intuito de permitir a activação calendarizada dos atrás referidos órgãos dormentes, aos quais se atribui um tempo de imobilização, que, somado à data inicial, os torna disponíveis só no momento desejado e nunca antes.

A tabela *T\_Modulos\_HPC\_Standby* alberga os 2 *Cores* que, tendo o potencial esgotado, aguardam “vazios” por uma HPT em igual estado, para que juntos possam seguir para *overhaul*.

## **3. Resultados Finais**

### **3.1. Apreciação Geral dos Resultados Obtidos**

#### **3.1.1. Relatório de Funcionamento da Ferramenta de Simulação**

A ferramenta de simulação demonstrou cumprir todos os requisitos de funcionamento exigidos, gerando resultados simulados coerentes entre si e com a realidade.

O único comportamento indesejável registado prende-se com a formação de conjuntos não operacionais HPC-HPT, com destino à regeneração.

De facto, o programa promove, tal como acontece no mundo real, a sincronia dos momentos de *overhaul* de cada configuração formada por um *Core* e uma turbina de alta pressão, através da permissão para antecipar a regeneração do HPC em relação à da HPT e vice-versa, mesmo quando aqueles estão consideravelmente afastados.

Se, ainda assim, o programa não conseguir enviar uma dada configuração HPC-HPT para *depot* conjunto, é forçado a desfazê-la, daí resultando duas situações possíveis:

- Caso estejamos perante um *Core* esgotado e uma HPT com potencial, o HPC entra em *standby*, aguardando uma HPT que tenha atingido o TLP, para juntos serem regenerados, como já se havia explicado;
- Se, por outro lado, se estiver perante uma situação inversa, a turbina segue individualmente para *overhaul* e o *Core* fica também em *standby*, mas, desta feita, à espera ser emparelhado com uma HPT operacional, a fim de formarem uma configuração susceptível de integrar um motor.

Ora, daqui resultou, em todas as corridas, que, se por um lado o programa propiciou a concomitância das regenerações de 41 configurações, que, uma vez sincronizadas, não mais se desfizeram, por outro, dissociou, para sempre, 9 *Cores* esgotados de 9 HPT operacionais que, impedidos de formar par com, respectivamente, HPT esgotadas e *Cores* operacionais, ficam à espera de ser “desbloqueados” por tempo indeterminado.

Na realidade, o impasse vencer-se-ia por decisão do Gestor de Frota, através de uma solução menos linear, logo mais difícil de simular.

Uma vez que seria impensável não considerar na nossa análise os 9 *Cores* bloqueados, decidimos encaixá-los nos resultados finais, projectando as datas previstas dos *overhauls* subsequentes ao momento do bloqueio, bem como os respectivos custos, se o seu perfil de utilização fosse semelhante ao das configurações sincronizadas. Esta é uma forma pouco elegante de solucionar o problema, pelo que há todo o interesse em procurar resolvê-lo, ao nível da programação. Para tal será necessário solicitar, uma vez mais, a colaboração do Gestor de Frota, que poderá sugerir formas coerentes de vencer esta insuficiência da ferramenta de simulação.

### **3.1.2. Estatísticas Mais Relevantes**

Neste ponto iremos apresentar as estatísticas que nos parecem de maior interesse para atestar empiricamente a aderência dos resultados à realidade. Os valores apresentados derivam da consolidação dos *outputs* obtidos nas 10 corridas de simulação.

### Número Médio de Configurações por Número de Série de Motor no Período Simulado (2005 - 2035)

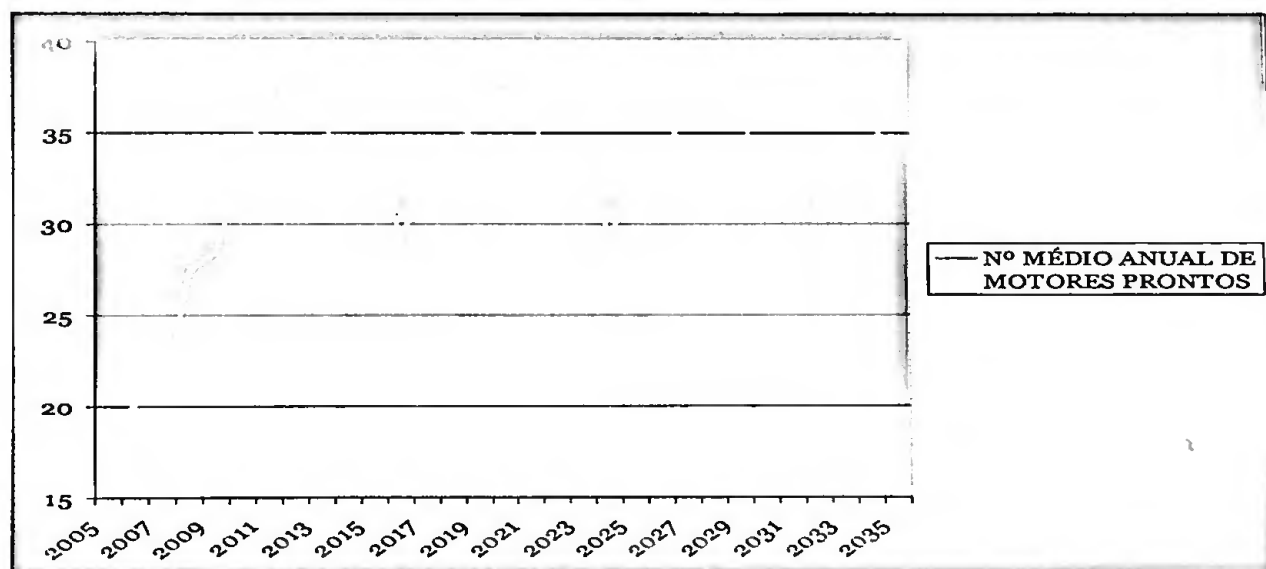
Nos 31 anos recriados, cada número de série de motor teve, em média, 20,56 configurações.

### Número Médio de Configurações por Número de Série de Módulo no Período Simulado (2005 - 2035)

Entre 2005 e 2035, cada número de série de módulo integrou, em média, 18,4 configurações.

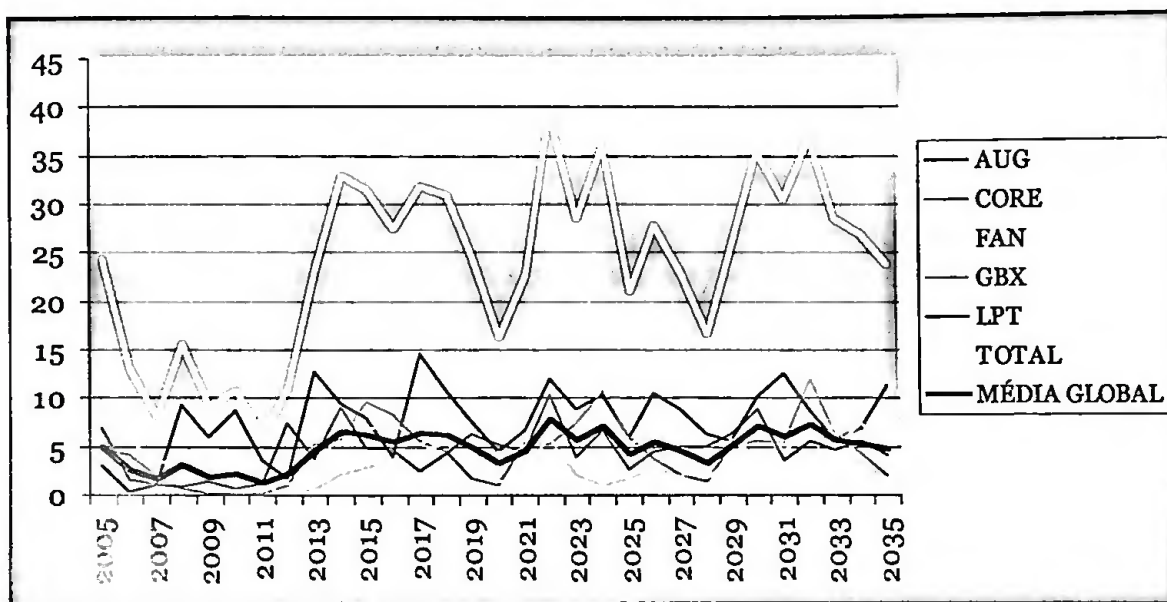
### Evolução do Número Médio Anual de Motores Prontos

Gráfico 2 - Evolução do Número Médio Anual de Motores Prontos



O número de motores prontos é sensível às paragens registadas, em particular as que decorrem de *overhauls*, evoluindo segundo uma tendência quase inversa à do historial médio de regenerações, a seguir apresentado. Sublinhe-se, porém, que não só os *overhauls* determinam o número de completos disponíveis - os restantes tipos de intervenções, quer digam respeito ao motor, aos módulos ou aos sub-módulos, programadas ou inopinadas, também o fazem, ainda que com um impacto menor, visto traduzirem-se em interrupções mais rápidas.

**Gráfico 3 - Perfil Médio Global de Overhails**



### Taxa de Cumprimento de Missões

A taxa de cumprimento das missões foi de 100% - todas as missões foram, em cada uma das 10 corridas, realizadas de acordo com o planeamento gerado pelo VBA, isto é, não houve, por falta de motores prontos, missões canceladas ou parcialmente cumpridas, caso em que o número de aeronaves envolvidas seria inferior ao necessário.

### Consumo Médio Anual de IFT, CCy e HS3

**Quadro 13 - Consumo Médio Anual de IFT, CCy e HS3**

Item	IFT	CCy	HS3
<i>Fan</i>	190,60	549,43	35,30
FDT	195,68	563,93	36,23
<i>Core</i>	194,64	560,79	36,03
<i>Augmentor</i>	192,00	553,61	-
<i>Gearbox</i>	195,45	563,30	-
Média <i>Fan</i> - FDT - <i>Core</i>	193,64	558,05	35,85
Média Todos os Módulos	193,67	558,21	-
Motor	196,01	565,01	36,30

Como se observa, todos os consumos associados aos módulos estão abaixo dos que ao motor dizem respeito, como de resto não poderia deixar de ser, uma vez que há mais módulos, de qualquer um dos tipos, do que motores - temos, como é sabido, 52 *Fans*, 50 *FDT*, 50 *Cores*, 50 *Augmentors* e 50 *Gearboxes*, contra um máximo de 45 configurações completas.

Por outro lado, espera-se que a proporção entre aeronaves e motores varie sensivelmente entre 85 e 90%, de 2005 a 2035, o que quer dizer que, nesse período, se espera ter um número de motores 10 a 15% superior ao de células. Tendo em conta esta lógica e os valores do quadro anterior, concluímos que, na simulação, cada avião voou, grosso modo, de 218 a 231 horas de voo por ano, ou seja, um pouco acima das 200 horas de voo, consideradas para efeitos de cálculo aproximado.

Admitindo que, em termos dos *inputs* fornecidos pelas tabelas ao VBA, tanto o número de missões realizadas no período como a duração média de cada voo são verosímeis e sendo estes os únicos factores capazes de, quer na realidade, quer na simulação, determinar a quantidade total de horas de voo consumidas, assumimos que, de facto, se voará, em média, mais de 200 horas por ano e por aeronave.

Assim sendo, temos afinal que:

- O fim da vida útil da maioria das células afectas à 1ª Esquadra será alcançada por volta de 2029, se a verdadeira média de horas de voo anuais de cada aeronave estiver mais próxima de 231, e por volta de 2031, se a verdadeira média de horas de voo anuais associada a cada aeronave estiver mais próxima de 218;
- O fim da vida útil de pelo menos parte das células afectas à 2ª Esquadra será alcançada por volta de 2027, se a verdadeira média de horas de voo anuais de cada aeronave estiver mais próxima de 231, e por volta de 2028, se verdadeira a média de horas de voo anuais associada a cada aeronave estiver mais próxima de 218.

Em suma, embora a data concreta da extinção da frota de F-16 *Fighting Falcons* seja, na verdade, e como quase tudo o resto, uma incógnita, dado o número de variáveis em causa, a simulação alerta-nos para o facto de se dever ter em conta um pouco mais de 200 horas de voo anuais por aeronave nas estimativas grosseiras que neste âmbito se decida efectuar.



## Número Médio Anual de Paragens Programadas e Não Programadas

Quadro 14 - Número Médio Anual de Paragens Programadas e Não Programadas

MOTORES	MÓDULOS	SUB-MÓDULOS
216,52	38,51	0,61

Nas 10 corridas de simulação, os motores pararam, em média, 216,52 vezes por ano, os módulos, independentemente do tipo, 38,51 e os sub-módulos 0,61.

## Número Médio Anual de Avarias (Módulos)

Quadro 15 - Número Médio Anual de Avarias

G1	G2	G3
3,55	2,48	1,77

Cada tipo de módulo registou anualmente e em média, 3,55 avarias ligeiras, 2,48 avarias de gravidade intercalar e 1,77 avarias graves.

A partir daqui podemos calcular um valor aproximado do MTBF da frota de motores:

$$\text{MTBF} = \frac{\Sigma \text{ Tempos de Funcionamento no Intervalo}}{\text{Número de Avarias no Intervalo}}$$

$$\text{MTBF} = \frac{196,01 \text{ IFT (Média Anual)}}{(3,55 + 2,48 + 1,77) \text{ N}^\circ \text{ Médio Anual de Avarias}} = 25,13 \text{ IFT}$$

Este resultado permite-nos concluir que, na simulação, os motores pararam, em média, a cada 25,13 horas de voo para reparação. Este valor, *per si*, não tem qualquer significado especial, mas poderá servir-nos de referência em sede de simulações futuras.

Não calcularemos o valor do MTTR e da disponibilidade por motivos de confidencialidade.

## **Número de Acidentes**

Não foram registados quaisquer acidentes conducentes à perda de motores nas 10 corridas de simulação.

### **3.2. Análise dos Resultados com Vista ao Estudo da Descontinuação da Frota de Motores**

#### **3.2.1. Metodologia de Análise**

A consolidação dos resultados das 10 corridas de simulação permitiu-nos extrair alguns valores médios, como acabámos de ver. Porém, cedo se tornou claro que o estudo da descontinuação da frota teria de ser feito com base num caso concreto. Essa consolidação traduz-se na perda, entre outras informações, dos números de série dos itens considerados e das datas precisas dos eventos, o que, só por si, inviabilizaria os objectivos do nosso trabalho.

Assim sendo, calculou-se, corrida a corrida e por tipo de módulo, o número de *overhauls* registado em cada ano e determinou-se a média global. Em seguida, mediram-se os desvios dos resultados parciais em relação àquela média, com o intuito de encontrar a corrida que mais se aproximava do cenário consolidado. Os quadros subjacentes a esses cálculos constam do Anexo 3.

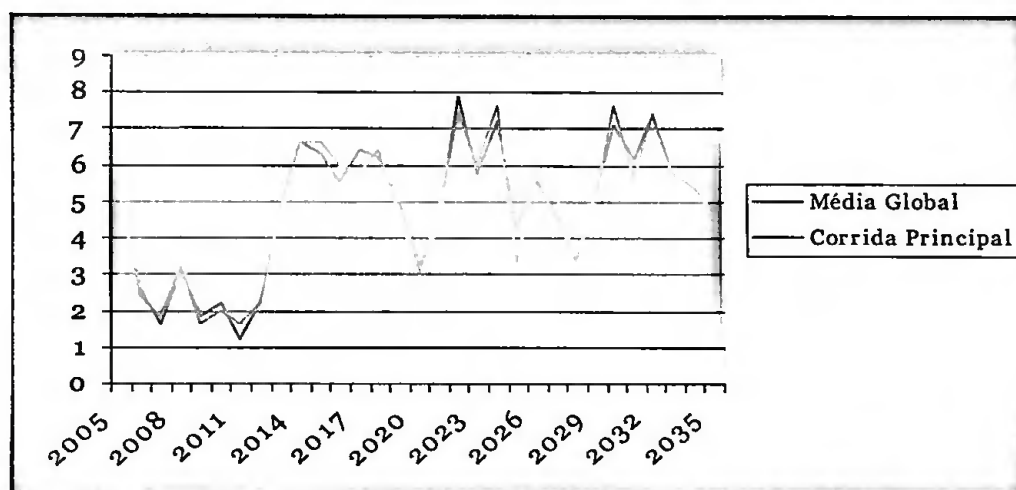
A busca da corrida mais aproximada da média, à qual chamaremos corrida principal ou corrida modelo, fez-se apenas com base no historial de regenerações, uma vez que as conclusões do nosso estudo dependem, em exclusivo, dessa vertente da simulação. Futuramente seria desejável escolher a corrida modelo a partir de um conjunto mais alargado de corridas, o que desta feita não aconteceu em virtude de tal se ter revelado incompatível com os prazos impostos para a realização do trabalho. Fazê-lo refinaria os resultados agora obtidos.

Contudo, até que ponto será legítimo basear o nosso estudo numa só corrida? Esta abordagem parece-nos aceitável por uma razão, que entendemos de peso: assegurámo-nos de que a nossa análise incide sobre a corrida que, de facto, mais se assemelha à “corrida média” e admitimos que os enviesamentos daí decorrentes são negligenciáveis.

De facto, em termos nacionais, não há grandes folgas entre os recursos e as necessidades, pelo que o leque de comportamentos associáveis à frota de motores e, por consequência, aos elementos que a compõem, é limitado. As corridas são, num caso como este, semelhantes entre si, como se pode comprovar observando o Anexo 3.

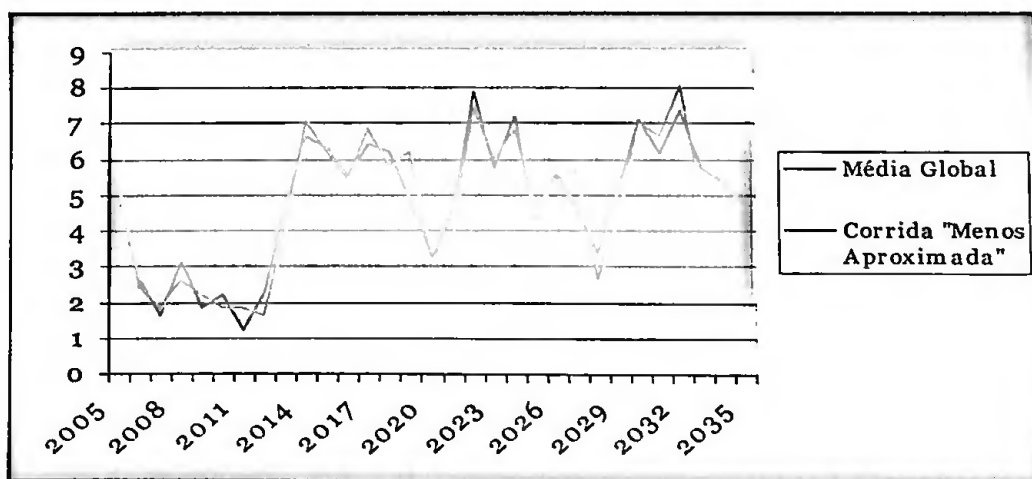
Paralelamente, o gráfico que se segue, através do qual se compara o número médio, global e anual, de regenerações registadas no cenário consolidado com o número médio anual de regenerações verificadas na corrida principal, ajuda a corroborar a razoabilidade do método de análise que adoptámos.

**Gráfico 4 - Corrida Consolidada vs Corrida Principal**



Em contrapartida, a corrida cujo perfil anual de *overhauls* mais se distancia da média tem, relativamente a ela, o seguinte aspecto:

**Gráfico 5 - Corrida Consolidada vs Corrida “Menos Aproximada”**



Como se comprova, mesmo no caso da corrida que mais se afasta da média, há, em relação a esta, um elevado grau de similitude.

Mais do que obter a corrida principal a partir de um maior número de simulações, dever-se-á, no futuro, encontrar várias corridas principais e construir os planos de descontinuação adiante apresentados para cada uma delas, a fim de chegar a planos médios truncados. Não o fizemos, desde já, porque estamos em crer que o custo-benefício de tal empreitada é reduzido, quando comparado com o expediente usado.

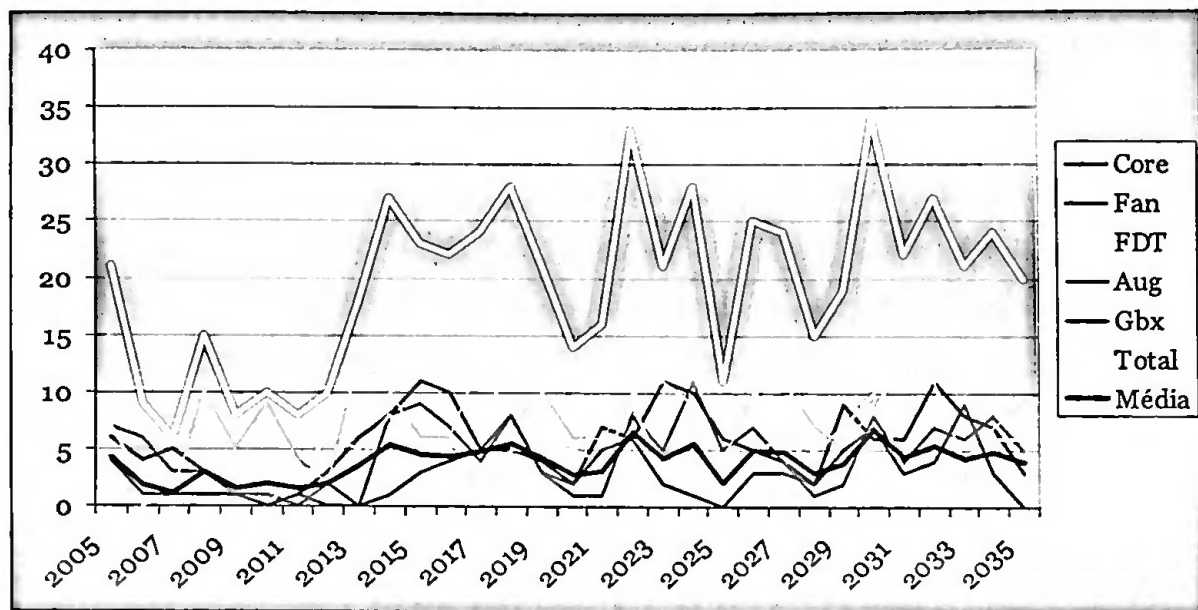
O benefício traduzir-se-ia em resultados mais fiáveis. O custo medir-se-ia em tempo. De facto, as corridas de simulação são bastante longas e a construção de cada plano, embora não muito complexa, é trabalhosa e um pouco demorada. Nada disto se coadunava com o *deadline* estabelecido para terminar o estudo, sobretudo perante a convicção de que os resultados finais não seriam substancialmente diferentes dos que obtivemos, isto, claro está, sem prejuízo de uma subsequente confirmação.

Para concluir a apresentação dos critérios metodológicos seguidos, importa esclarecer que todo o raciocínio é desenvolvido, como veremos, em função do módulo do *Core*, dada a relevância dos custos decorrentes da sua regeneração, que superam, de longe, como sabemos, os encargos suportados a título de todos os outros *overhauls*.

### **3.2.2. Outputs**

Passemos, por fim, à análise dos *outputs* obtidos no seio da corrida principal. Os gráficos que se seguem ilustram as regenerações verificadas num cenário de continuidade entre 2005 e 2035, isto é, sem se considerar, por enquanto, quaisquer medidas de descontinuação.

Gráfico 6 - Perfil Global Ajustado<sup>12</sup> de *Overhauls*



Cada série representada no gráfico acima traduz o número de regenerações realizadas em cada ano. As séries “Total” e “Média” correspondem, respectivamente, à soma e à média de todos os *overhauls* contabilizados numa base anual. Não se identificam, em termos globais, épocas bem definidas de regeneração, não obstante os picos observáveis na série “Total” em 2014, 2018, 2022, 2025, 2030 e 2032.

De seguida iremos apresentar os gráficos referentes aos *overhauls* de cada módulo, assinalando-se, em cada um deles, as três fronteiras de descontinuação propostas: 2025 (1), 2030 (2) e 2035 (3). Começemos pelos módulos centrais - *Core*, *Fan* e *FDT*.

São indicados, correspondentemente, por meio de setas laranja e púrpura, os períodos de 8000 CCy e de 4000 CCy que antecedem cada fronteira de descontinuação, cuja duração se calculou dividindo os potenciais médios pelos consumos médios anuais de CCy verificados no seio da corrida modelo. Essas setas, através do ponto que marca a sua origem, ajudar-nos-ão, como veremos, a determinar o momento por volta do qual deverá ser iniciado o processo de retirada de serviço de cada tipo de módulo, por forma a respeitar os horizontes de extinção estabelecidos.

Nos gráficos que se seguem, as séries “Módulo\_8000” e “Módulo\_4000” representam os grandes e os pequenos *overhauls* efectuados em cada ano e a série “Módulo\_Total” resulta da soma de ambas.

<sup>12</sup> O termo “ajustado” significa, aqui, que se incluíram os *overhauls* dos 9 *Cores* bloqueados, acrescentados manualmente aos resultados da simulação.

Começemos por ver como se comporta o *Core*, em matéria de regenerações.

Gráfico 7 - Perfil Não Ajustado de *Overhauls* do *Core*

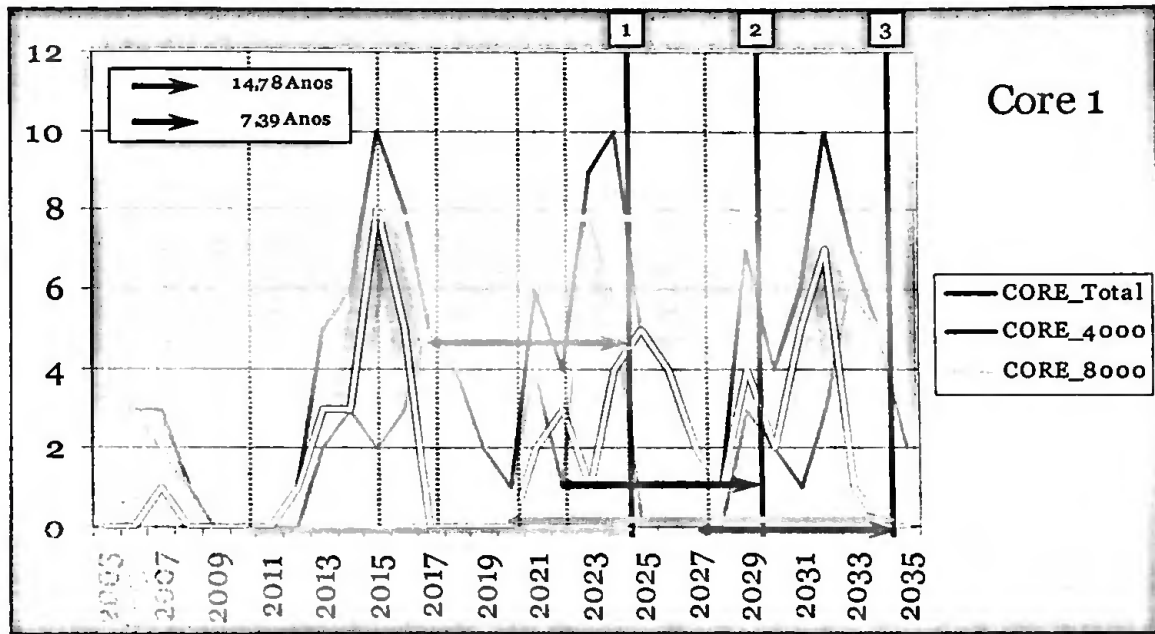
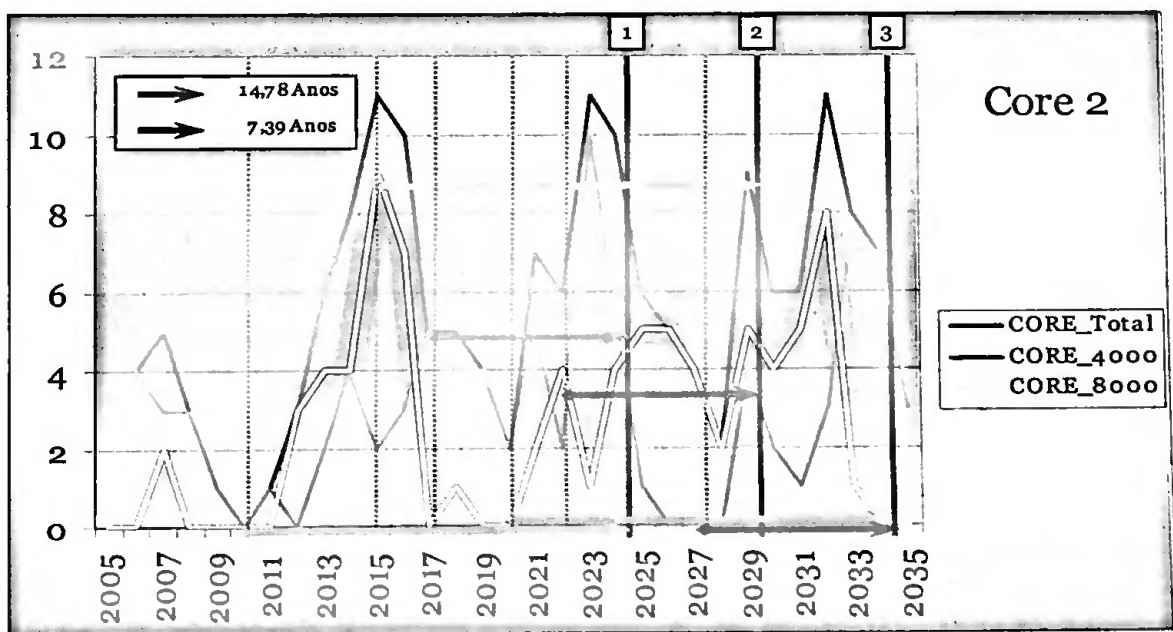


Gráfico 8 - Perfil Ajustado de *Overhauls* do *Core*



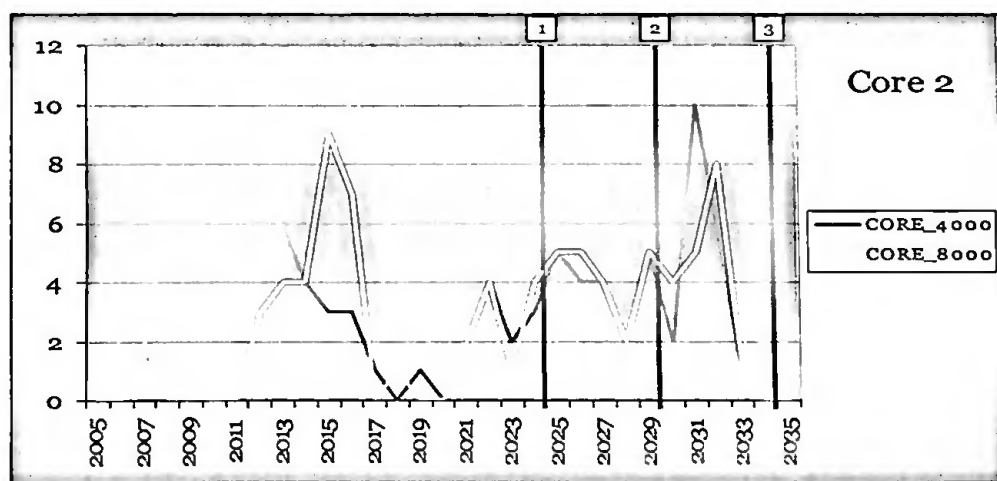
No Gráfico 8 é possível distinguir, através da linha azul, três grandes épocas de regeneração, denunciadas pelos picos registados em 2015, 2023 e 2032, anos em torno dos quais se regista a esmagadora maioria dos *overhauls* realizados no período em análise.

Deixaremos, desde já, para trás os resultados que não reflectem os *overhauls* dos *Cores* bloqueados - doravante consideraremos, apenas, os *outputs* ajustados, ilustrados no segundo dos dois gráficos atrás apresentados. Como explicámos, deixar à margem a regeneração de 9 *Cores* deturparia sobremaneira as conclusões do nosso estudo.

Antes de avançarmos, aproveitaremos estes primeiros gráficos para explicar melhor a utilidade das supracitadas setas. Tome-se como exemplo a fronteira de descontinuação referente a 2025, no gráfico anterior. A seta laranja, que junto às abcissas, aponta para esse momento, inicia-se em 2010, o que significa que todos os grandes *overhauls* posteriores a essa data deverão ser cancelados, de maneira a alcançarmos o ano de 2025 com o potencial de todos os *Cores* esgotado. O mesmo se aplica, com os devidos ajustamentos, à seta púrpura, com início em 2017. As setas, ainda que meramente indicativas, facilitam, como referimos, a determinação do momento a partir do qual a descontinuação deverá ser desencadeada.

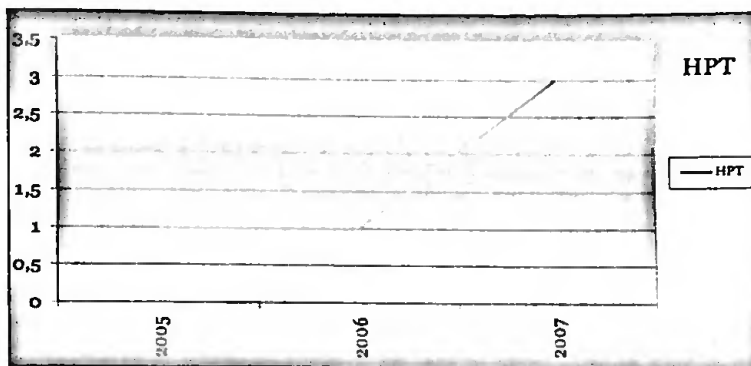
Do deslizamento, ao longo de um período de 8 anos, da série que representa as regenerações menores, resulta uma quase coincidência com a série ilustrativa dos *overhauls* maiores, o que nos ajuda a confirmar a alternância verificada entre um e outro tipos de regeneração. De facto, cerca de 7,39 anos depois de serem submetidos a uma pequena regeneração, os mesmos módulos entram em grande *overhaul*.

Gráfico 9 - Perfil de *Overhauls* do *Core* com Desfasamento da Série dos 4000 CCy



No que concerne o sub-módulo do *Core*, ou seja, a HPT, a simulação produziu 5 *overhauls* individuais, cujo volume e custos serão, sempre que aplicável, incluídos nos gráficos e nos cálculos subsequentes. Na simulação, eles distribuíram-se no tempo da seguinte forma:

Gráfico 10 - Perfil de *Overhauls* da HPT



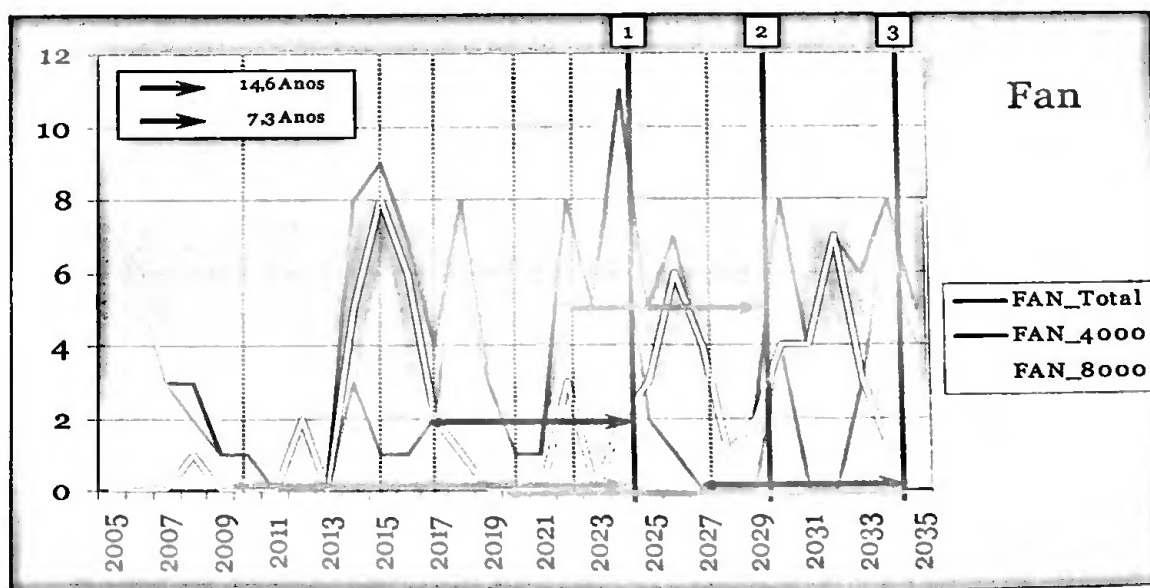
Dois motivos explicam que este tipo de regeneração isolada não tenha tornado a verificar-se mais tarde:

- O facto do sistema ter conseguido sincronizar as regenerações de 41 pares HPC-HPT, o que implicou que não tornassem a separar-se;
- A incapacidade da ferramenta em conciliar os restantes 9 *Cores* esgotados com as 9 HPT *spare*, que culminou, desde cedo e como sabemos, no fim da sua actividade operacional.

Tal vicissitude levou-nos, como já explicámos, a encaixar posterior e manualmente esses 9 conjuntos de alta pressão no contexto dos *outputs* obtidos, sob pena dos resultados do estudo se afastarem bastante do que se espera ser a realidade.

No caso da *Fan*, as principais épocas de regeneração coincidem com os períodos 2015-2018, 2022-2026 e 2030-2034.

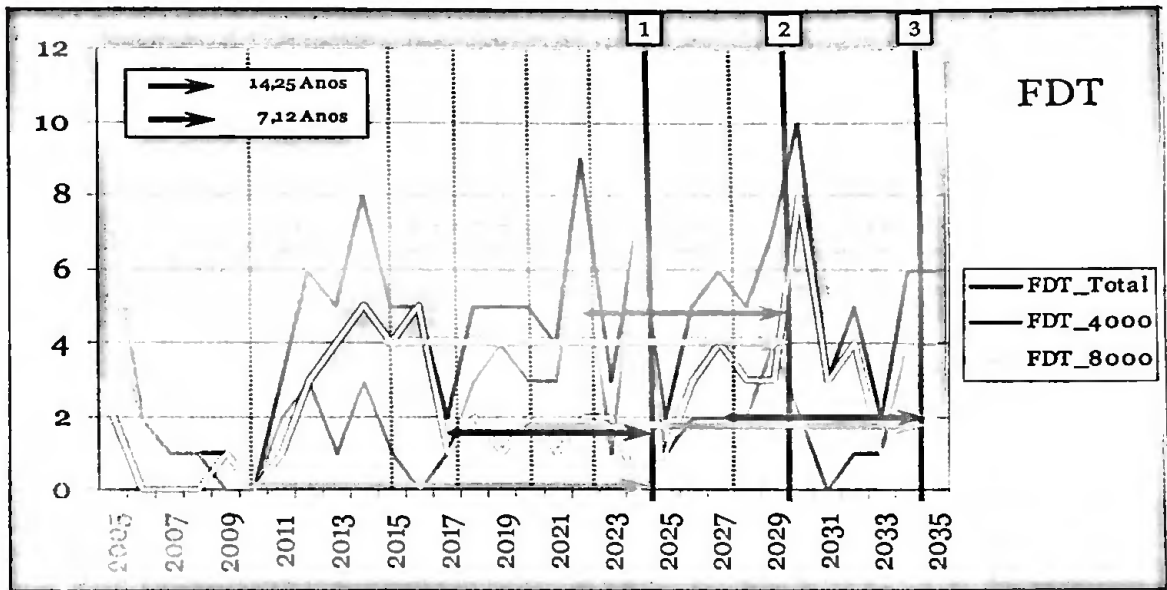
Gráfico 11 - Perfil de *Overhauls* da *Fan*





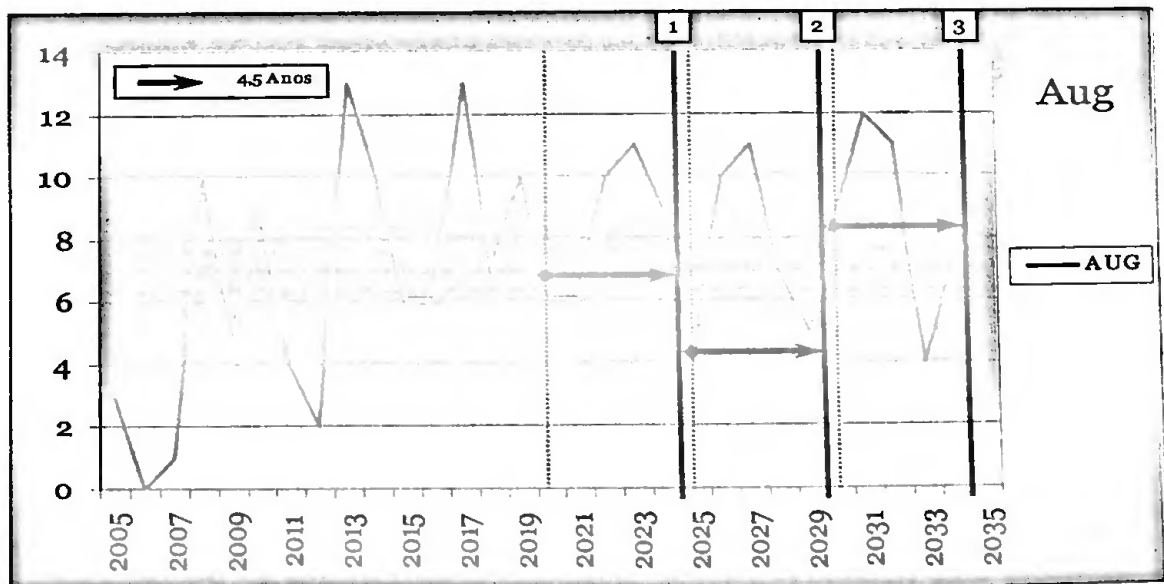
No que toca à FDT, observam-se três momentos centrais em redor dos quais ocorreu a maioria das regenerações: 2014, 2022 e 2030.

Gráfico 12 - Perfil de *Overhauled* da FDT



Relativamente ao *Augmentor* e à *Gearbox*, a leitura dos gráficos é ainda mais simples, dado efectuarem apenas um tipo de *overhaul*. Também aqui o comprimento das setas representa um intervalo de tempo calculado pelo quociente da divisão dos potenciais médios pelo consumo médio das respectivas unidades de monitorização.

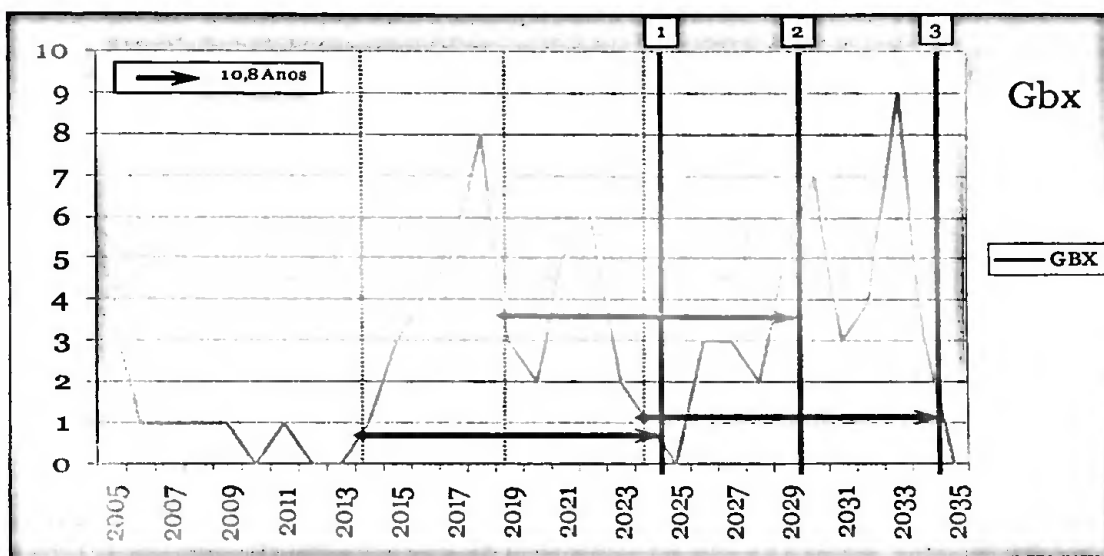
Gráfico 13 - Perfil de *Overhauled* do Augmentor



A elevada frequência com que são realizadas as regenerações do *Augmentor* impede, nesse domínio, a identificação de épocas dominantes.

Finalmente, distinguem-se, no que à *Gearbox* diz respeito, quatro épocas principais de regeneração, cujo pico se regista nos seguintes anos: 2018, 2022, 2030 e 2033.

Gráfico 14 - Perfil de *Overhauls* da *Gearbox*



### 3.2.3. Alternativas de Descontinuação

Os caminhos da descontinuação da frota de Motores F100 foram, no âmbito das opções em epígrafe, encontrados seguindo cinco critérios.

Em primeiro lugar, e como já se referiu, fez-se do *Core* o *pivot* do estudo, considerando a relevância dos custos da sua regeneração face aos dos restantes módulos, reflexo da importância que este órgão assume no completo.

Em segundo, procurou-se, por ajustamentos sucessivos, cancelar o maior número possível de *overhauls*, quer grandes, quer pequenos, por forma a alcançar os seguintes objectivos:

- No caso do *Core*, não haver módulos com potencial no ano que marca a fronteira de descontinuação - pretende-se, assim, rentabilizá-los ao máximo;
- No caso dos restantes módulos, assegurar um número anual de órgãos disponíveis que, sendo mínimo, não fique abaixo do de *Cores*.

O cancelamento de *overhauls* traduz-se, naturalmente, na retirada de serviço dos módulos cuja regeneração é dispensada.

Em terceiro lugar, considerou-se, em cada plano, como momento indicativo para o desencadeamento do processo de *phase-out* o que nos é apontado pelo início das setas laranja e púrpura, visíveis nos gráficos atrás apresentados, como, de resto, já havíamos referido.

No caso do *Augmentor* e da *Gearbox*, os ajustamentos começam antes dos momentos de referência indicados, pelas setas, nos respectivos gráficos, uma vez que só assim se consegue que a quebra no número destes módulos acompanhe de perto a quebra verificada no número de *Cores* disponíveis - de contrário, fazer-se-iam alguns *overhauls* desnecessários.

Em quarto lugar, quantificaram-se os custos evitados com os *overhauls* cancelados, de modo a permitir o cálculo da poupança face a um cenário de continuidade.

Em quinto e último lugar, assumimos que a descontinuação dos *Cores* coincide com a descontinuação das HPT que os integram.

Os critérios definidos visam combinar a redução de custos resultante do cancelamento de *overhauls* com a máxima rentabilização do potencial dos *Cores*. Daqui resulta, que o ritmo de decréscimo dos módulos e, por inerência, dos motores disponíveis, seja um resultado não controlado dos critérios traçados. Assim sendo, terá de ser, *a posteriori*, avaliado se o número decrescente de motores ao serviço a partir do início do processo de *phase-out* é compatível, não só com os objectivos operacionais a delinear para esse período, como também com o calendário de extinção das aeronaves, que desconhecemos.

Analisemos, então, os planos de descontinuação da frota de motores. Os Quadros 16 a 19, ajustados a partir da solução de continuidade (linhas "OH Realizados"), foram concebidos de forma a reflectir, simultaneamente, as regenerações que, por conta do *phase-out*, se deixam de fazer (linhas "OH Cancelados"), o decréscimo nos custos daí decorrente (linhas "Ajustamento de Custos") e o número de módulos disponíveis em cada ano (última linha de cada quadro).

O aspecto determinante na construção dos quadros de descontinuação de cada um dos módulos é a identificação das sobreposições ou *overlaps* que, em matéria de *overhauls*, se verificam - vejamos em que consistem.

Um *overhaul* cancelado traduz-se num módulo “perdido”, visto que o mesmo não pode continuar a operar com o potencial esgotado. Uma vez que as regenerações se repetem, como sabemos, ciclicamente, anos mais tarde estaríamos perante um novo *overhaul* a esse mesmo módulo - é aqui que reside a situação de sobreposição, que exige da nossa parte uma especial atenção. Por um lado, não podemos, nessa data posterior, contabilizar uma nova perda, visto tal contabilização já ter sido efectuada aquando do primeiro cancelamento. Por outro, temos de descontar os custos inerentes aos *overhauls* anulados, quer por altura da primeira suspensão, quer em todos os subsequentes anos em que viessem a repetir-se.

As sobreposições de *overhauls* são, nos planos de descontinuação, assinaladas em cores diferentes das dos respectivos fundos, mas somente no que ao *Core*, à *Fan* e à *FDT* diz respeito. Em cada quadro serão usadas duas cores distintas da predominante se se verificarem, em simultâneo, situações de cancelamento em que tanto *overhauls* grandes como pequenos são alvo de sobreposição posterior e, só uma, se se registarem apenas sobreposições relativas às grandes regenerações. No que ao *Augmentor* e a *Gearbox* diz respeito, optámos por não assinalar os *overlaps*, uma vez que a elevada frequência com que se verificam tornaria os respectivos quadros desnecessariamente confusos.

O expediente de ajustamento de *overhauls* com vista à planificação do *phase-out* de *Cores*, *Fans* e *FDT* é diferente do que usámos para os restantes módulos, como explicámos. As diferenças justificam-se quer porque as regenerações destes últimos são de tipo único, quer porque a sua retirada de serviço tem de começar antes do início do período de descontinuação, assinalado pelas atrás mencionadas setas púrpura, sob pena de não se reduzirem os custos tanto quanto possível.

De facto, se o *phase-out* do *Augmentor* e da *Gearbox* arrancasse apenas no momento assinalado pelas setas, teríamos um indesejável excedente destes módulos em relação ao *Core*, cujo número havia começado a decrescer muito antes.

Embora nos pareça inadequado explicar, com maiores detalhes, os procedimentos subjacentes à construção dos planos, apraz-nos esclarecer que:

- O processo de *phase-out* mais linear é o do *Core*, visto assumir o papel de *pivot*, significando que começamos por cancelar as regenerações mais distantes da fronteira de extinção em causa (as grandes regenerações), para depois nos ocuparmos das mais próximas (as pequenas regenerações), identificando os *overlaps* verificados;

- No que concerne à *Fan* e à FDT, embora comecemos por seguir a mesma lógica, o processo é um pouco mais complexo, uma vez que, na tentativa de aproximar o respectivo decréscimo ao do *Core*, podemos, por vezes cancelar, pequenos *overhauls* temporalmente afastados da fronteira de descontinuação;
- Os projectos de *phase-out* do *Augmentor* e da *Gearbox* são produto de ajustamentos sucessivos, ano a ano, cujos meandros nos absteremos de descrever;
- Em cada plano, o ano que marca o arranque da descontinuação para o *Core* é o primeiro, abrangido, no respectivo gráfico, pela seta laranja, em que se registre um número de regenerações superior a zero;
- Para os restantes módulos, a descontinuação inicia-se o mais cedo possível, respeitando-se, porém, a regra que impõe que a sua disponibilidade anual não seja inferior à do *Core*;
- Nos quadros de *phase-out*, assinalámos a itálico e com uma cor diferente os *overhauls* que, estando contidos no intervalo de tempo que medeia entre o início e o fim do processo de descontinuação, não são passíveis de cancelamento;
- Os valores envolvidos por formas ovaladas servem para identificar sobreposições parciais, ou sejam, as situações em que só parte das regenerações verificadas num determinado ano se irão repetir mais tarde, os casos em que nem todos os *overhauls* ocorridos num determinado ano correspondem à repetição de intervenções já canceladas ou, ainda, as situações em que o número de sobreposições posteriores é maior do que o número de novos cancelamentos, em determinado ano - é o que se verifica, excepcionalmente, no Plano 1, no qual se observa que, em 2017, no que à *Fan* concerne, embora só tenha havido um OH\_8000 cancelado nessa data, visto que o outro estava já sem efeito por força de uma sobreposição anterior, ambos são alvo de *overlap* subsequente;
- Embora seja mais habitual verificarem-se, por cada número de série, apenas duas regenerações no período de *phase-out* considerado, casos há em que se registam três, o que resulta em duplas sobreposições.

Comecemos pela análise do plano de descontinuação mais abrangente, ou seja, o que se reporta a 2035.

**Quadro 16 - Plano 3 - Descontinuação da Frota Até 2035**

		Cenário 3 - Frota Descontinuada em 2035														
		Quadro de Cancelamento de OHS														
		2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Cores (50)	OH_8000 Cancelados	2	4	1	4	5	5	4	2	5	4	5	8	1	0	0
	OH_8000 Realizados	2	4	1	4	5	5	4	2	5	4	5	8	1	0	0
	Ajustamento de Custos	2	4	-1	4	5	5	4	2	5	4	5	8	1	0	0
	OH_4000 Cancelados	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	OH_4000 Realizados	5	2	0	6	5	6	0	0	4	2	1	3	7	7	3
	Ajustamento de Custos	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	2	1	-3	-7	-7	3
Totais		48	44	43	39	34	29	25	23	18	14	9	1	0	0	0

		Cenário 3 - Frota Descontinuada em 2035														
		Quadro de Cancelamento de OHS														
		2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Fans (52)	OH_8000 Cancelados	0	3	0	2	3	6	3	4	1	2	4	4	2	0	0
	OH_8000 Realizados	0	3	0	2	3	6	4	1	2	4	4	7	3	1	1
	Ajustamento de Custos	0	-3	0	-2	-3	-6	-1	-1	-2	-1	-1	-7	-3	-1	-1
	OH_4000 Cancelados	0	0	0	6	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	OH_4000 Realizados	2	5	5	9	2	1	0	0	0	4	0	6	3	7	4
	Ajustamento de Custos	0	0	0	-6	-2	1	0	0	0	-4	0	0	-3	-7	-4
Totais		52	49	49	41	36	29	25	24	22	18	14	12	12	11	11

Para facilitar a leitura dos planos, no que ao *Core*, à *Fan* e a FDT concerne, vejamos como interpretar a simbologia empregue, usando como exemplo os quadros apresentados acima. Esta simbologia não se aplica às tabelas referentes ao *Augmentor* e ao *Gearbox* que, embora de construção surpreendentemente mais trabalhosa, são de fácil leitura.

As regiões laranja identificam os grandes *overhauls* cancelados que iriam repetir-se mais tarde, mas já como pequenas regenerações. As regiões verdes assinalam o caso inverso, ou seja, os pequenos *overhauls* que iriam repetir-se adiante, sob a forma de grandes regenerações. Os ajustamentos a que as sobreposições obrigam, faz-se como explicámos.

Por um lado, não se contabilizam novos cancelamentos, que culminariam na duplicação das perdas. Por outro, os custos associados a esses pequenos *overhauls* têm de ser deduzidos, uma vez que deixam de ser realizados.

No quadro respeitante ao *Core*, os *overhauls* começam a ser cancelados em 2021. A seta laranja do Gráfico 8 correspondente à fronteira de descontinuação de 2035 indica-nos que o processo de *phase-out* se deve desencadear a partir de 2020. Contudo, nesse ano, não houve regenerações desse módulo.

Os 27 grandes *overhauls* do *Core* cancelados entre 2021 e 2028 (assinalados a laranja, na linha "OH\_8000 Cancelados") seriam alvo de subsequente sobreposição, no período de 2029 a 2035.

Assim, já não são contados, nesses anos, novos cancelamentos, como se comprova pela sequência de zeros, também assinalada a laranja, na linha “OH\_4000 Cancelados”, embora os custos daí decorrentes não possam deixar de ser descontados. As grandes regenerações registadas de 2029 a 2035 foram suspensas sem, neste caso, se verificarem quaisquer sobreposições. Finalmente, os pequenos *overhauls* ocorridos entre 2021 e 2025 (inscritos em letra branca itálica) “escapam” ao cancelamento, dado serem ainda necessários - suspendê-los resultaria na perda prematura de 24 *Cores*.

No quadro respeitante à *Fan*, constata-se que, no ano de 2027, dos 4 grandes *overhauls* cancelados, apenas 3 - quantitativo identificado através da forma ovalada - são alvo de posterior sobreposição. As regiões assinaladas a verde identificam sobreposições inversas, isto é, os pequenos *overhauls* cancelados que, mais tarde, seriam sujeitos a uma grande regeneração. No ano de 2032, seriam realizados, na solução de continuidade, 7 grandes *overhauls*. Contudo, por comparação dos números de série envolvidos, cujo detalhe não se apresenta nos quadros, conclui-se que desses 7 só 5 se contam entre os 9 anulados entre 2024 e 2026, aquando da sua sujeição à regeneração dos 4000 CCy. Daí resulta que, em 2032, haja 2 *overhauls* que podem ser cancelados pela primeira vez, o que se traduz, nesse ano, numa dedução total de custos, contabilizada por intermédio do valor -7, visível na linha de ajustamento de custos correspondente. Deixamos que as 11 pequenas regenerações verificadas entre 2021 e 2023 se concretizem e das 9 ocorridas em 2024 somente 6 são canceladas, sob pena de o número de *Fans* disponíveis descer abaixo do de *Cores* em anos seguintes.

Verifica-se que

$$\Sigma(\text{OH\_8000 Cancelados a Laranja}) = \Sigma(\text{OH\_4000 Realizados a Laranja}) - \Sigma(\text{OH\_4000 Cancelados Laranja})$$

e que

$$\Sigma(\text{OH\_4000 Cancelados a Verde}) = \Sigma(\text{OH\_8000 Realizados a Verde}) - \Sigma(\text{OH\_8000 Cancelados a Verde}).$$

Tomemos a primeira igualdade para explicar a lógica subjacente a ambas. Os pequenos *overhauls* “realizados a laranja” repartem-se em sobreposições e novos cancelamentos. Se àqueles retirar-mos estes últimos, ou seja, se ao número de pequenos *overhauls* efectuados retirarmos o número de novos cancelamentos de regenerações dos 4000 CCy, restam-nos as sobreposições, cujo quantitativo tem de coincidir com o das revisões gerais dos 8000 CCy “anuladas a laranja” que estiveram na origem do *overlap*.

Para que estas igualdades se concretizem, dever-se-ão somar, sempre que aplicável, os “valores ovalados” e não os constantes nas células sobre as quais surgem inscritos. Estas preposições são transponíveis, com os devidos ajustamentos, para os restantes planos.

Cabe recordar, por fim, que a última linha de cada quadro foi reservada à quantificação dos módulos anualmente disponíveis.

**Quadro 17 - Plano 3 - Descontinuação da Frota Até 2035 (Continuação)**

		Cenário 3 - Frota Descontinuada em 2035															
		Quadro de Cancelamento de OHs															
		2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	
FDT (50)	OH_8000 Cancelados	1	2	2	0	1	3	4	3	3	1	8	3	4	0	0	0
	OH_8000 Realizados	1	2	2	0	1	3	4	3	3	8	3	4	1	2	2	
	Ajustamento de Custos	-1	-2	-2	0	-1	-3	-4	-3	-3	-8	-3	-4	-1	-2	-2	
	OH_4000 Cancelados	0	0	0	0	1	1	2	2	1	2	2	0	0	0	0	0
	OH_4000 Realizados	0	0	0	0	1	2	2	2	2	4	2	0	1	1	4	4
	Ajustamento de Custos	0	0	0	0	-1	-2	-2	-2	-4	-2	0	-1	-1	-4	-4	
Gbx		49	47	45	45	43	36	32	27	22	14	11	7	7	7	7	

		Cenário 3 - Frota Descontinuada em 2035														
		Quadro de Cancelamento de OHs														
		2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Augs (50)	OH Cancelados	2	4	1	4	2	6	6	2	3	3	6	3	0	0	0
	OH Realizados	6	10	11	9	4	10	11	7	5	9	12	11	4	7	9
	Ajustamento de Custos	-2	-4	-1	-4	-4	-10	-5	-5	-5	-9	-12	-11	-4	7	9
	Gbx	46	44	43	39	37	31	25	23	20	17	11	6	6	6	6

		Cenário 3 - Frota Descontinuada em 2035														
		Quadro de Cancelamento de OHs														
		2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Gbx (50)	OH Cancelados	2	4	1	1	0	3	3	2	5	7	3	4	5	0	0
	OH Realizados	5	6	2	1	0	3	3	2	5	7	3	4	9	3	0
	Ajustamento de Custos	2	-4	-1	-1	0	-3	-3	-2	-5	-7	-3	-4	-9	-3	0
	Gbx	46	44	43	42	42	39	36	34	29	22	19	15	10	10	10

No caso do *Augmentor* e da *Gearbox*, a frequente falta de coincidência entre os *overhauls* cancelados, os *overhauls* realizados e o ajustamento de custos que se observa nos respectivos quadros decorre do processo de afinação sucessiva que, ano a ano, visa aproximar os quantitativos desses módulos aos do *Core*. Daqui resultam sobreposições, não raras vezes triplas, quádruplas e quántuplas.

Não nos alonguemos, porém, mais em matéria de esclarecimento das regras que subjazem à construção dos planos de descontinuação. Passemos, desde já, sua interpretação.

Da observação dos cinco quadros que compõem o Plano 3, resultam as seguintes conclusões:

- O período de *phase-out* inicia-se em 2021 para todos os tipos de módulos, com exceção da *Fan*, cujo decréscimo começa em 2022;



- Relembrando que há, no ano que antecede o arranque do *phase-out* (2020), 45 configurações completas possíveis e 50 HPC disponíveis, obtiveram-se os majorantes de descontinuação, isto é, os quantitativos máximos de motores, determinados em função do número de *Cores*, abaixo indicados:

Itens	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
<i>Cores</i>	48	44	43	39	34	29	25	23	18	14	9	1	0	0	0
Motores	45	44	43	39	34	29	25	23	18	14	9	1	0	0	0

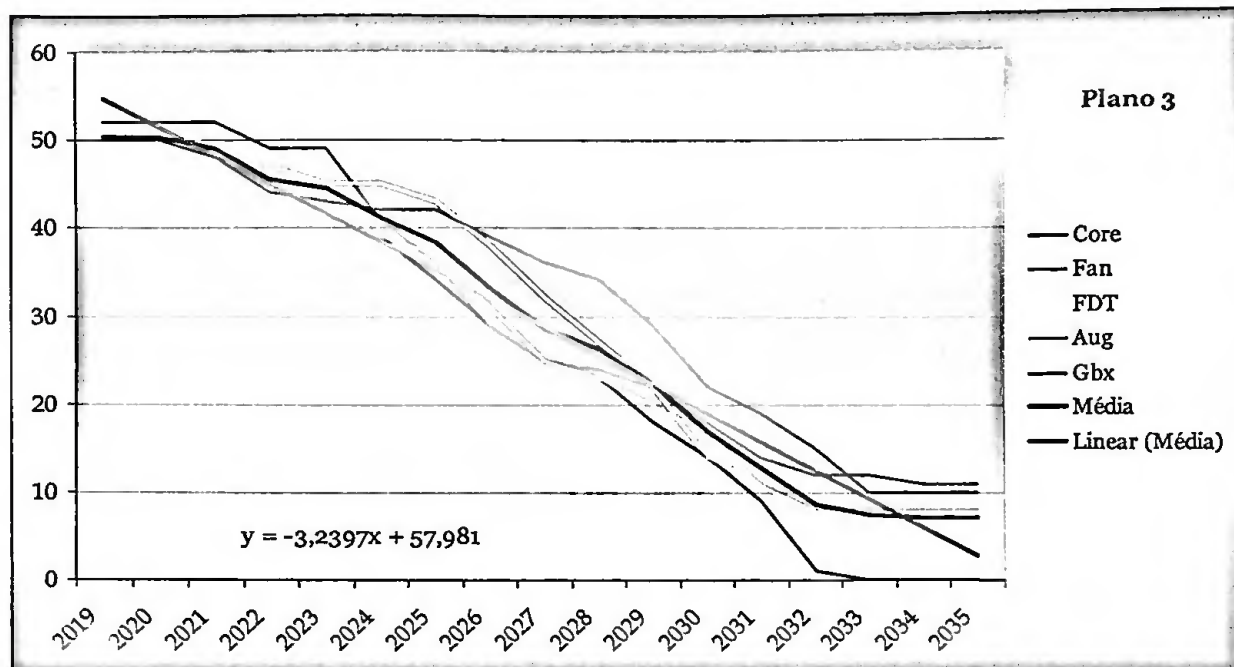
Estes valores, que, como acabámos de dizer, traduzem o número máximo possível de motores prontos em cada ano, nos termos das condições impostas, são, simultaneamente os minorantes do número de módulos disponíveis. Uma vez que decidimos reger o nosso estudo pelo *Core*, é por seu intermédio que tais minorantes/majorantes são encontrados - conseguir-se-ão formar, no limite, tantos completos quanto o número de HPC disponíveis em cada ano. Para que tal se concretize, têm de haver pelo menos tantos módulos dos restantes tipos quantos os *Cores* “sobreviventes”.

- O objectivo de chegar ao ano de 2035 com zero *Cores* prontos determinou que os mesmos se esgotassem dois anos antes, ou seja, em 2033, sendo que, em 2032, apenas um tinha potencial - isto significa que fazer de 2035 a meta do processo de descontinuação culmina num cenário em que a actividade operacional do F-16 *Fighting Falcon* terminaria, o mais tardar, em 2031;

- É impossível anular as existências dos restantes módulos até 2035, sem quebrar o critério atrás estabelecido, através do qual se impõe que, em cada ano, sejam em número igual ou superior ao de *Cores*, pelo que, no final, restam 11 *Fans*, 7 *FDT*, 8 *Augmentors* e 10 *Gearboxes* com potencial.

Atentemos agora sobre o gráfico que ilustra o decréscimo de módulos disponíveis, construído com base no plano de descontinuação atrás apresentado:

**Gráfico 15 - Perfil do Decréscimo de Módulos no Período de Descontinuação - Plano 3**

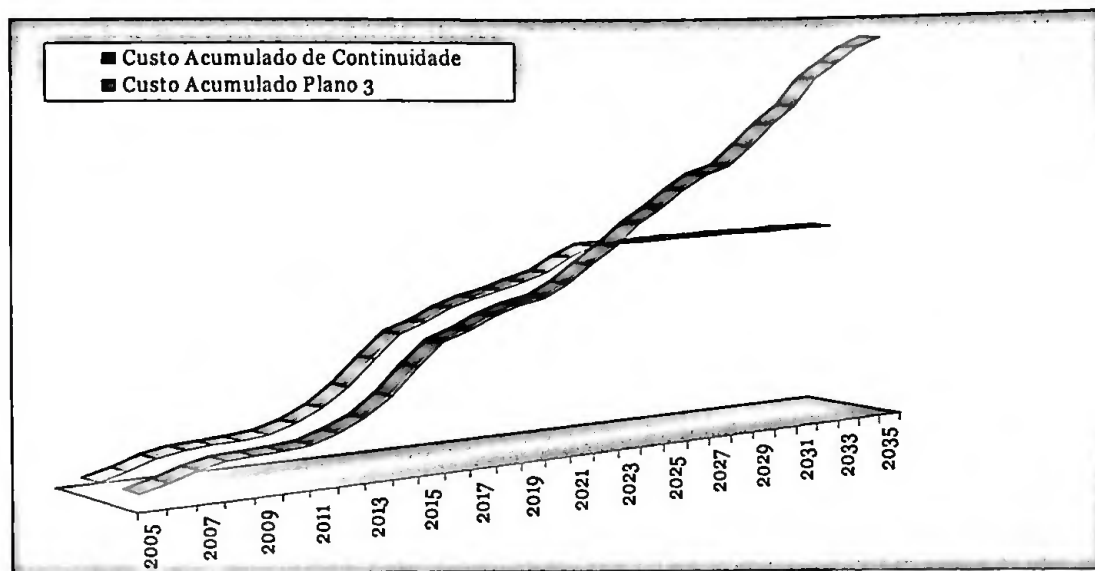


Este gráfico, nomeadamente através da linha de tendência da média, permite-nos avaliar até que ponto o processo de descontinuação pode ou não considerar-se “brusco”, o que diga-se, a bem da verdade, será sempre uma avaliação subjectiva. Serve-nos, por isso, apenas como termo de comparação entre planos. A linha de tendência a que nos referimos corresponde à recta encarnada, cuja equação está patente no gráfico e que resulta da regressão linear da série “Média”. Neste caso, o declive é de -3,2. Comparando essa linha com a curva da média que lhe deu origem, conclui-se que o decréscimo da frota de módulos foi menos acentuado de 2021 a 2029, período após o qual o mesmo se torna mais drástico.

Em matéria de custos, acerca dos quais nos referiremos somente em termos relativos por motivos de confidencialidade, importa quantificar a poupança arrecadada por se seguir este plano de descontinuação, em detrimento de uma situação de continuidade, em que se continuasse a fazer todos os *overhauls* até ao momento de extinção da frota.

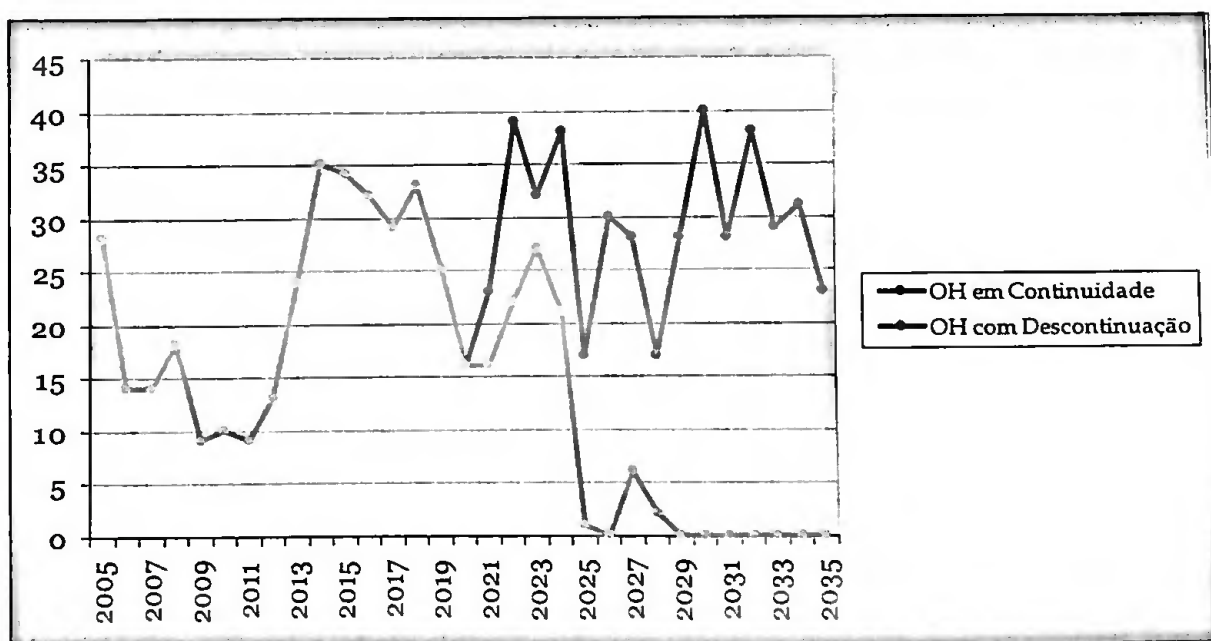
O cumprimento do Plano 3 traduzir-se-ia numa poupança de 51,48% face ao cenário de continuidade. Este valor foi encontrado por comparação do custo total das regenerações efectuadas entre 2005 e 2035, com e sem descontinuação. O gráfico seguinte dá-nos uma perspectiva do desfasamento de encargos aqui em causa:

**Gráfico 16 - Evolução dos Custos Totais Acumulados de *Overhaul* - Plano 3**



Os custos acumulados inerentes ao Plano 3 estabilizam de 2028 em diante, momento a partir do qual se deixam de realizar novas regenerações, como se comprova através do próximo gráfico:

**Gráfico 17 - Volume Total de *Overhauls* no Período 2005 - 2035**



Repetiremos, de seguida, a mesma análise para os restantes cenários de descontinuação. Pautando-nos por uma lógica decrescente face às fronteiras consideradas, iremos começar pelo Plano 2 - Descontinuação da Frota Até 2030, para depois terminarmos com o Plano 1 - Descontinuação da Frota Até 2025.

**Quadro 18 - Plano 2 - Descontinuação da Frota Até 2030**

		Cenário 2 - Frota Descontinuada em 2030																
		Quadro de Cancelamento de OHs																
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
Cores (50)	OH_8000 Cancelados	9	7	0	1	0	0	2	4	1	4	5	5	4	2	4	0	
	OH_8000 Realizados	9	7	0	1	0	0	2	4	1	4	5	5	4	2	5	4	
	Ajustamento de Custos	-9	-7	0	-1	0	0	-2	-4	-1	-4	-5	-5	-4	-2	-5	-4	
	OH_4000 Cancelados									1	1	0	0	0	0	0	0	
	OH_4000 Realizados									2	3	10	6	1	0	0	4	
	Ajustamento de Custos									-2	-10	-6	-1	0	0	0	-4	
Cores		41	34	34	33	33	33	31	26	24	20	15	10	6	4	0	0	

		Cenário 2 - Frota Descontinuada em 2030																
		Quadro de Cancelamento de OHs																
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
Faus (52)	OH_8000 Cancelados	8	6	2	1	0	0	0	3	0	1	2	3	6	4	0	0	
	OH_8000 Realizados	8	6	2	1	0	0	0	3	0	2	3	6	4	1	2	4	
	Ajustamento de Custos	-8	-6	-2	-1	0	0	0	-3	0	-2	-3	-6	-4	-1	-2	-4	
	OH_4000 Cancelados							1	1	4	1	1	0	0	0	0	0	
	OH_4000 Realizados							1	1	5	5	1	5	9	2	1	0	
	Ajustamento de Custos							-1	-1	-5	-5	-9	-2	-1	0	0	0	
Faus		44	38	36	35	35	34	33	26	25	22	19	13	9	9	9	9	

		Cenário 2 - Frota Descontinuada em 2030																
		Quadro de Cancelamento de OHs																
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
FDT (50)	OH_8000 Cancelados	4	5	1	2	1	2	1	2	1	2	0	1	3	4	3	2	
	OH_8000 Realizados	4	5	1	2	1	2	1	2	2	2	0	1	3	4	3	3	
	Ajustamento de Custos	-4	-5	-1	-2	-1	-2	-1	-2	-2	0	-1	-3	-4	-3	-3	-3	
	OH_4000 Cancelados									6	0	0	1	1	0	1	0	
	OH_4000 Realizados									6	1	1	1	2	2	2	4	
	Ajustamento de Custos									-6	-1	1	-1	-2	-2	-2	-4	
FDT		46	41	40	38	37	35	34	26	24	24	22	18	14	10	8	6	

		Cenário 2 - Frota Descontinuada em 2030																
		Quadro de Cancelamento de OHs																
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
Augs (50)	OH Cancelados	6	6	4	1	0	0	2	5	2	3	3	2	7	1	0	0	
	OH Realizados	6	6	13	7	10	6	6	10	11	9	4	10	11	7	5	9	
	Ajustamento de Custos	-6	-6	-4	-2	-5	-6	-6	-2	-8	-9	-4	-10	-11	-7	-5	-9	
	Augs	44	38	34	33	33	33	31	26	24	21	18	16	9	8	8	8	

		Cenário 2 - Frota Descontinuada em 2030																
		Quadro de Cancelamento de OHs																
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
Gbx (50)	OH Cancelados	3	4	5	5	0	0	2	5	2	1	0	1	0	0	1	2	
	OH Realizados	3	4	5	8	3	2	5	6	2	1	0	3	3	2	5	7	
	Ajustamento de Custos	-3	-4	-5	-5	0	0	-2	-5	-2	-1	0	-3	-3	-2	-5	-7	
	Gbx	47	43	38	33	33	33	31	26	24	23	23	22	22	22	21	19	

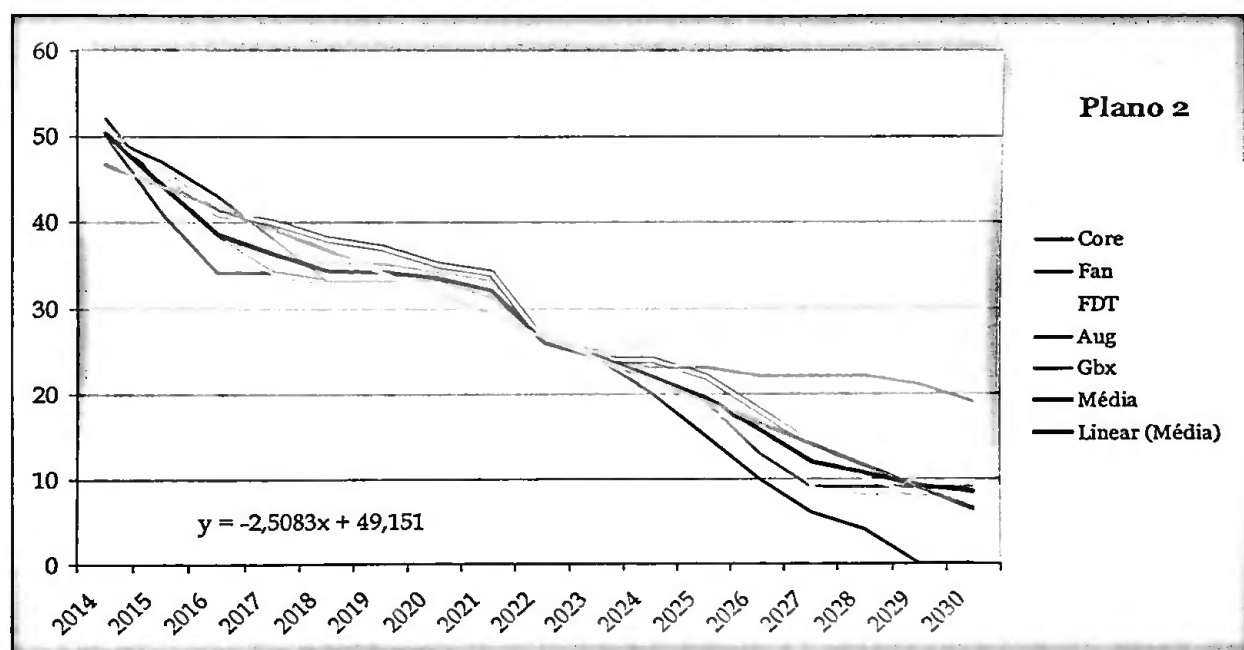
A partir destes quadros constata-se o seguinte:

- O processo de descontinuação desenvolve-se, em todos os casos, a partir de 2015;
- Resultam do plano os majorantes de descontinuação abaixo apresentados:

Itens	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
<i>Cores</i>	41	34	34	33	33	33	31	26	24	20	15	10	6	4	0	0
<i>Motores</i>	41	34	34	33	33	33	31	26	24	20	15	10	6	4	0	0

- O objectivo de chegar ao ano de 2030 com zero *Cores* prontos determinou, desta feita, que os mesmos se esgotassem um ano antes, ou seja, em 2029 - neste cenário, as aeronaves deixariam de voar entre 2026 e 2028;
- Restam, em 2030, 9 *Fans*, 6 *FDT*, 8 *Augmentors* e 19 *Gearboxes* com potencial.

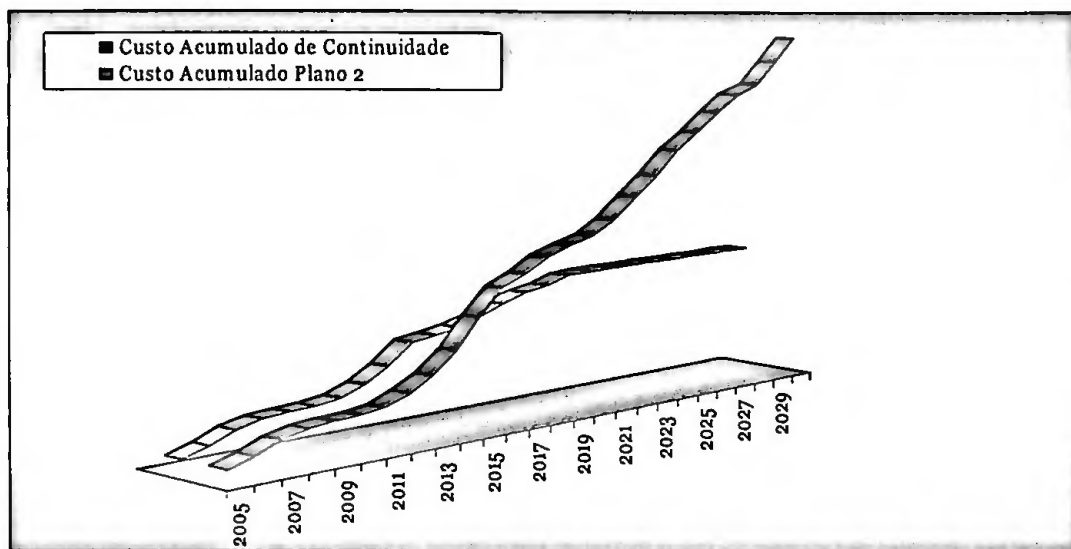
**Gráfico 18 - Perfil do Decréscimo de Módulos no Período de Descontinuação - Plano 2**



Comparativamente ao Plano 3, este plano é um pouco menos abrupto, dado que o valor absoluto do declive da respectiva linha de tendência é menor (2,5 contra os anteriores 3,2). Aqui observamos dois períodos de quebra abrupta do número médio de módulos disponíveis - 2015 a 2019 e 2026 a 2029. Nos períodos complementares esse número decresceu de forma mais suave.

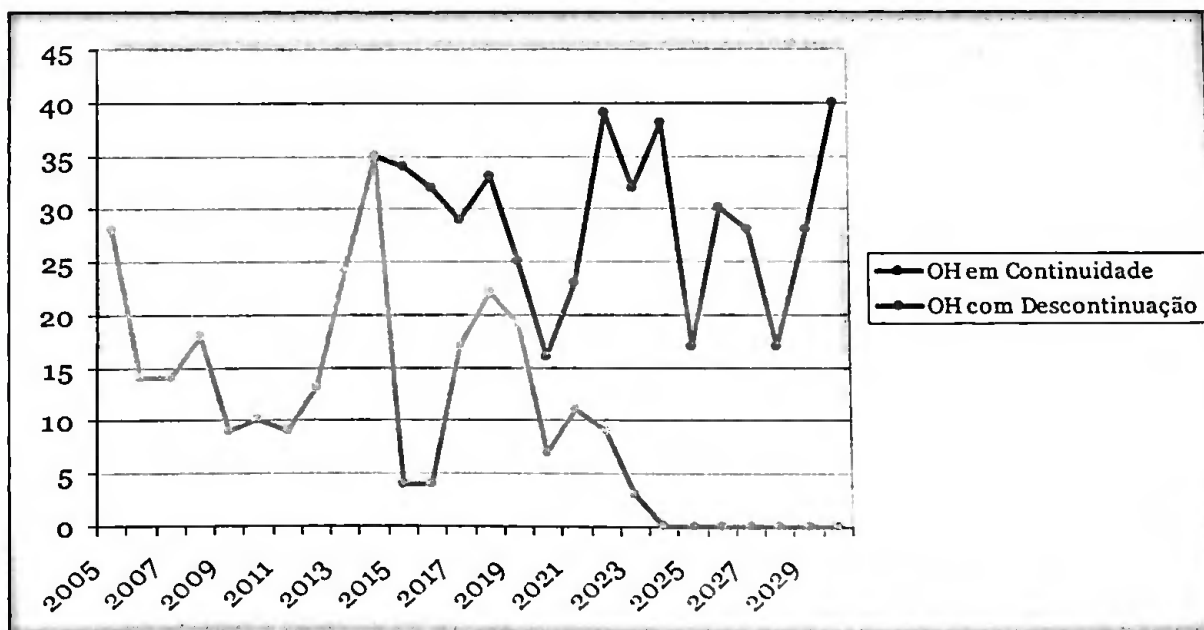
O Plano 2 representa uma poupança, face à solução de continuidade, agora reportada ao período 2005 - 2030, de 64,65%. O Gráfico 19 mostra-nos o comportamento dos custos acumulados com e sem *phase-out*.

Gráfico 19 - Evolução dos Custos Totais Acumulados de *Overhaul* - Plano 2



Paralelamente, constatamos através do gráfico seguinte que os custos acumulados inerentes ao Plano 2 se tornam constantes a partir de 2023.

Gráfico 20 - Volume Total de *Overhauls* no Período 2005 - 2030



**Quadro 19 - Plano 1 - Descontinuação da Frota Até 2025**

		Cenário 1 - Frota Descontinuada em 2025													
		Quadro de Cancelamento de OHs													
Core (50)		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
	OH_8000 Cancelados	3	4	4	9	7	0	1	0	0	2	4	1	4	0
	OH_8000 Realizados	3	4	4	9	7	0	1	0	0	2	4	1	4	5
	Ajustamento de Custos	-3	-4	-4	-9	-7	0	-1	0	0	-2	-4	-1	-4	-5
	OH_4000 Cancelados	0	0	0	0	0	5	4	2	0	0	0	0	0	0
	OH_4000 Realizados	0	2	4	2	3	5	4	4	2	5	2	10	6	1
Ajustamento de Custos	0	0	0	0	0	-5	-4	-4	-2	-5	-2	-10	-6	-1	
<b>Cores</b>		<b>47</b>	<b>43</b>	<b>39</b>	<b>30</b>	<b>23</b>	<b>18</b>	<b>13</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

		Cenário 1 - Frota Descontinuada em 2025																
		Quadro de Cancelamento de OHs																
Fan (52)		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
	OH_8000 Cancelados	0	0	2	0	5	7	8	6	2	1	1	0	0	0	0	0	0
	OH_8000 Realizados	0	0	2	0	5	8	8	6	2	1	0	0	0	3	0	2	3
	Ajustamento de Custos	0	0	-2	0	-5	-8	-6	-2	-2	-1	0	0	0	-3	0	-2	-3
	OH_4000 Cancelados	1	0	0	0	3	1	1	2	2	6	3	0	1	0	0	1	0
	OH_4000 Realizados	1	0	0	0	3	1	1	2	7	3	1	1	5	5	9	2	2
Ajustamento de Custos	-1	0	0	0	-3	-1	-1	-2	-7	-3	-1	-1	-5	-5	-9	-2	-2	
<b>Fans</b>		<b>51</b>	<b>51</b>	<b>49</b>	<b>49</b>	<b>41</b>	<b>32</b>	<b>25</b>	<b>22</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	

		Cenário 1 - Frota Descontinuada em 2025														
		Quadro de Cancelamento de OHs														
FDT (50)		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
	OH_8000 Cancelados	3	3	4	4	3	4	4	5	1	2	1	2	2	0	0
	OH_8000 Realizados	3	4	5	4	5	1	2	1	2	1	2	2	2	0	1
	Ajustamento de Custos	0	-4	-4	-4	-5	-1	-2	-1	-2	-1	-2	-2	-2	0	-1
	OH_4000 Cancelados	0	0	0	0	0	1	3	4	1	0	2	0	0	0	0
	OH_4000 Realizados	3	1	3	1	0	1	3	4	3	3	7	1	7	1	1
Ajustamento de Custos	0	0	0	0	0	-1	-3	-4	-3	-3	-7	-1	-7	-1	-1	
<b>FDT</b>		<b>47</b>	<b>43</b>	<b>39</b>	<b>35</b>	<b>30</b>	<b>28</b>	<b>23</b>	<b>18</b>	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	

		Cenário 1 - Frota Descontinuada em 2025													
		Quadro de Cancelamento de OHs													
Aug (50)		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
	OH Cancelados	2	5	4	6	4	8	5	4	1	2	0	1	0	0
	OH Realizados	2	13	10	6	6	13	7	10	6	6	10	11	9	4
	Ajustamento de Custos	-2	-5	-4	-6	-6	-13	-7	-10	-3	-5	-10	-11	-9	-4
	<b>Augs</b>	<b>48</b>	<b>43</b>	<b>39</b>	<b>33</b>	<b>29</b>	<b>21</b>	<b>16</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>

		Cenário 1 - Frota Descontinuada em 2025													
		Quadro de Cancelamento de OHs													
Gbx (50)		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
	OH Cancelados	0	0	1	3	4	5	8	3	2	5	6	2	0	0
	OH Realizados	0	0	1	3	4	5	8	3	2	5	6	2	1	0
	Ajustamento de Custos	0	0	-1	-3	-4	-5	-8	-3	-2	-5	-6	-2	-1	0
	<b>Gbxs</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>49</b>	<b>46</b>	<b>42</b>	<b>37</b>	<b>29</b>	<b>26</b>	<b>24</b>	<b>19</b>	<b>13</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>11</b>

A propósito do Plano 1, oferece-nos tecer as seguintes considerações:

- O processo de descontinuação faz-se a partir do ano 2012 para todos os tipos de módulos, com excepção das *Fans*, cuja retirada de serviço se inicia mais cedo, em 2010;

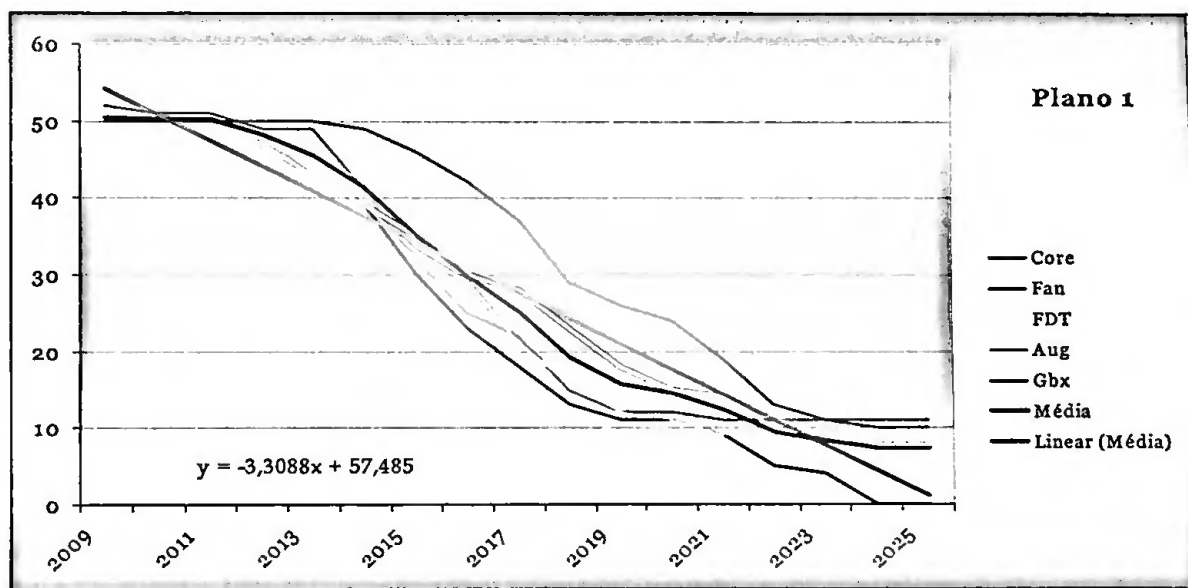
- Resultam do plano os seguintes majorantes de descontinuação:

Itens	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
<b>Cores</b>	47	43	39	30	23	18	13	11	11	9	5	4	0	0
<b>Motores</b>	45	43	39	30	23	18	13	11	11	9	5	4	0	0

- Chegar ao ano de 2025 com zero *Cores* prontos implicou, neste caso, a sua extinção um ano antes, ou seja, em 2024 - o F-16 seria arredado da actividade operacional entre 2021 e 2023;

- Sobram 10 *Fans*, 8 *FDT*, 8 *Augmentors* e 11 *Gearboxes* com potencial, em 2025.

**Gráfico 21 - Perfil do Decréscimo de Módulos no Período de Descontinuação - Plano 1**

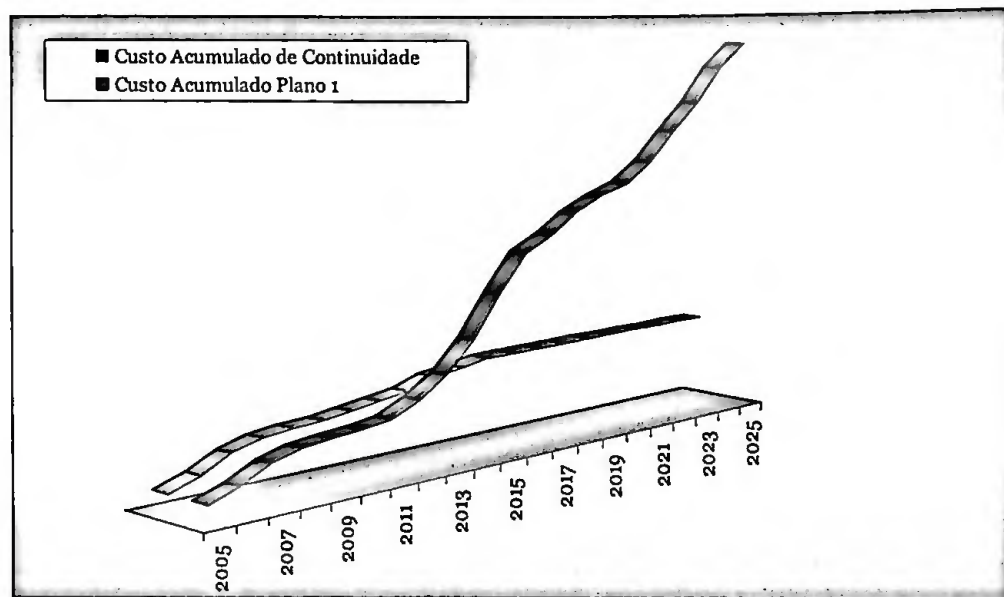


Comparativamente aos planos atrás apresentados, este é o menos suave, conquanto surge associado a um maior declive. Neste caso, observam-se, com toda a clareza, dois períodos de decréscimo lento do número médio de módulos disponíveis, a saber: 2012 a 2016 e 2023 a 2025. Nos anos que separam os períodos atrás referidos, o declínio é mais dramático.

O Plano 1 representa uma poupança, face à solução de continuidade correspondente, de 78,42%. Vejamos como evoluem os custos acumulados entre 2005 e 2025.

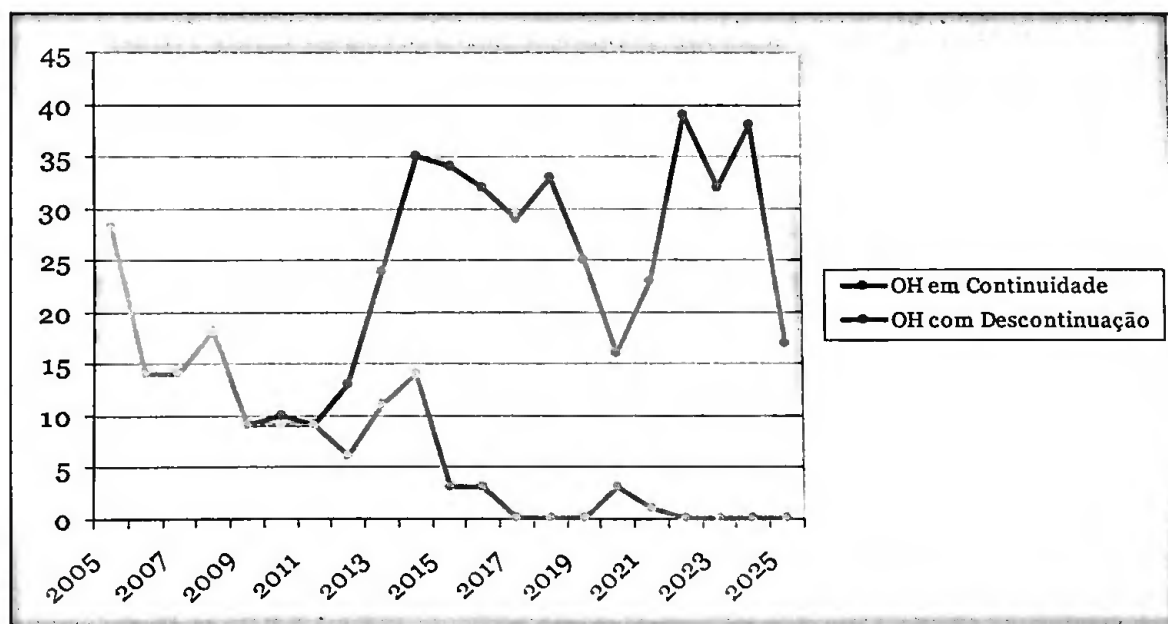


Gráfico 22 - Evolução dos Custos Totais Acumulados de *Overhaul* - Plano 1



Neste caso, os custos acumulados decorrentes da descontinuação deixam de variar em 2021.

Gráfico 23 - Volume Total de *Overhauls* no Período 2005 - 2025



Como acabámos de ver, as taxas de poupança associadas a cada um dos planos são bastante diferentes entre si, variando inversamente no tempo, isto é, revelando-se tanto mais reduzidas quanto mais tarde se concretiza a extinção da frota de motores.

Relembrando, temos:

- 78,42% para 2025;
- 64,65% para 2030;
- 51,48% para 2035.

Esta situação fica a dever-se ao facto do valor absoluto poupado através de cada um dos três planos ser semelhante.

De facto, as poupanças absolutas arrecadadas com os Planos 1 e 2 atingem, respectivamente, 89,71% e 99,03% da que decorre do Plano 3.

Assim sendo e como é obvio, essa quantia semelhante dilui-se cada vez mais nos custos crescentes que decorrem da opção de manter a frota de motores operativa durante mais tempo, visto que quanto mais tarde se inicia a descontinuação, maior é o número de anos em que se tem de assegurar a totalidade dos *overhauls* dos 252 módulos que a compõem.

Para se ter uma noção da relação que se estabelece entre os custos aqui em causa, cuja grandeza absoluta não podemos revelar, tem-se que, admitindo que  $c$  é o custo, obtido na corrida principal, de descontinuar a frota de motores até 2025:

- 2,19  $c$  é o custo de descontinuar a frota até 2030;
- 3,82  $c$  é o custo de descontinuar a frota até 2035;
- 4,63  $c$  é o custo da solução de continuidade 2005 - 2025;
- 6,20  $c$  é o custo da solução de continuidade 2005 - 2030;
- 7,87  $c$  é o custo da solução de continuidade 2005 - 2035.

Já se sabia, à partida, que qualquer opção de descontinuação conduziria a poupanças face às soluções de continuidade correspondentes. Este estudo serviu para dar a conhecer a ordem de grandeza provável dessas poupanças, caso se escolha um dos caminhos sugeridos.

Os resultados obtidos sofrem, no entanto, de algumas limitações que nos ocuparemos de discutir no ponto seguinte.

#### 4. Limitações do Estudo

Os planos de descontinuação que propusemos são, claro está, apenas três de muitos possíveis. Efectivamente, poder-se-ão escolher outras fronteiras de extinção que não as três por nós definidas.

Por outro lado, sabemos ter adoptado um critério extremo em termos de redução de custos, na medida em que estabelecemos como regra para a construção do planos a inexistência de *Cores* com potencial no ano que marca o limite do processo de *phase-out* da frota de motores.

De facto, tal meta, traduz-se num decréscimo precoce e acentuado do número de módulos disponíveis em cada ano, culminando em situações de substancial carência nos períodos que antecedem os horizontes de descontinuação fixados. Estas opções, poderão ser incompatíveis com a actividade operacional para esses anos planeada, isto se o *phase-out* do F-16 não for escalonadamente complementado com a entrada ao serviço de uma frota substituta. Assim sendo, seria recomendável repetir este estudo, ajustando o número de *Cores* disponíveis no último ano do processo de extinção à actividade operacional planeada e ao projecto de introdução dos meios aéreos de substituição.

Há, porém, limitações que entendemos mais significativas, visto constituírem enviesamentos estruturais que condicionam a formulação do problema.

A determinação das poupanças decorrentes da descontinuação da frota dever-se-ia ter efectuado tendo em conta um de dois aspectos, não considerados por desconhecidos:

- Os custos para a actividade operacional, medidos em moeda, do decréscimo de aeronaves disponíveis no período de extinção da frota;
- Os custos da manutenção do motor da aeronave que vai substituir o F-16, imaginando que a sua entrada ao serviço se faria de modo articulado com a “saída de cena” do avião antigo.

Só de posse de pelo menos uma destas duas informações poderíamos avaliar inequivocamente as eventuais vantagens resultantes da concretização de cada um dos três planos de *phase-out*.

Nesta sequência, seria bastante desejável empreender, se é que não estão já em curso, esforços no sentido de colmatar as lacunas enunciadas, através da definição:

- Do programa de substituição do F-16 *Fighting Falcon*, não sendo indiferente a data prevista para o seu arranque, nem o facto de se tratar de uma entrada ao serviço escalonada ou em bloco;
- Do calendário de descontinuação a fixar para a actual frota de aeronaves, cuja elaboração, estamos em crer, se baseará não só nos respectivos custos de manutenção, como também em exigências estritamente operacionais, devendo ajustar-se, em simultâneo e como explicámos, ao programa de substituição a que se refere o item anterior.

Mas as lacunas não se ficam por aqui.

Além dos atrás referidos, outros dados seriam necessários para se desenvolver um estudo mais preciso. De facto, escolher, de modo esclarecido, um caminho para a extinção da frota nacional de Motores F100 depende, também, dos restantes custos decorrentes da sua manutenção, que não apenas os derivados das revisões gerais, e dos custos de manutenção da própria aeronave, com excepção dos que à vertente da propulsão dizem respeito.

Paralelamente, não nos podemos esquecer que factores imponderáveis, como sejam os abaixo apontados, também afectam decisões futuras:

- As disponibilidades orçamentais;
- Os compromissos que vierem a ser assumidos em sede das organizações internacionais de que Portugal faz parte;
- A evolução das conjunturas nacional, regional e mundial.

Trata-se, sem dúvida, de uma decisão bastante complexa.

Em suma, embora o nosso trabalho não traga, neste domínio, respostas finais, permitiu determinar a ordem de grandeza subjacente às poupanças máximas que decorrem da opção de descontinuar escalonadamente a frota de motores, nos termos definidos.

Além disso, através do desenvolvimento da aplicação de simulação e de um procedimento para a construção dos planos de *phase-out*, estamos convencidos de ter criado uma plataforma de trabalho útil para os estudos que neste contexto se entenda, *a posteriori*, promover.

## 5. Potencialidades Não Exploradas da Ferramenta de Simulação e Trabalhos para o Futuro

A ferramenta de simulação desenvolvida permite, além das atrás apresentadas, realizar outras análises, em particular:

- A avaliação do impacto, no sistema de manutenção da frota de motores, da alteração da tipologia de missões, que, no nosso estudo, mantivemos constante, mas sabemos susceptível de variação a médio prazo, com a entrada ao serviço da 2ª Esquadra;
- A apreciação das implicações de uma eventual, mas pouco provável reconhecemos, alteração do consumo de CCy por tipo de missão;
- O exame das consequências da instrumentação discricionária dos intervalos entre intervenções obrigatórias, por parte do Gestor de Frota, no contexto das medidas de alinhamento de inspeções;
- A determinação da influência que uma evolução no preço dos *overhauls*, diferente da escolhida, teria na globalidade dos encargos calculados;
- A previsão do comportamento da frota de motores perante a inibição sucessiva dos elementos que a compõem, se não houver um ajustamento proporcional das missões planeadas.

A última das análises propostas reveste-se de especial importância. De facto, se se desejar manter níveis operacionais elevados com um número cada vez mais reduzido de motores é de se esperar o aumento dramático do desgaste unitário dos que permanecerem ao serviço, com conseqüente antecipação das intervenções programadas. Daí resultariam *phase-outs* ainda mais rápidos.

No que à ferramenta de simulação diz respeito, em termos de *upgrades* futuramente desejáveis, dever-se-á acautelar:

- A criação de um mecanismo capaz de ultrapassar a situação de bloqueio em que caíram, desta feita, *Cores* e HPT;
- A inclusão do motor e da HPT na rotina de alinhamentos;
- A introdução de mecanismos que permitam fazer variar no tempo a taxa de avarias, por forma a reflectir as consequências da obsolescência dos materiais, bem como o consumo de CCy e de HS3 por hora de voo e por tipo de missão.

Paralelamente, dever-se-á automatizar a construção dos trabalhosos planos de descontinuação, desta feita elaborados manualmente.

Qualquer decisão relacionada com a substituição de um sistema de armas, pela susceptibilidade que encerra, quer em termos de segurança nacional, quer em termos de despesa pública, exige um trabalho bastante mais aprofundado do que o que aqui realizámos. Nesta sequência, entendemos fundamental complementar o presente estudo com os seguintes:

- Avaliação detalhada de todos os custos de manutenção do motor, e não apenas dos decorrentes das regenerações de módulos;
- Quantificação da totalidade dos custos de manutenção das células;
- Determinação, em valor monetário, dos encargos operacionais de se ter, em cada ano, uma frota cada vez mais reduzida, por força de um processo progressivo de retirada de serviço;
- Apuramento dos custos de manutenção das aeronaves candidatas à substituição do F-16, bem como, como dos que dizem especificamente respeito ao motor que as equipa;
- Comparação dos custos da opção de manter a frota de aeronaves até ao limite da sua vida útil, com e sem processo de *phase-out*, com os que decorreriam da sua substituição antecipada, escalonada ou em bloco;
- Inventário das necessidades operacionais, por forma a promover a sua integração com a vertente económico-financeira da questão.

Além de tudo isto, seria conveniente, a bem da fiabilidade dos resultados, repetir o estudo com base:

- na média de corridas principais obtidas a partir de um maior número de simulações,
- em *inputs* superiormente afinados,
- noutras fronteiras de descontinuação e
- num número de *Cores* disponíveis no último ano do *phase-out* superior a zero.

Há, portanto e sem dúvida, muito mais a fazer.

## Conclusão

Esta dissertação tinha por objectivo o desenvolvimento de um modelo de simulação por meio do qual se pudessem construir cenários de descontinuação aplicáveis à frota nacional de Motores F100-Pw-220E, que equipam o F-16 *Fighting Falcon*.

A Força Aérea Portuguesa possui 39 aeronaves, cujo tempo de vida útil se esgotará algures entre o final da década de 20 e meados da de 30. Importa, portanto, encontrar formas de pôr termo à vida útil dos motores que sejam, simultaneamente, articuláveis, do ponto de vista operacional, com o processo de extinção da frota de aeronaves e vantajosas, ao nível económico-financeiro.

A sustentabilidade do Motor F100 depende, em particular, da regeneração dos cinco módulos que o compõem - *Fan*, *FDT*, *Core*, *Augmentor* e *Gearbox*. As regenerações ou *overhauls*, traduzíveis, grosso modo, em revisões gerais profundas por meio das quais se substituem os componentes fatigados, conferindo aos itens revistos a condição de quase novos, fazem-se com regularidade e são bastante dispendiosas.

Propusemo-nos, então, definir três planos de retirada escalonada dos módulos de serviço, de maneira a evitar que sejam submetidos a *overhaul* em momentos próximos do fim do ciclo de vida do F-16, o que, a verificar-se, representaria um indesejável desperdício de recursos. De facto, cada uma dessas revisões só é rentabilizada se redundar no total esgotamento do potencial de utilização conferido por tais revisões.

O módulo do *Core*, cuja regeneração é, de longe, a mais cara, serviu-nos de referência na construção dos calendários alternativos de extinção da frota de motores, reportados a três horizontes possíveis de extinção - 2025, 2030 e 2035.

Através dos planos de descontinuação ficamos com uma clara noção de como decresceria o número de motores disponíveis até ao ano fixado para o termo da sua actividade operacional, se se escolhesse rentabilizar, tanto quanto possível, as regenerações dos módulos. Os planos permitem-nos, ainda, comparar os encargos resultantes dos planos de *phase-out* propostos com os das correspondentes soluções de continuidade, que nada mais são do que as situações existentes caso se decida não escalonar a retirada de serviço dos motores.

No nosso trabalho, considerámos um máximo de 45 configurações de motor possíveis e os seguintes quantitativos de módulos, adquiridos propositadamente em excesso, face ao número de completos, por forma a possibilitar a constituição de sobressalentes ou *sparcs*:

- 52 Fans;
- 50 FDT;
- 50 Cores, também designados HPC;
- 50 Augmentors;
- 50 Gearboxes.

O Plano 1, com início em 2012, tem como objectivo a inexistência de *Cores* operacionais em 2025 e materializa-se no seguinte calendário de disponibilidade de motores:

Itens	2005-2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Cores	50	47	43	39	30	23	18	13	11	11	9	5	4	0	0
Motores	45	45	43	39	30	23	18	13	11	11	9	5	4	0	0

Com este plano poupar-se-ia, face à solução de continuidade 78,42%.

O Plano 2, iniciado em 2015, tem como objectivo a inexistência de *Cores* operacionais em 2030 e traduz-se no seguinte calendário de disponibilidade de motores:

Itens	2005-2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Cores	50	41	34	34	33	33	33	31	26	24	20	15	10	6	4	0	0
Motores	45	41	34	34	33	33	33	31	26	24	20	15	10	6	4	0	0

Este plano conduz a uma poupança de 64,65%.

Por fim, o Plano 3, desencadeado a partir de 2021, com o objectivo de alcançar a inexistência de *Cores* operacionais em 2035, culmina no seguinte calendário de disponibilidade de motores:

Itens	2005-2014	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Cores	50	48	44	43	39	34	29	25	23	18	14	9	1	0	0	0
Motores	45	45	44	43	39	34	29	25	23	18	14	9	1	0	0	0

O Plano 3 equivale a uma redução de custos de 51,48%.

Os caminhos de descontinuação por nós sugeridos, ainda que meramente indicativos, dão-nos uma perspectiva de como se poderia processar o *phase-out* da frota de motores e das poupanças daí decorrentes, sem se ter em conta, no entanto, por desconhecidos, os custos, para a actividade operacional, da progressiva delapidação da frota ou os encargos resultantes da sustentação dos motores da aeronave que irá substituir, eventualmente de forma escalonada e complementar, o F-16 *Fighting Falcon*.



Entendemos, portanto, fundamental, aprofundar futuramente este estudo, alargando o âmbito da análise que preconiza a variáveis desta feita não consideradas, além das duas atrás referidas, como sejam:

- Os restantes custos de manutenção envolvidos na sustentação do motor e não apenas os decorrentes dos *overhauls*;
- Os custos de manutenção das aeronaves, com exclusão dos que à propulsão dizem respeito.

Além disso, estamos ainda cientes de que o objectivo de anular o número de *Cores* disponíveis no último ano do processo de *phase-out* poderá ser sobremaneira exigente em termos da rentabilização do potencial daqueles módulos, conduzindo a um decréscimo precoce e acentuado dos motores em serviço, talvez incompatível com a actividade operacional planeada e com o programa de substituição do F-16. Por esta mesma razão, o estudo poder-se-á repetir, fixando, neste contexto, metas diferentes, ou seja, valores não nulos de HPC no final do período de descontinuação. Poder-se-á, também, optar por estudar outros horizontes de extinção.

Mas deste trabalho não ficam só as conclusões e os desafios para o futuro atrás apresentados. Estamos em crer que o meio escolhido para alcançá-las constitui uma mais-valia importante. De facto, a aplicação por nós desenvolvida com base no *Microsoft Access* e no *Visual Basic for Applications* produziu resultados que entendemos bastante realistas, afigurando-se, na nossa opinião, uma ferramenta a ter em conta na realização de outros estudos relacionados com o comportamento dos Motores F100.

Esperamos desta forma ter contribuído para facilitar a vida dos decisores competentes.

Seja como for, está lançada a discussão.

## BIBLIOGRAFIA

### Livros e Monografias

- [1] Abelho, Susana (2004), *Análise Estratégica do Sector da Manutenção Aeronáutica na Europa*, Lisboa: Instituto Superior de Economia e Gestão
- [2] Assis, Rui (1997), *Manutenção Centrada na Fiabilidade - Economia das Decisões*, Lisboa: Lidel
- [3] Batalha, Carlos e Meireles, Luís (2001), *Caracterização da Utilização Operacional do Sistema de Armas F-16*, Lisboa: Direcção de Mecânica Aeronáutica da Força Aérea Portuguesa
- [4] Cabral, José Saraiva (1998), *Organização e Gestão da Manutenção - Dos Conceitos à Prática*, 3ª Edição, Lisboa: Lidel
- [5] Charrier, J. e Kemoune, K. (1989), *Organização e Modernização Industrial*, Lisboa: Lidel
- [6] Craveiro, Eurico (1995), *A Integração da Manutenção nas Unidades Aéreas*, Sintra: Instituto de Altos Estudos da Força Aérea
- [7] Dias, José (2003), *A Gestão da Manutenção em Portugal*, Lisboa: Instituto Superior de Economia e Gestão
- [8] Grafanhate, Maria (1996), *Manutenção Preventiva como Factor Chave da Produtividade na Cadeia de Fornecimento Logística*, Lisboa: Instituto Superior de Economia e Gestão
- [9] Hillier, Frederick and Hillier, Mark (2003), *Introduction to Management Science*, Second Edition, New York: McGraw-Hill
- [10] Hillier, Frederick and Lieberman, Gerald (1995), *Introduction to Operations Research*, Sixth Edition, Singapore: McGraw-Hill
- [11] Larson, Harold (1982), *Introduction to Probability Theory and Statistical Inference*, Third Edition, Singapore: John Wiley & Sons
- [12] Loureiro, Henrique (2004), *Curso Avançado de Programação em Access com VBA*, Lisboa: Lidel
- [13] Machado, Isabel (2001), *Indicadores da Qualidade*, Lisboa: Direcção de Mecânica Aeronáutica da Força Aérea Portuguesa

- [14] Matela, Carlos (1996), *F-16 Mid-Life Update*, Sintra: Instituto de Altos Estudos da Força Aérea
- [15] Mestre, Joaquim (1996), *F-16 para Substituição do A-7P*, Sintra: Instituto de Altos Estudos da Força Aérea
- [16] Moubray, John (1992), *Reliability-Centered Maintenance*, 2ª Edição, New York: Industrial Press, Inc.
- [17] Murteira, Bento; Pimenta, Carlos; Ribeiro, Carlos e Silva, João (2002), *Introdução à Estatística*, Lisboa: McGraw-Hill
- [18] Nina, Nuno (2003), *Visual Basic.Net - Programação Prática*, Lisboa: Lidel
- [19] Papoulis, Athanasios (1991), *Probability, Random Variables and Stochastic Processes*, Third Edition, Singapore: McGraw-Hill
- [20] Pereira, Carlos (1992), *Manutenção Industrial na FAP - Organização, Gestão e Controlo*, Sintra: Instituto de Altos Estudos da Força Aérea
- [21] Pinto, Carlos Varela (1999), *Organização e Gestão da Manutenção*, Lisboa: Monitor
- [22] Ribeiro, João (2001), *A Indústria Aeroespacial em Portugal - Contributos para um Novo Modelo Económico*, Lisboa: Instituto Superior de Economia e Gestão
- [23] Rocha, Joana (2002), *Caracterização da Utilização Operacional do Motor F100 da 1ª Esquadra de F-16*, Lisboa: Direcção de Mecânica Aeronáutica da Força Aérea Portuguesa
- [24] Roque, António (2000), *Segunda Esquadra F-16: Missões e Necessidades Inerentes*, Sintra: Instituto de Altos Estudos da Força Aérea
- [25] Ruivo, Luís (1993), *A Integração da Manutenção na Estrutura da Esquadra de Voo*, Sintra: Instituto de Altos Estudos da Força Aérea
- [26] Souris, J. (1990), *Manutenção Industrial - Custo ou Benefício?*, Lisboa: Lidel

### **Regulamentos FAP e Publicações Técnicas**

- [27] F100-PW-220/-220E Maintenance Awareness (1999), Pratt & Whitney
- [28] F100-PW-220/-220E Intermediate Level Disassembly-Reassembly (1999), Pratt & Whitney

[29] REMAFA - Regulamento de Manutenção de Aeronaves da Força Aérea (1989), Força Aérea Portuguesa

[30] RFA 305-1(B) - Organização das Bases Aéreas (1998), Força Aérea Portuguesa

[31] T.O. 2J-F100-24 (Change 15 - 15 November 2002), USAF/Pratt & Whitney

[32] T.O. 2J-F100-14 (Change 18 - 15 January 2003), USAF/Pratt & Whitney

### **Outras Publicações**

[33] *F-16A/B Fighting Falcon for the Portuguese Air Force* (1990), Forth Worth: General Dynamics

[34] *Força Aérea Portuguesa - 50 Anos 50 Respostas* (2002), Sintra: Instituto de Altos Estudos da Força Aérea

[35] Gomes, Carlos e Lisboa, João (1999), *Apontamentos de Gestão Industrial*, Coimbra: Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra

[36] *Microsoft Access 2000 - Guia Prático 2000 (Biblioteca Exame Informática)*, Lisboa: Abril/Controljornal Editora, Lda.

[37] *Reliability-Centered Maintenance Analysis for In-Service Engines - Course Book* (2002), United States Air Force Institute of Technology

### **Revistas**

[38] Aires, Jorge (2004), *Programa F-16 MLU - Fazer Mais Depressa e Com Mais Eficiência*, Revista Mais Alto nº 352, Nov/Dez 2004, págs. 24 a 27

### **Papers**

[39] Deris; Omatu; Ohta; Kutar and Samat (1999), *Ship Maintenance Scheduling by Generic Algorithm and Constraint-Based Reasoning*, European Journal of Operational Research nr. 112, Elsevier Science

[40] Dieulle, Laurence (2002), *Reliability of Several Component Sets With Inspections at Random Times*, European Journal of Operational Research nr. 139, Elsevier Science

[41] Kuei, Chu-Hua and Madu, Christian (1994), *Polynomial Metamodelling and Taguchi Designs in Simulation With Application to the Maintenance Float System*, European Journal of Operational Research nr. 72, Elsevier Science

[42] Kumar, Dhananjay and Westberg, Ulf (1997), *Maintenance Scheduling Under Age Replacement Policy Using Proportional Hazards Model and TTT-Plotting*, European Journal of Operational Research nr. 99, Elsevier Science

[43] Scarf, Philip (1997), *On the Application of Mathematical Models in Maintenance*, European Journal of Operational Research nr. 99, Elsevier Science

[44] Vannest and Van Wassenhove (1995), *An Integrated and Structured Approach to Improve Maintenance*, European Journal of Operational Research nr. 82, Elsevier Science

[45] Yáñez; Ortuño and Vitoriano (1997), *A Simulation Approach to Reliability Analysis of Weapon Systems*, European Journal of Operational Research nr. 100, Elsevier Science

### Legislação

[46] Decreto-Lei nº 51/93 de 26 de Fevereiro - Aprova a Lei Orgânica da Força Aérea

[47] Decreto Regulamentar nº 52/94 de 03 de Setembro - Estabelece as atribuições, organização e competências do Comando Logístico e Administrativo da Força Aérea e dos órgãos dele dependentes

### Internet

[48] <http://www.af.mil> (08-09-2004)

[49] <http://www.airforce-technology.com> (07-09-2004)

[50] <http://www.defenselink.mil> (08-09-2004)

[51] <http://www.emfa.pt> (16-10-2004)

[52] <http://www.f-16.net> (08-09-2004)

[53] <http://www.fas.org> (07-09-2004)

[54] <http://www.geocities.com/egnnews> (20-01-2005)

[55] <http://www.military-aerospace-technology.com> (07-09-2004)

# **ANEXO 1**

## **Esquema Entidade-Associação**



# **ANEXO 2**

## **Descrição da Estrutura das Tabelas *Access***



# Missões

<b>Tabela T_Missoes_Parametros_Iniciais</b>
<b>Função</b>
Tabela de <i>input</i> em que se definem as características das missões a voar no período simulado
<b>Campos</b>
<b>Duração Standard dos Voos<sup>1</sup> (D):</b> Este campo diz respeito à duração média dos voos, em horas, e é usado na geração pseudo-aleatória do tempo associado a cada missão
<b>Raio<sup>1</sup> (R):</b> valor que somado e subtraído a D nos dá, em horas, os extremos do intervalo de variação da duração dos voos, ou seja, o intervalo [D-R ; D+R]
A duração X de cada voo simulado é pseudo-aleatoriamente gerada de acordo com uma distribuição uniforme em [D-R ; D+R] fazendo-se: $X = \text{Rand} * 2R + D - R$ Em que: Rand - Valores pseudo-aleatórios uniformemente distribuídos em [ 0 ; 1 ] D - Duração do voo R - Raio
Quando há várias aeronaves envolvidas numa missão, admitem-se descolagens e aterragens simultâneas, ou seja, associam-se-lhes tempos de voo iguais.
A duração das acções de manutenção programadas e inopinadas é gerada de forma idêntica.
<b>Pesos Relativos das 10 Missões (<math>\Sigma = 100\%</math>) - valores de médios de 1996 a 2001<sup>1</sup>:</b> <b>ACT, AG Nav, Intcp, Ferry Instruments, CAP, AG Range, Gunnery, FCF, Trans Conv e Outras</b>
<b>Número Total de Missões:</b> campo reservado ao número anual de missões planeadas
<b>Data de Início / Data de Fim:</b> primeiro e último dias do período simulado

<b>Tabela T_Missoes_Consumos_Condicionamentos</b>
<b>Função</b>
Tabela de <i>input</i> onde se estabelece de que forma é que cada voo transmite desgaste aos motores e onde se definem os números mínimo e máximo de aeronaves afectos a cada tipo de missão

<sup>1</sup> Fonte: [23]

Campos
<b>Identificação de Missão (↔):</b> número de ordem atribuído a cada tipo de missão
<b>Nome da Missão:</b> designação abreviada da missão
<b>Descrição da Missão:</b> descrição sumária da missão
<b>Número Mínimo de Aeronaves / Número Máximo de Aeronaves:</b> números mínimo e máximo de aeronaves por tipo de missão <sup>2</sup>
<b>Consumo de CCy por IFT:</b> consumo médio de ciclos por hora de voo <sup>3</sup>
<b>Consumo de HS3 por IFT:</b> tempo médio de operação na zona quente por IFT <sup>3</sup>

Tabela T_Missoes_Voadas
Função
Tabela de <i>output</i> na qual são armazenados os dados das missões geradas pelo VBA, de acordo com as regras impostas
Campos
<b>Código de Missão (↔):</b> número de ordem de cada missão voada
<b>Data da Missão:</b> data gerada pelo VBA, de acordo com os parâmetros definidos
<b>Número Programado de Aeronaves:</b> número de aeronaves necessário para o cumprimento da missão - valor gerado com base nos critérios estabelecidos em T_Missoes_Consumos_Condicionamentos para cada tipo de missão, de acordo com uma distribuição uniforme em [Min ; Max]
<b>Número Real de Aeronaves:</b> número de aeronaves destacadas para cumprir a missão, tendo em conta o número de motores prontos - este valor será menor ou igual ao número programado de aeronaves
<b>Número Aeronaves Disponíveis:</b> número máximo de aeronaves prontas para voo na data de cada missão
Identificação de Missão
<b>IFT da Missão:</b> duração X do voo, em horas, gerada da forma atrás descrita
<b>EOT da Missão:</b> tempo de operação do motor, em horas, correspondente à duração do voo, ou seja, o produto da multiplicação de 1,6 pelo IFT da missão
<b>CCy da Missão:</b> ciclos consumidos na missão, de acordo com os critérios estabelecidos em T_Missoes_Consumos_Condicionamentos para o tipo de missão
<b>HS3 da Missão:</b> tempo de operação na zona quente, de acordo com os critérios estabelecidos em T_Missoes_Consumos_Condicionamentos para o tipo de missão

<sup>2</sup> Fonte: Esquadra 201

<sup>3</sup> Fonte: [23]

Tabela T_Missões_Motores	
Função	
Tabela de <i>output</i> em que o VBA regista os motores envolvidos em cada missão	
Campos	
Código de Missão (↔)	Estamos, neste caso, em presença de uma chave dupla, já que a cada código de missão estarão associados tantos números de série de motores quantas as aeronaves chamadas a cumprir objectivos do voo.
Número de Série do Motor (↔)	

## Atributos Directos - Motores

Tabela T_Motores_Conf_Situacao	
Função	
Tabela mista ( <i>input e output</i> ) onde se regista inicialmente a configuração e o estado de prontidão de cada motor <sup>4</sup> e que o VBA vai modificando ao longo do período simulado - mostra-nos, em cada momento, a composição actual dos motores e informa-nos acerca da sua disponibilidade para o voo	Nesta tabela incluem-se as configurações dormentes. Itens dormentes, sejam motores, módulos ou sub-módulos, são itens registados nas tabelas desde o início, mas apenas manipuláveis pelo programa em datas posteriores, pré-definidas. Este escalonamento da entrada ao serviço dos itens em apreço prende-se com o processo de transformação de motores, do qual vão sendo progressivamente libertados.
Campos	
Número de Série do Motor (↔)	
Números de Série dos 5 Módulos	
<b>Pronto:</b> campo lógico que assume o valor 1, caso se confirme a prontidão do motor, e o valor 0, se o mesmo estiver indisponível para voo	

<sup>4</sup> Fonte: DMA - EMMS

<b>Tabela T_Motores_Hist_Conf</b>	
<b>Função</b>	
Tabela mista criada para guardar as configurações iniciais e dormentes, bem como os principais dados a elas associados	
<b>Campos</b>	
<b>Número de Série do Motor (↔)</b>	A chave dupla justifica-se por duas razões: - Por um lado, cada motor pode repetidamente configurar-se de forma idêntica, isto é, uma determinada combinação de módulos pode, em ocasiões diferentes, surgir associada a um mesmo número de série de motor; - Por outro, pelos tempos envolvidos na montagem e desmontagem de módulos e pela forma como programámos a simulação, partimos do princípio simplificador de que não é possível termos mais do que uma nova configuração por dia. Na prática, poder-se-ia ter duas ou mais novas configurações, ainda que em condições pouco habituais - daí não ser necessário incluir, na chave, os números de série dos cinco módulos.
<b>Data de Início (↔):</b> primeiro dia de uma nova configuração	
<b>Data de Fim:</b> último dia da configuração	
<b>IFT Acumulado / CCy Acumulados /HS3 Acumulado:</b> unidades de monitorização consumidas por cada conjunto-chave, isto é, por cada par Número de Série do Motor - Data de Início	
<b>Números de Série dos 5 Módulos</b>	

## Atributos Directos - Módulos

<b>Tabela T_Modulos</b>
<b>Função</b>
Tabela conceptual que codifica cada tipo de módulo, atribuindo-lhe um número de 1 a 5
<b>Campos</b>
<b>Tipo de Módulo:</b> os cinco tipos de módulos, da <i>Fan</i> à <i>Gearbox</i> , passam a identificar-se através do algarismo que lhes é associado nesta tabela
<b>Nome do Módulo</b>

<b>Tabela T_Modulos_Situacao</b>
<b>Função</b>
Tabela mista onde se regista a situação de partida de cada módulo <sup>5</sup> , que é posterior e sistematicamente actualizada pelo VBA
<b>Campos</b>
<b>Número de Série do Módulo (↔)</b>
<b>Tipo de Módulo</b>
<b>Operacional:</b> Campo lógico
<b>Instalado:</b> Campo lógico

<b>Tabela T_Modulos_Hist</b>
<b>Função</b>
Tabela mista onde inscrevemos as unidades de monitorização iniciais com que cada módulo parte para a simulação <sup>5</sup> , encarregando-se o VBA de acrescentar a informação relativa ao desgaste acumulado no período simulado
<b>Campos</b>
<b>Número de Série do Módulo (↔)</b>
<b>IFT Inicial / CCy Iniciais / HS3 Inicial</b>
<b>IFT Acumulado / CCy Acumulados / HS3 Acumulado:</b> unidades de monitorização consumidas pelo módulo, independentemente dos motores que integrou

<b>Tabela T_Modulos_HPC_Conf_Actual</b>
<b>Função</b>
Tabela mista onde se regista a configuração de partida de cada <i>Cores</i> , que é posterior e sistematicamente actualizada pelo VBA
<b>Campos</b>
<b>Número de Série do Core (↔)</b>
<b>Número de Série da HPT</b>

<sup>5</sup> Fonte: DMA - EMMS

Tabela T_Modulos_HPC_Hist_Conf	
Função	
Tabela mista criada para guardar as configurações iniciais e dormentes, bem como os principais dados a elas associados	
Campos	
Número de Série do <i>Core</i> (↔)	A chave tripla permite que, num mesmo dia, um <i>Core</i> assuma, sem problemas para a simulação, mais do que uma configuração, embora essa possibilidade seja bastante remota.
Número de Série da HPT (↔)	
Data da Configuração (↔): primeiro dia de uma nova configuração	
Data de Fim: último dia da configuração	
IFT Acumulado / CCy Acumulados / HS3 Acumulado: unidades de monitorização consumidas por cada conjunto-chave, isto é, por cada trio Número de Série do <i>Core</i> - Número de Série da HPT - Data da Configuração	

## Níveis de Desagregação de Conjuntos

Tabela T_Tipos_DSB_RSB	
Função	
Tabela conceptual onde se definem códigos para os níveis 0 a 2 de desagregação de conjuntos ( <i>disassembly-reassembly levels</i> ), subseqüentemente usados noutras tabelas	
Campos	
DSB-RSB (↔) - <i>disassembly-reassembly</i> : codificação dos níveis considerados de desagregação de conjuntos	
Estabeleceu-se, neste âmbito, a seguinte codificação:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nível 0 = AER (motor na <u>AER</u>onave);</li> <li>- Nível 1 = REM (motor <u>RE</u>Movido da aeronave);</li> <li>- Nível 2 = DMT (motor <u>Des</u>MonTado).</li> </ul>	
Descrição do DSB-RSB: descrição sumária de cada nível de DSB-RSB	

# Pequenas e Médias Inspeções Programadas - Motores

**Tabela T\_Motores\_Insp\_Regras\_Contador**

Função
Tabela mista onde se inscrevem, para cada motor, as inspeções vigentes e onde se registam as unidades de monitorização consumidas, por cada um deles, desde a última inspeção do tipo considerado, ficando as subseqüentes actualizações de valores à responsabilidade do VBA
Campos
<b>Número de Série do Motor (↔)</b>
<b>Inspeção 1 / Inspeção 2 / Inspeção 3:</b> valor do intervalo subjacente à inspeção à qual se escolheu atribuir, respectivamente, a primeira, a segunda ou a terceira posição
<b>Tolerância da Inspeção 1 / Tolerância da Inspeção 2 / Tolerância da Inspeção 3,</b> expressa em percentagem do tempo limite correspondente
<b>Unidade da Inspeção 1 / Unidade da Inspeção 2 / Unidade da Inspeção 3:</b> unidades de monitorização de cada inspeção
<b>Inspeção 1 Acumulado / Inspeção 2 Acumulado / Inspeção 3 Acumulado:</b> unidades de monitorização consumidas desde a última inspeção de cada tipo
Os contadores correspondentes são colocados a zero, sempre que se cumpre uma destas inspeções.

**Tabela T\_Motores\_Insp\_Tempos**

Função	
Tabela de <i>input</i> onde constam os tempos médios de inspeção a considerar em cada caso	
Campos	
<b>Tipo de Inspeção (↔):</b> Inspeção 1, 2 ou 3	
<b>Tempo Standard de Inspeção (I)<sup>6</sup></b>	A duração de cada inspeção simulada será pseudo-aleatoriamente gerada de acordo com uma distribuição uniforme em [I-R ; I+R].
<b>Raio (R)</b>	
<b>Unidade de Tempo:</b> unidade de tempo associada aos prazos médios de inspeção e respectivos desvios - horas ou dias	
<b>DSB-RSB:</b> tipo de "disassembly-reassembly" decorrente da paragem, ou seja, nível de desagregação de conjuntos a que a paragem obriga	

<sup>6</sup> Fonte: Esquadra de Material - BA 5

# Pequenas, Médias e Grandes Inspeções Programadas - Módulos

<b>Tabela T_Modulos_Insp_Regras_Contador</b>	
<b>Função</b>	
Tabela mista onde se inscrevem, para cada módulo, as inspeções vigentes, onde se registam as unidades de monitorização consumidas, por cada módulo, desde a última intervenção do tipo considerado, ficando as subsequentes actualizações de valores à responsabilidade do VBA, e através da qual se controlam as avarias e a tipologia dos <i>overhauls</i> (4000 ou 8000 CCy) a realizar	
<b>Campos</b>	
Estrutura semelhante à da tabela T_Motores_Insp_Regras_Contador. Contempla, no entanto, 8 campos adicionais:	
.....	
<b>OH:</b> valor do intervalo subjacente ao <i>overhaul</i>	
<b>Tolerância do OH,</b> expressa em percentagem do tempo limite correspondente	
<b>Unidade do OH:</b> unidade de monitorização subjacente ao <i>overhaul</i>	
<b>OH Acumulado:</b> unidades de monitorização consumidas desde a última regeneração	
<b>Próximo OH 8000:</b> campo lógico que identifica a tipologia do próximo <i>overhaul</i> , grande (1) ou pequeno (0)	
<b>Avaria 1 / Avaria 2 / Avaria 3:</b> contagem das avarias pseudo-aleatoriamente geradas, para garantir o cumprimento das frequências mínimas e máximas estabelecidas em T_Modulos_Avarias_Prob_Tempos	

<b>Tabela T_Modulos_Custos_OH</b>	
<b>Função</b>	
Tabela de <i>input</i> através da qual são fixados dos <i>overhauls</i> dos 4000 e dos 8000 CCy para cada tipo de módulo	
<b>Campos</b>	
<b>Tipo de Módulo (↔)</b>	
<b>Custo do OH 4000 / Custo do OH 8000<sup>7</sup></b>	

<sup>7</sup> Fonte: DMA



Tabela T_Módulos_Custos_OH_Híst	
Função	
Tabela de <i>output</i> onde ficam registados os encargos históricos de <i>overhaul</i>	
Campos	
Número de Série do Módulo (↔)	A chave é dupla para permitir que haja, por cada módulo, tantas entradas como os <i>depots</i> a que é sujeito.
Data Limite do OH (↔): data em que o módulo atingiu o limite fixado para entrada em <i>depot</i>	
Custo do OH	

## Avarias e Reparções

Tabela T_Módulos_Avarias_Nível	
Função	
Tabela conceptual onde se codificam os diferentes níveis de anomalias que serão pseudo-aleatoriamente geradas pelo VBA, de acordo com as regras impostas	
Campos	
Tipo de Avaria (↔): são definidos quatro graus de gravidade - G1 a G4 - em que o primeiro corresponde a uma avaria ligeira e o último a um <i>crash</i>	
Descrição da Avaria	

Tabela T_Módulos_Avarias_Prob_Tempos	
Função	
Tabela de <i>input</i> onde, para cada tipo de módulo, se estabelecem as probabilidades de ocorrência das anomalias G1 a G4 <sup>8</sup>	
Campos	
Tipo de Avaria (↔)	A chave é dupla, porque a tabela comporta todas as combinações possíveis entre tipo de avaria e tipo de módulo.
Tipo de Módulo (↔)	
Frequência Mínima / Frequência Máxima <sup>9</sup> : Números mínimo e máximo de vezes que um módulo regista esse tipo de avaria	
Base das Frequências em IFT <sup>9</sup> : Tempo de voo (IFT) ao qual se aplicam as frequências mínima e máxima	

<sup>8</sup> Fonte: G1 a G3 (Avarias nos Módulos) - DMA

G4 (Probabilidade de Acidente) - Estipulada por Nós

<sup>9</sup> Fonte: DMA

<b>DSB-RSB:</b> nível de desagregação de conjuntos associado a cada conjunto-chave Tipo de Avaria - Tipo de Módulo	
<b>Tempo Standard de Imobilização (B)<sup>10</sup>:</b> tempo médio de reparação	A duração de cada reparação simulada será pseudo-aleatoriamente gerada de modo a estar uniformemente distribuída no intervalo [B-R ; B+R].
<b>Raio (R)<sup>10</sup></b>	
- <b>Unidade de Tempo:</b> unidade de tempo associada aos prazos médios de reparação - horas ou dias.	

# Históricos de Paragem

<b>Tabela T_Motores_Hist_Stops</b>	
<b>Função</b>	
Tabela mista na qual se guarda informação referente às paragens de cada motor, constituindo-se como a principal ferramenta de monitorização das imobilizações	
Também aqui são registadas configurações dormentes e é a partir desta tabela que se dá a sua activação, quando se atinge a data que resulta da soma do dia da paragem fictícia (01-01-2005) com o tempo de dormência associado a cada número de série.	
<b>Campos</b>	
<b>Número de Série do Motor (↔)</b>	A chave é tripla, porque um motor pode parar, num mesmo dia, por vários motivos diferentes.
<b>Data da Paragem (↔):</b> dia em que se verifica a paragem	
<b>Tipo de Paragem (↔):</b> este campo especifica se o motor parou para inspecção, própria ou de qualquer um dos seus subconjuntos, para reparação ou se deixou de operar por força de um acidente	

<sup>10</sup> Fonte: DMA

**Tempo de Inspeção-Reparação-*Standby***: este campo guarda a duração de todas as paragens - note-se, porém, que a entrada em *standby* não se aplica ao motor, sendo aqui mencionada apenas porque o nome deste campo é, por comodidade, comum a todos os órgãos

A esse propósito, interessa referir que o *Core* entra em *standby* em duas situações:

- Quando, ainda com potencial, lhe é removida a HPT para *depot* - fica à espera de uma HPT operacional para voltar a ser instalado num motor;
- Quando, sem potencial, é separado da HPT que o integra e que ainda está longe de atingir o correspondente limite - fica à espera de uma HPT "esgotada", sem a qual não pode seguir para *depot*.

Sublinhamos que, enquanto a HPT é independente do *Core* para efeitos de *overhaul*, podendo ser a ele sujeita individualmente, o inverso não se verifica, ou seja, o *Core* não pode ser enviado para *depot* sem um sub-módulo no seu interior.

**DSB-RSB**: tipo de "*disassembly-reassembly*" decorrente da paragem, ou seja, nível de desagregação de conjuntos a que a paragem obriga

**IFT Acumulado / EOT Acumulado / CCy Acumulados / HS3 Acumulado**: unidades de monitorização consumidas pela configuração que acaba de parar

**Tabela T\_Modulos\_HPC\_Standby**

Função	
Tabela mista que permite a gestão dos <i>Cores</i> em espera	
Campos	
<b>Número de Série do <i>Core</i> (↔)</b>	A chave é dupla, porque é expectável que cada <i>Core</i> entre em espera mais do que uma vez no período simulado, não sendo, no entanto, possível que entre em espera mais do que uma vez por dia.
<b>Data de Início da Espera (↔): dia em que o <i>Core</i> entra em <i>standby</i></b>	
<b>Data de Fim da Espera</b> : dia em que o <i>Core</i> termina a espera	
<b>Operacional</b> : campo lógico, através do qual se distinguem as esperas com potencial (1) das esperas sem potencial (0)	
<b>Número de Série da HPT</b> : número de série da HPT, cujo emparelhamento com o <i>Core</i> , encerra o período de <i>standby</i>	

# **ANEXO 3**

**Perfil de *Overhauls* de Cada Corrida de  
Simulação e Respectiveos Desvios Face à  
Média**

# Outputs

Ano	Corrida 1				
	AUG	CORE	FAN	GBX	LPT
2005	3	5	8	4	7
2006	0	4	5	1	1
2007	2	2	2	1	1
2008	10	0	4	1	0
2009	4	0	1	3	1
2010	10	0	2	0	1
2011	1	0	0	1	2
2012	4	1	1	0	8
2013	11	5	2	1	5
2014	11	6	8	3	10
2015	8	10	6	1	4
2016	2	9	7	2	3
2017	16	4	6	6	1
2018	12	5	5	4	5
2019	8	1	5	2	5
2020	4	0	2	3	6
2021	5	7	2	8	6
2022	13	4	7	6	10
2023	7	7	7	3	3
2024	8	11	8	1	5
2025	7	8	7	2	5
2026	13	4	7	1	4
2027	10	0	2	3	4
2028	5	1	3	4	5
2029	3	7	2	6	10
2030	7	3	7	3	6
2031	18	5	2	3	3
2032	7	13	7	2	3
2033	6	7	10	2	3
2034	6	4	5	3	6
2035	13	1	5	2	4

Ano	Corrida 2				
	AUG	CORE	FAN	GBX	LPT
2005	3	4	7	5	6
2006	0	5	6	0	1
2007	1	1	2	1	1
2008	10	1	3	1	1
2009	4	0	2	2	0
2010	8	0	1	1	2
2011	4	0	1	0	1
2012	1	1	2	0	8
2013	13	5	0	0	3
2014	8	6	6	1	8
2015	8	9	9	2	4
2016	4	8	7	5	5
2017	18	7	6	5	2
2018	6	4	10	4	5
2019	6	1	1	4	2
2020	7	1	2	6	6
2021	8	4	1	4	5
2022	14	6	4	6	11
2023	5	5	8	2	3
2024	13	14	9	0	3
2025	2	5	6	2	3
2026	11	4	7	2	4
2027	10	2	4	0	5
2028	5	2	1	3	4
2029	8	3	0	4	7
2030	9	6	10	6	8
2031	15	5	6	6	3
2032	6	11	7	6	3
2033	7	9	8	8	8
2034	5	4	6	4	5
2035	9	1	4	0	2

Ano	Corrida 3				
	AUG	CORE	FAN	GBX	LPT
2005	3	5	7	3	7
2006	0	4	5	3	1
2007	1	2	4	0	1
2008	7	0	3	1	0
2009	10	0	2	2	1
2010	4	0	1	0	2
2011	5	0	1	1	1
2012	2	2	1	0	9
2013	15	4	0	1	1
2014	9	6	8	2	10
2015	9	8	6	3	2
2016	4	11	7	3	6
2017	14	3	7	3	4
2018	8	6	7	4	3
2019	8	1	3	4	10
2020	4	2	1	7	4
2021	7	5	3	5	3
2022	13	5	7	5	9
2023	8	7	7	1	2
2024	13	11	7	1	6
2025	6	5	5	1	3
2026	5	6	8	5	6
2027	10	0	5	5	6
2028	8	2	1	0	5
2029	4	5	4	5	6
2030	9	5	5	2	7
2031	11	6	6	5	3
2032	10	11	5	4	4
2033	7	5	6	4	7
2034	7	6	8	4	6
2035	9	1	4	4	6

Ano	Corrida 4				
	AUG	CORE	FAN	GBX	LPT
2005	3	4	6	5	7
2006	0	5	6	0	2
2007	2	1	4	1	1
2008	9	1	3	2	1
2009	4	0	1	1	2
2010	12	0	1	0	1
2011	2	0	2	1	0
2012	2	1	1	0	8
2013	11	5	3	1	4
2014	8	5	7	2	6
2015	9	12	5	4	5
2016	2	6	7	3	3
2017	18	6	4	5	3
2018	13	4	7	4	6
2019	6	2	8	1	6
2020	2	1	1	6	5
2021	7	5	1	6	1
2022	11	5	7	7	8
2023	9	9	5	0	7
2024	13	9	7	1	7
2025	7	5	5	2	2
2026	10	5	7	1	5
2027	6	2	6	1	4
2028	6	1	2	1	5
2029	7	5	5	7	5
2030	13	7	6	4	6
2031	8	4	4	1	8
2032	9	14	7	6	5
2033	8	4	3	7	3
2034	5	5	5	2	7
2035	11	1	10	0	0

Ano	Corrida 5				
	AUG	CORE	FAN	GBX	LPT
2005	3	4	7	2	7
2006	0	5	5	3	1
2007	0	1	4	1	1
2008	10	1	4	2	1
2009	5	0	0	1	2
2010	10	0	1	0	0
2011	3	0	1	1	1
2012	1	0	2	0	7
2013	16	6	2	0	4
2014	3	5	5	2	8
2015	11	10	5	4	6
2016	3	9	10	2	5
2017	15	5	6	5	2
2018	12	3	5	5	2
2019	6	3	6	4	7
2020	2	1	2	3	6
2021	7	5	3	3	2
2022	14	6	8	7	13
2023	6	7	5	3	5
2024	10	12	7	1	8
2025	7	4	7	1	1
2026	15	3	6	5	3
2027	7	3	5	0	8
2028	5	1	1	5	2
2029	2	5	4	4	6
2030	14	5	6	4	7
2031	14	6	3	6	6
2032	7	10	8	2	6
2033	5	8	7	8	2
2034	4	3	10	3	5
2035	15	3	2	1	4

Ano	Corrida 6				
	AUG	CORE	FAN	GBX	LPT
2005	3	4	7	4	7
2006	0	3	6	1	2
2007	1	3	3	1	1
2008	10	1	3	1	1
2009	5	0	1	1	1
2010	9	0	1	0	0
2011	4	0	0	1	3
2012	2	1	2	0	6
2013	13	5	0	0	5
2014	10	6	8	1	8
2015	6	10	9	3	5
2016	6	8	7	4	5
2017	13	5	4	5	2
2018	7	4	8	8	5
2019	10	2	3	3	5
2020	6	1	1	2	5
2021	6	6	1	5	4
2022	10	4	8	6	9
2023	11	9	5	2	3
2024	9	10	11	1	7
2025	4	5	5	0	2
2026	10	4	7	3	5
2027	11	2	4	3	6
2028	7	1	1	2	5
2029	5	7	2	5	7
2030	9	4	8	7	10
2031	12	6	4	3	3
2032	11	10	7	4	5
2033	4	7	6	9	2
2034	7	5	8	3	6
2035	9	2	5	0	6

Ano	Corrida 7				
	AUG	CORE	FAN	GBX	LPT
2005	3	5	7	3	8
2006	0	4	5	2	1
2007	2	2	3	1	1
2008	6	0	5	1	1
2009	8	0	0	1	2
2010	7	0	2	0	0
2011	5	0	1	1	2
2012	2	2	0	0	4
2013	11	4	1	0	4
2014	12	5	6	2	10
2015	5	10	8	3	5
2016	5	6	9	4	3
2017	15	8	3	3	5
2018	9	3	9	5	3
2019	10	3	5	7	6
2020	2	3	0	4	7
2021	9	3	2	3	2
2022	9	5	5	6	12
2023	12	5	7	2	4
2024	8	14	8	0	4
2025	6	5	7	2	3
2026	9	4	4	4	6
2027	12	2	7	1	6
2028	6	3	1	2	1
2029	4	3	5	5	7
2030	9	5	6	4	11
2031	12	4	6	9	2
2032	11	13	8	1	7
2033	4	7	2	6	6
2034	8	4	6	5	4
2035	10	3	6	0	6

Ano	Corrida 8				
	AUG	CORE	FAN	GBX	LPT
2005	3	5	6	4	6
2006	1	4	6	1	2
2007	0	2	3	1	1
2008	10	0	4	2	0
2009	4	0	1	0	3
2010	9	0	2	0	0
2011	5	0	0	1	2
2012	1	1	1	0	9
2013	12	5	2	1	2
2014	12	6	9	3	12
2015	7	10	3	3	4
2016	4	8	8	3	4
2017	13	5	7	6	1
2018	11	5	6	7	4
2019	8	1	6	2	6
2020	6	0	1	5	6
2021	4	6	2	2	6
2022	12	6	8	5	12
2023	9	8	4	1	1
2024	10	9	7	2	8
2025	5	6	5	1	2
2026	13	5	9	3	5
2027	5	1	4	3	1
2028	7	1	0	1	8
2029	7	5	6	6	5
2030	13	7	8	4	9
2031	10	1	2	4	4
2032	7	13	10	4	7
2033	6	5	0	7	7
2034	7	5	10	5	4
2035	14	1	1	1	3

Ano	Corrida 9			
	AUG	CORE	FAN	LFT
2005	3	4	6	6
2006	0	3	7	2
2007	1	3	3	1
2008	2	1	4	2
2009	6	0	0	1
2010	9	0	1	0
2011	2	0	0	0
2012	1	0	1	0
2013	14	7	3	1
2014	8	5	9	2
2015	8	8	7	2
2016	4	10	4	3
2017	11	5	3	4
2018	13	4	4	4
2019	9	2	11	6
2020	6	1	3	5
2021	4	6	1	4
2022	10	5	5	7
2023	10	7	10	2
2024	11	10	7	1
2025	8	6	7	1
2026	9	1	4	2
2027	8	5	8	0
2028	7	1	5	2
2029	6	6	4	9
2030	9	5	6	4
2031	13	6	6	6
2032	10	13	5	3
2033	5	4	2	8
2034	9	4	6	1
2035	13	2	6	4

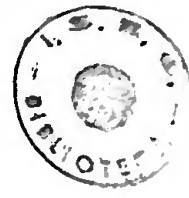
Ano	Corrida 10			
	AUG	CORE	FAN	LFT
2005	3	5	6	6
2006	0	4	6	2
2007	0	2	4	1
2008	10	0	4	1
2009	8	0	0	1
2010	8	0	2	0
2011	3	0	2	1
2012	1	0	0	0
2013	10	6	1	0
2014	12	6	3	2
2015	8	9	8	4
2016	4	8	9	4
2017	11	7	6	3
2018	16	5	3	7
2019	4	0	6	5
2020	5	0	0	3
2021	9	6	3	6
2022	12	6	6	3
2023	10	10	7	2
2024	7	6	7	1
2025	7	9	4	2
2026	9	1	6	2
2027	9	3	7	3
2028	6	0	2	2
2029	8	5	3	5
2030	9	7	9	3
2031	11	7	4	5
2032	8	10	7	5
2033	5	7	2	7
2034	10	2	9	2
2035	8	3	5	3

## Corrida Consolidada

Ano	MÉDIA							Média Global
	AUG	CORE	FAN	GBX	LFT	TOTAL		
2005	3	4,5	6,7	3,5	6,7	24,4	4,85	2,6
2006	0,1	4,1	5,7	1,6	1,5	13	1,3	1,6
2007	1	1,9	3,2	0,9	1	8	1,5	3,1
2008	9,1	0,5	3,7	1,4	0,8	15,5	1,84	1,84
2009	5,8	0	0,8	1,3	1,3	9,2	1,84	2,16
2010	8,6	0	1,4	0,2	0,6	10,8	1,22	1,22
2011	3,4	0	0,8	0,8	1,1	6,1	1,1	2,22
2012	1,7	0,9	1,1	0	7,4	11,1	1,1	4,66
2013	12,6	5,2	1,4	0,5	3,6	23,3	3,3	6,6
2014	9,3	5,6	7,1	2	9	31,5	6,3	6,3
2015	7,9	9,6	6,6	2,7	4,7	27,5	5,5	5,5
2016	3,8	8,3	7,5	3,4	4,5	31,9	6,38	6,38
2017	14,4	5,5	5,2	4,5	2,3	31,9	6,2	4,2
2018	10,7	4,3	6,6	5,3	4,2	24,5	4,9	4,9
2019	7,5	1,9	5,4	3,8	6,2	16,2	3,24	3,24
2020	4,4	1	1,3	4,4	5,1	12,7	2,7	4,54
2021	6,6	5,3	1,9	4,6	4,3	22,7	4,54	4,54
2022	11,8	5,2	6,3	5,8	10,2	39,3	7,86	7,86
2023	5,7	7,4	6,5	2,1	3,9	28,6	5,72	5,72
2024	10,2	10,6	7,8	0,9	6,5	36	7,2	7,2
2025	5,9	5,8	5,2	1,6	2,5	21	4,2	4,2
2026	10,4	3,7	6,5	2,8	4,4	27,8	5,56	5,56
2027	8,8	2	5,2	1,9	4,9	22,8	4,56	4,56
2028	6,2	1,3	1,7	2,5	4,9	16,6	3,32	3,32
2029	5,4	5,1	3,5	5,6	6,2	25,8	5,16	5,16
2030	10,1	5,4	7,1	4,1	8,7	35,4	7,08	7,08
2031	12,4	5,3	4,3	5,2	3,4	30,6	6,12	6,12
2032	8,6	11,8	7,1	3,7	5,5	36,7	7,34	7,34
2033	5,7	6,3	4,7	7,3	4,6	28,6	5,72	5,72
2034	6,8	4,2	7,3	3,2	5,4	26,9	5,38	5,38
2035	11,1	1,8	5,1	1,7	4	23,7	4,74	4,74



## Desvios dos Outputs Face à Corrida Consolidada



Ano	Corrida 1				
	AUG	CORE	FAN	GBX	LPT
2005	0,0	0,5	1,3	0,5	0,3
2006	0,1	0,1	0,7	0,6	0,5
2007	1,0	0,1	1,2	0,1	0,0
2008	0,9	0,5	0,3	0,4	0,8
2009	1,8	0,0	0,2	1,7	0,3
2010	1,4	0,0	0,6	0,2	0,4
2011	2,4	0,0	0,8	0,2	0,9
2012	2,3	0,1	0,1	0,0	0,6
2013	1,6	0,2	0,6	0,5	1,4
2014	1,7	0,4	0,9	1,0	1,0
2015	0,1	0,4	0,6	1,7	0,7
2016	1,8	0,7	0,5	0,4	1,3
2017	1,6	1,5	0,8	1,5	1,3
2018	1,3	0,7	1,6	1,2	0,8
2019	0,5	0,6	0,4	1,8	1,2
2020	0,4	1,0	0,7	1,4	0,9
2021	1,6	1,7	0,1	3,4	1,7
2022	1,2	1,2	0,7	0,2	0,2
2023	1,7	0,4	0,5	0,9	0,9
2024	2,2	0,4	0,2	0,1	1,5
2025	1,1	2,2	1,8	0,4	2,5
2026	2,6	0,3	0,5	1,8	0,4
2027	1,2	2,0	3,2	1,1	0,9
2028	1,2	0,3	1,3	1,5	0,1
2029	2,4	1,9	1,5	0,4	3,8
2030	3,1	2,4	0,1	1,1	2,7
2031	5,6	0,3	2,3	2,2	0,4
2032	1,6	1,2	0,1	1,7	2,5
2033	0,3	0,7	5,3	1,7	0,4
2034	0,8	0,2	2,3	0,2	0,6
2035	1,9	0,8	0,1	0,3	0,0
Somatório dos Desvios					162,9

Ano	Corrida 2				
	AUG	CORE	FAN	GBX	LPT
2005	0,0	0,5	0,3	1,5	0,7
2006	0,1	0,9	0,3	1,6	0,5
2007	0,0	0,0	1,2	0,1	0,0
2008	0,9	0,5	0,7	0,4	0,2
2009	1,8	0,0	1,2	0,7	1,3
2010	0,6	0,0	0,4	0,8	1,4
2011	0,6	0,0	0,2	0,8	0,1
2012	0,7	0,1	0,9	0,0	0,6
2013	0,4	0,2	1,4	0,5	0,6
2014	1,3	0,4	1,1	1,0	1,0
2015	0,1	0,6	2,4	0,7	0,7
2016	0,2	0,3	0,5	1,6	0,5
2017	3,6	1,5	0,8	0,5	0,3
2018	4,7	0,3	3,4	1,2	0,8
2019	1,5	0,6	4,4	0,2	1,2
2020	2,6	0,0	0,7	1,6	0,9
2021	1,4	1,3	0,9	0,6	0,7
2022	2,2	0,8	2,3	0,2	0,8
2023	3,7	2,4	1,5	0,1	0,1
2024	2,8	3,4	1,2	0,9	1,5
2025	3,9	0,8	0,8	0,4	0,5
2026	0,6	0,3	0,5	0,8	0,4
2027	1,2	0,0	1,2	1,9	0,1
2028	1,2	0,7	0,7	0,5	0,9
2029	2,6	2,1	3,5	1,6	0,8
2030	1,1	0,6	2,9	1,9	0,7
2031	2,6	0,3	1,7	0,8	0,4
2032	2,6	0,8	0,1	2,3	0,5
2033	1,3	2,7	3,3	0,7	3,4
2034	1,8	0,2	1,3	0,8	0,4
2035	2,1	0,8	1,1	1,7	2,0
Somatório dos Desvios					169,5

Ano	Corrida 3				
	AUG	CORE	FAN	GBX	LPT
2005	0,0	0,5	0,3	0,5	0,3
2006	0,1	0,1	0,7	1,4	0,5
2007	0,0	0,1	0,8	0,9	0,0
2008	2,1	0,5	0,7	0,4	0,8
2009	4,2	0,0	1,2	0,7	0,3
2010	4,6	0,0	0,4	0,2	1,4
2011	1,6	0,0	0,2	0,2	0,1
2012	0,3	1,1	0,1	0,0	1,6
2013	2,4	1,2	1,4	0,5	2,6
2014	0,3	0,4	0,9	0,0	1,0
2015	1,1	1,6	0,6	0,3	2,7
2016	0,2	2,7	0,2	0,4	1,5
2017	0,4	2,5	1,8	1,5	1,7
2018	2,7	1,7	0,4	1,2	1,2
2019	0,5	0,6	2,4	0,2	3,8
2020	0,4	1,0	0,3	2,6	1,1
2021	0,4	0,3	1,1	0,4	1,3
2022	1,2	0,2	0,7	0,8	1,2
2023	0,7	0,4	0,5	1,1	0,9
2024	2,8	0,4	0,8	0,1	0,5
2025	0,1	0,8	0,2	0,6	0,5
2026	5,4	2,3	1,5	2,2	1,6
2027	1,2	2,0	0,2	3,1	1,1
2028	1,8	0,7	0,7	2,5	0,1
2029	1,4	0,1	0,5	0,6	0,2
2030	1,1	0,4	2,1	2,1	1,7
2031	1,4	0,7	1,7	0,2	0,4
2032	1,4	0,8	2,1	0,3	1,5
2033	1,3	1,3	1,3	3,3	2,4
2034	0,2	1,8	0,7	0,8	0,6
2035	2,1	0,8	1,1	2,3	2,0
Somatório dos Desvios					166,3

Ano	Corrida 4				
	AUG	CORE	FAN	GBX	LPT
2005	0,0	0,5	0,7	1,5	0,3
2006	0,1	0,9	0,3	1,6	0,5
2007	1,0	0,9	0,8	0,1	0,0
2008	0,1	0,5	0,7	0,6	0,2
2009	1,8	0,0	0,2	0,3	0,7
2010	3,4	0,0	0,4	0,2	0,4
2011	1,4	0,0	1,2	0,2	1,1
2012	0,3	0,1	0,1	0,0	0,6
2013	1,6	0,2	1,6	0,5	0,4
2014	1,3	0,6	0,1	0,0	3,0
2015	1,1	2,4	1,6	1,3	0,3
2016	1,8	2,3	0,5	0,4	0,5
2017	3,6	0,5	1,2	0,5	0,7
2018	2,3	0,3	0,4	1,2	1,8
2019	1,5	0,4	2,6	2,8	0,2
2020	2,4	0,0	0,3	1,6	0,1
2021	0,4	0,3	0,9	1,4	3,3
2022	0,8	0,2	0,7	1,2	2,2
2023	0,3	1,6	1,5	2,1	3,1
2024	2,8	1,6	0,8	0,1	0,5
2025	1,1	0,8	0,2	0,4	0,5
2026	0,4	1,3	0,5	1,8	0,6
2027	2,8	0,0	0,8	0,9	0,9
2028	0,2	0,3	0,3	1,5	0,1
2029	1,6	0,1	1,5	1,4	1,2
2030	2,9	1,6	1,1	0,1	0,6
2031	4,4	1,3	0,3	0,2	2,3
2032	0,4	2,2	0,1	2,3	0,5
2033	2,3	2,3	1,7	0,3	2,6
2034	1,8	0,8	2,3	1,2	1,6
2035	0,1	0,8	4,9	1,7	0,0
Somatório dos Desvios					161,3

Ano	Corrida 5					LPT
	AUG	CORE	FAN	GBX	LFT	
2005	0,0	0,5	0,3	1,5	0,3	
2006	0,1	0,9	0,7	1,4	0,5	
2007	1,0	0,9	0,8	0,1	0,0	
2008	0,9	0,5	0,3	0,6	0,2	
2009	0,8	0,0	0,8	0,3	0,7	
2010	1,4	0,0	0,4	0,2	0,6	
2011	0,4	0,0	0,2	0,2	0,1	
2012	0,7	0,9	0,9	0,0	0,4	
2013	3,4	0,6	0,6	0,5	0,4	
2014	6,3	0,6	2,1	0,0	1,0	
2015	3,1	0,4	1,6	1,3	1,3	
2016	0,8	0,7	2,5	1,4	0,5	
2017	0,6	0,5	0,8	0,5	0,3	
2018	1,3	1,3	1,6	0,2	2,2	
2019	1,5	1,4	0,6	0,2	0,8	
2020	2,4	0,0	0,7	1,4	0,2	
2021	0,4	0,3	1,1	1,6	2,3	
2022	2,2	0,8	0,3	1,2	2,8	
2023	2,7	0,4	1,5	0,9	1,1	
2024	0,2	1,4	0,8	0,1	1,5	
2025	1,1	1,8	1,8	0,6	1,5	
2026	4,6	0,7	0,5	2,2	1,4	
2027	1,8	1,0	0,2	1,9	3,1	
2028	1,2	0,3	0,7	2,5	2,9	
2029	3,4	0,1	0,5	1,6	0,2	
2030	3,9	0,4	1,1	0,1	1,7	
2031	1,6	0,7	1,3	0,8	2,6	
2032	1,6	1,8	0,9	1,7	0,5	
2033	0,7	1,7	2,3	1,7	2,6	
2034	2,8	1,2	2,7	0,2	0,4	
2035	3,9	1,2	3,1	0,7	0,0	
Somatório dos Desvios						175,1

Ano	Corrida 6 - Corrida Modelo					LPT
	AUG	CORE	FAN	GBX	LFT	
2005	0,0	0,5	0,3	0,5	0,3	
2006	0,1	1,1	0,3	0,6	0,5	
2007	0,0	1,1	0,2	0,1	0,0	
2008	0,9	0,5	0,7	0,4	0,2	
2009	0,8	0,0	0,2	0,3	0,3	
2010	0,4	0,0	0,4	0,2	0,6	
2011	0,6	0,0	0,8	0,2	1,9	
2012	0,3	0,1	0,9	0,0	1,4	
2013	0,4	0,2	1,4	0,5	1,4	
2014	0,7	0,4	0,9	1,0	1,0	
2015	1,9	0,4	2,4	0,2	0,3	
2016	2,2	0,3	0,5	0,6	0,3	
2017	1,4	0,5	1,2	0,5	0,3	
2018	3,7	0,3	1,4	2,8	0,8	
2019	2,6	0,4	2,4	0,8	1,2	
2020	1,6	0,0	0,3	2,4	0,1	
2021	0,6	0,7	0,9	0,4	0,3	
2022	1,8	1,2	1,7	0,2	1,2	
2023	2,3	1,6	1,5	0,1	0,9	
2024	1,2	0,6	3,2	0,1	0,5	
2025	1,9	0,8	0,2	1,6	0,5	
2026	0,4	0,3	0,5	0,2	0,6	
2027	2,2	0,0	1,2	1,1	1,1	
2028	0,8	0,3	0,7	0,5	0,1	
2029	0,4	1,9	1,5	0,6	0,8	
2030	1,1	1,4	0,9	2,9	1,3	
2031	0,4	0,7	0,3	2,2	0,4	
2032	2,4	1,8	0,1	0,3	0,5	
2033	1,7	0,7	1,3	1,7	2,6	
2034	0,2	0,8	0,7	0,2	0,6	
2035	2,1	0,2	0,1	1,7	2,0	
Somatório dos Desvios						141,1

Ano	Corrida 7 - Corrida Menos Aproximada					LPT
	AUG	CORE	FAN	GBX	LFT	
2005	0,0	0,5	0,3	0,5	1,3	
2006	0,1	0,1	0,7	0,4	0,5	
2007	1,0	0,1	0,2	0,1	0,0	
2008	3,1	0,5	1,3	0,4	0,2	
2009	2,2	0,0	0,8	0,3	0,7	
2010	1,6	0,0	0,6	0,2	0,6	
2011	1,6	0,0	0,2	0,2	0,9	
2012	0,3	1,1	1,1	0,0	3,4	
2013	1,6	1,2	0,4	0,5	0,4	
2014	2,7	0,6	1,1	0,0	1,0	
2015	2,9	0,4	1,4	0,3	0,3	
2016	1,2	2,3	1,5	0,6	1,5	
2017	0,6	2,5	2,2	1,5	2,7	
2018	1,7	1,3	2,1	0,2	1,2	
2019	2,5	1,4	0,4	3,2	0,2	
2020	2,4	2,0	1,3	0,4	1,9	
2021	2,4	2,3	0,1	1,6	2,3	
2022	2,8	0,2	1,3	0,2	1,8	
2023	1,3	2,4	0,5	0,1	0,1	
2024	2,2	3,1	0,3	0,9	2,5	
2025	0,1	0,8	1,8	0,4	0,5	
2026	1,4	0,3	2,5	1,2	1,6	
2027	3,2	0,0	1,8	0,9	1,1	
2028	0,2	1,7	0,7	0,5	3,9	
2029	1,4	2,1	1,5	0,6	1,2	
2030	1,1	0,4	1,1	0,1	2,3	
2031	0,4	1,3	1,7	3,8	1,4	
2032	2,4	1,2	0,9	2,7	1,3	
2033	1,7	0,7	2,7	1,3	1,4	
2034	1,2	0,2	1,3	1,8	1,4	
2035	1,1	1,2	0,9	1,7	1,4	
Somatório dos Desvios						185,9

Ano	Corrida 8					LPT
	AUG	CORE	FAN	GBX	LFT	
2005	0,0	0,5	0,7	0,5	0,7	
2006	0,9	0,1	0,3	0,6	0,5	
2007	1,0	0,1	0,2	0,1	0,0	
2008	0,9	0,5	0,3	0,6	0,8	
2009	1,8	0,0	0,2	1,3	0,7	
2010	0,4	0,0	0,6	0,2	0,6	
2011	1,6	0,0	0,8	0,2	0,1	
2012	0,7	0,1	0,1	0,1	0,0	
2013	0,6	0,2	0,6	0,5	1,6	
2014	2,7	0,4	1,9	1,0	3,0	
2015	0,9	0,4	3,6	1,7	0,7	
2016	0,2	0,3	0,5	0,4	0,5	
2017	1,4	0,5	1,8	1,5	1,3	
2018	0,3	0,7	0,6	1,8	0,2	
2019	0,5	0,6	0,6	1,8	0,2	
2020	1,6	1,0	0,3	0,6	0,9	
2021	2,6	0,7	0,1	2,6	1,7	
2022	0,2	0,8	1,7	0,8	1,8	
2023	0,3	0,6	2,5	1,9	2,9	
2024	0,2	1,6	0,8	1,1	1,5	
2025	0,9	0,2	0,2	0,6	0,5	
2026	2,6	1,3	2,5	0,2	0,6	
2027	3,8	1,0	1,2	1,1	3,9	
2028	0,8	0,3	1,7	1,5	3,1	
2029	1,6	0,1	2,5	0,4	1,2	
2030	2,9	1,6	0,9	0,1	0,3	
2031	2,4	1,3	2,3	1,2	0,6	
2032	1,6	1,2	2,9	0,3	0,5	
2033	0,3	1,3	4,7	0,3	2,4	
2034	0,2	0,8	2,7	1,8	1,4	
2035	2,9	0,8	1,1	1,3	2,0	
Somatório dos Desvios						164,5

Ano	Corrida 9				
	AUG	CORE	FAN	GBX	LFT
2005	0,0	0,5	0,7	0,5	0,7
2006	0,1	1,1	1,3	0,4	0,5
2007	0,0	1,1	0,2	0,1	0,0
2008	0,1	0,5	0,3	0,6	1,2
2009	0,2	0,0	0,8	0,3	0,3
2010	0,4	0,0	0,4	0,8	0,6
2011	1,4	0,0	0,8	0,8	1,1
2012	0,7	0,9	0,1	0,0	0,6
2013	1,4	1,8	1,6	0,5	1,6
2014	1,3	0,6	1,9	0,0	2,0
2015	0,1	1,6	0,4	0,7	0,3
2016	0,2	1,7	3,5	0,4	0,5
2017	3,4	0,5	2,2	0,5	1,3
2018	2,3	0,3	2,6	1,2	0,2
2019	1,5	0,4	5,6	2,2	1,8
2020	1,6	0,0	1,7	0,6	2,1
2021	2,6	0,7	0,9	0,6	0,7
2022	1,8	0,2	1,3	1,2	1,2
2023	1,3	0,4	3,5	0,1	1,1
2024	0,8	0,6	0,8	0,1	0,5
2025	2,1	0,2	4,2	0,6	0,5
2026	1,4	2,7	2,5	0,8	0,4
2027	0,8	3,0	2,8	1,9	0,1
2028	0,8	0,3	3,3	0,5	1,1
2029	0,6	0,9	0,5	3,4	2,2
2030	1,1	0,4	1,1	0,1	3,3
2031	0,6	0,7	1,7	0,8	0,4
2032	1,4	1,2	2,1	0,7	0,5
2033	0,7	2,3	1,7	0,7	0,6
2034	2,2	0,2	1,3	2,2	1,4
2035	1,9	0,2	0,9	2,3	1,0
Somatório dos Desvios					167,9

Ano	Corrida 10				
	AUG	CORE	FAN	GBX	LFT
2005	0,0	0,5	0,7	1,5	0,7
2006	0,1	0,1	0,3	1,4	0,5
2007	1,0	0,1	0,8	0,1	0,0
2008	0,9	0,5	0,3	0,4	0,2
2009	2,2	0,0	0,8	0,3	0,3
2010	0,6	0,0	0,6	0,2	0,6
2011	0,4	0,0	1,2	0,2	1,1
2012	0,7	0,9	1,1	0,0	0,4
2013	2,6	0,8	0,4	0,5	2,4
2014	2,7	0,4	2,1	0,0	2,0
2015	0,1	0,6	1,4	1,3	2,3
2016	0,2	0,3	1,5	0,6	0,5
2017	3,4	1,5	0,8	1,5	0,3
2018	5,3	0,7	1,6	1,8	0,8
2019	3,5	1,6	0,6	1,2	2,2
2020	0,6	1,0	1,3	1,4	2,1
2021	2,4	0,7	1,1	1,4	4,7
2022	0,2	0,8	0,3	2,8	1,2
2023	1,3	2,6	0,5	0,1	0,1
2024	3,2	4,6	0,8	0,1	1,5
2025	1,1	3,2	1,2	2,4	0,5
2026	1,4	2,7	0,5	0,8	2,4
2027	0,2	1,0	1,8	1,1	0,9
2028	0,2	1,3	0,3	0,5	3,1
2029	2,6	0,1	0,5	0,6	0,8
2030	1,1	1,6	1,9	1,1	0,7
2031	1,4	1,7	0,3	0,2	2,4
2032	0,6	1,8	0,1	1,3	2,5
2033	0,7	0,7	2,7	0,3	1,6
2034	3,2	2,2	1,7	1,2	1,6
2035	3,1	1,2	0,1	1,3	1,0
Somatório dos Desvios					180,5