



Diogo Pestana de Almeida Campos

Licenciatura em Ciências da Engenharia Mecânica

**Capacitação de uma Empresa
Aeronáutica para Manutenção de
alguns Componentes de Aeronaves**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica

Orientadora: Professora Doutora Helena Vítorovna
Guitiss Navas, Professora Auxiliar, FCT/UNL
Coorientadora: Professora Doutora Teresa Leonor
Ribeiro Cardoso Martins Morgado, Professora Adjunta,
IPT-ESTA



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Março 2015

Capacitação de uma empresa aeronáutica para manutenção de alguns componentes de aeronaves

Copyright © 2015, Diogo Pestana de Almeida Campos , FCT/UNL, OGMA e UNL.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer às minhas orientadoras, Professora Doutora Helena Navas e Professora Doutora Teresa Morgado, pela sua permanente disponibilidade, ajuda e incentivo, por todas as sugestões, críticas e correções bem como pela confiança depositada no meu trabalho. Sem as duas professoras, não teria tido esta oportunidade de responder a esta parceria perante duas instituições tão importantes em Portugal, como a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa e a OGMA-Indústria Aeronáutica de Portugal S.A.

Gostaria de agradecer à instituição Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa e em especial ao corpo docente do curso de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica por todo o apoio e disponibilidade e também por todos os conhecimentos transmitidos que serão muito importantes para a minha vida futura enquanto Engenheiro Mecânico.

Tenho a agradecer ao Engenheiro Duarte Silva, incansável e sempre disponível, sendo a pessoa que me exigiu e me deu a oportunidade de o acompanhar ao longo dos 6 meses de novas experiências a nível pessoal e profissional dentro da empresa.

Agradeço ao Engenheiro José Marques pela sua rápida resolução de problemas, bem como a toda a equipe de engenharia de componentes não deixando de reconhecer o apoio dado por todo o *staff* técnico que sempre esteve disponível para ajudar na integração na empresa e no seu modo de funcionamento.

Tenho a agradecer a todos os meus amigos e família que sempre me apoiaram e me ajudaram, de uma forma ou de outra, a concluir mais uma etapa da minha vida; a eles fico grato por tudo.

Um agradecimento especial aos meus pais, Isabel e Fernando, bem como ao Domingos, pela dedicação, incentivo e carinho demonstrados.

Agradeço ao meu irmão Bernardo por me ter motivado e incentivado com a sua paciência e determinação nesta e em todas as etapas da minha vida.

Por fim agradeço à Joana, pelo incentivo, motivação, paciência e enorme apoio em todas as etapas do curso e em particular na realização deste trabalho.

Resumo

A manutenção de aeronaves e seus componentes constitui um sector de engenharia de ponta na economia nacional, levantando diversos desafios a vários níveis funcionais das empresas do ramo.

A dissertação foi desenvolvida no âmbito de um estágio curricular realizado na Área de Motores e Componentes da OGMA – Indústria Aeronáutica de Portugal S.A.

A empresa já há muitos anos que se dedica à manutenção de motores de diversas aeronaves. Nos últimos anos, com o surgimento de novas aeronaves com novos tipos de motores, a empresa procura acompanhar a evolução do mercado.

Nesta linha de ideias, o objetivo do estágio consistiu na participação de um estudo de capacitação da OGMA para a manutenção de válvulas pneumáticas.

A manutenção e capacitação para manutenção de componentes aeronáuticos segue normas e procedimentos específicos. Segundo o procedimento formal da análise de capacidade inicial da empresa para as operações de manutenção, foi identificada a necessidade de certificação de ferramentas e processos, nomeadamente orifícios calibrados.

O estudo centrou-se no desenvolvimento de um procedimento interno de validação de calibração dos orifícios. Foram identificados os requisitos, elaboradas especificações, escolhidos e alocados equipamentos e ferramentas de ensaio.

Além da calibração dos orifícios, também foi possível acompanhar e apoiar algumas outras atividades de ensaios técnicos em diversas componentes.

Após o estudo efetuado, a OGMA ficou capacitada para a calibração de orifícios, sendo estes fundamentais para o tipo de válvulas em análise.

Foi publicado um artigo na conferência "CNME2014 – 9º CONGRESSO NACIONAL DE MECÂNICA EXPERIMENTAL" e encontra-se em elaboração o artigo final, cujo resumo já foi aceite, para a conferência "*6th International Conference on MECHANICS AND MATERIALS IN DESIGN* (Ponta Delgada/Açores, 26-30 July 2015)".

Palavras-chave

Manutenção; Manutenção de aeronaves; Capacitação; MRO; Componentes pneumáticas; Orifícios Calibrados;

Abstract

The maintenance of aircraft and its components consists of a cutting edge engineering sector in the national economy, which raise several challenges to the companies in a variety of different functional levels.

This dissertation was carried out as part of a curricular internship within the Department of Engines and Components at OGMA - Indústria Aeronáutica de Portugal S.A.

The company is focused on the maintenance of aircraft engines for many years. In the last years, with the emergence of new aircraft with novel types of engines, the company has tried to keep pace with the developments in the industry.

Within this framework, the aim of the internship was to engage in a pneumatic valves maintenance capability study with OGMA.

Maintenance and aircraft components maintenance capability act in accordance with specific norms and procedures. Following the company's initial formal capability analysis procedure for its maintenance operations, it was identified a need to certify tools and processes, particularly some calibrated nozzles.

The research focused on the development of an internal validation procedure for the calibration of the nozzles. To achieve this, requirements were identified, specifications designed and test equipments and tools chosen and allocated.

Besides the nozzle calibration, it was possible to follow and support other components technical tests and activities.

This study enabled OGMA with the capability to calibrate the nozzles, which are fundamental for the type of pneumatic valves in analysis.

An article was published in the conference "CNME2014 – 9º Congresso Nacional de Mecânica Experimental" and an abstract was accepted and the final article for the conference "6th International Conference on Mechanics and Materials in Design (Ponta Delgada/Azores, 26-30 July 2015)" is being written.

Keywords

Maintenance; Aircraft Maintenance; Capability assessment; Repair and Overhaul; Pneumatic components; Small Orifices; Airworthiness regulations

ÍNDICE

SIMBOLOGIA	XVII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO.....	1
1.2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	2
1.3. OGMA - INDÚSTRIA AERONÁUTICA DE PORTUGAL S.A.	2
2. MANUTENÇÃO E FIABILIDADE AERONÁUTICA	7
2.1. INTRODUÇÃO À MANUTENÇÃO	7
2.1.1. <i>Conceito e Objetivos da Manutenção</i>	7
2.1.2. <i>Tipos de Manutenção</i>	9
2.2. HISTÓRIA DA MANUTENÇÃO AERONÁUTICA.....	12
2.3. MANUTENÇÃO DE COMPONENTES E SISTEMAS AERONÁUTICOS	15
2.4. MANUTENÇÃO CENTRADA NA FIABILIDADE	20
3. CAPACITAÇÃO DA EMPRESA PARA A CALIBRAÇÃO DE ORIFÍCIOS	23
3.1. SISTEMAS PNEUMÁTICOS DE AERONAVES.....	23
3.2. METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS	29
3.2.1. <i>Metodologia de Investigação</i>	29
3.2.2. <i>Metodologia de Implementação</i>	29
3.2.3. <i>Bancos de Ensaio e Ferramentas</i>	30
3.2.4. <i>Metodologia de Equivalência de TTE</i>	30
3.2.5. <i>Ferramentas Especiais</i>	32
3.2.6. <i>Produção e Ensaio dos Orifícios</i>	34
4. EVOLUÇÃO PROGRESSIVA DO PROCESSO DE CALIBRAÇÃO DOS ORIFÍCIOS 35	
4.1. ENSAIO COM AUMENTO DE PRESSÃO	36
4.2. ENSAIO COM DIMINUIÇÃO GRADUAL DE PRESSÃO.....	38
4.3. INSTRUMENTAÇÃO DO BANCO DE ENSAIO	41
4.4. VERIFICAÇÃO DE CALIBRAÇÃO DE <i>FLOW METERS</i> E SUAS LIMITAÇÕES	44
4.5. VERIFICAÇÃO DA CALIBRAÇÃO DOS ORIFÍCIOS.....	48
4.6. SOLUÇÃO GRÁFICA DE CALIBRAÇÃO DE ORIFÍCIOS	53
4.7. REPRODUTIBILIDADE DOS ENSAIOS DE CALIBRAÇÃO DE ORIFÍCIOS	57
5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR.....	65
ANEXOS	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Certificações e logótipo da OGMA.....	3
Figura 1.2 - Instalações da empresa OGMA.....	3
Figura 1.4 - Acionistas da OGMA.....	4
Figura 1.3 - História dos logótipos da empresa	4
Figura 1.5 - História da OGMA e acontecimentos relevantes	5
Figura 2.1 - Objetivos da manutenção	8
Figura 2.2 - Visão geral da manutenção	9
Figura 2.3 - Esquema da execução da manutenção preditiva	11
Figura 2.4 - Empresa de manutenção.....	14
Figura 2.5 - Ciclo de MRO	19
Figura 3.1 - Controlador AMS e apresentação do sistema pneumático [16]	24
Figura 3.2 - Sensor de pressão e temperatura do sistema pneumático [16]	24
Figura 3.3 - Válvula de alta pressão (HP) e válvula de baixa pressão (LP) [16]	25
Figura 3.4 - Pilotagem automática - controlador electropneumático [16]	25
Figura 3.5 - Motor APU [16]	26
Figura 3.6 - Motor pneumático de terra [16]	26
Figura 3.7 - Controlo de pressão e temperatura do caudal de ar [16]	27
Figura 3.8 - Banco de ensaio de baixo caudal e ferramentas	31
Figura 3.9 - Fluxograma da equivalência das TTE.....	32
Figura 3.10 - <i>Inlet e outlet caps</i>	33
Figura 3.11 - Válvula de alta pressão e orifícios calibrados [16]	33
Figura 3.12 - Orifícios calibrados 0.813 mm e 0.66 mm	34
Figura 3.13 - <i>Setup</i> para ensaios	34
Figura 4.1- Sistema montado para a análise de calibração dos orifícios	35
Figura 4.2 - Banco de ensaio	36
Figura 4.3 - Resultados do ensaio com o orifício calibrado \varnothing 0.66 mm	38
Figura 4.4 - Segundo ensaio no banco com os orifícios de \varnothing 0.66 mm e \varnothing 0.813 mm	40
Figura 4.5 - Instrumentação montada no banco com o orifício de \varnothing 0.66 mm	40
Figura 4.6 - Correlação dos dados entre os orifícios	41
Figura 4.7 - Manómetros de pressão analisados no banco de ensaio.....	42
Figura 4.8 - Dados de calibração do <i>flow meter</i> 2	44
Figura 4.9 - Dados de calibração do <i>flow meter</i> 1	45
Figura 4.10 - Ensaio com a correlação dos dados dos dois orifícios	46
Figura 4.11 - Correlação dos dados dos orifícios para os dois <i>flow meters</i>	46
Figura 4.12 - Análise de precisão do <i>flow meter</i>	47

Figura 4.13 - Limites de calibração para orifícios de \varnothing 0.66 mm e \varnothing 0.813 mm	53
Figura 5.1 - Banco de ensaios de altos caudais (HATS).....	62

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1 - Ensaio do orifício calibrado com \varnothing 0.66 mm.....	37
Tabela 4.2 - Segundo ensaio do orifício de \varnothing 0.66 mm	39
Tabela 4.3 - Segundo ensaio do orifício de \varnothing 0.813 mm	39
Tabela 4.4 - Banco de ensaio - análise de orifícios calibrados - \varnothing 0,66 mm.....	43
Tabela 4.5 - Banco de ensaio - análise de orifícios calibrados - \varnothing 0,813 mm.....	43
Tabela 4.6 - Cálculo dos limites de caudal para o orifício \varnothing 0.66 mm	49
Tabela 4.7 - Cálculo dos limites de caudal para o orifício \varnothing 0.813 mm	49
Tabela 4.8 - Cálculo de caudais para o orifício de \varnothing 0.66 mm.....	55
Tabela 4.9 - Cálculo de caudais para o orifício de \varnothing 0.813 mm.....	56
Tabela 4.10 - Valores limite esperados pelos técnicos com orifício de \varnothing 0.813 mm...	58
Tabela 4.11 - Valores limite esperados pelos técnicos para orifício de \varnothing 0.66 mm.....	58

SIMBOLOGIA

Cd_{matlab}	coeficiente de descarga (fórmula do <i>matlab</i>)
D_{sist}	diâmetro nominal das tubagens e das ferramentas (sistema montado)
d_{inf}	diâmetro do orifício $-25\mu m$
d_{sup}	diâmetro do orifício $+25\mu m$
E_{fm}	erro de caudal volúmico
\dot{m}	caudal mássico
\dot{m}_{inf}	caudal mássico referente ao limite inferior
\dot{m}_{sup}	caudal mássico referente ao limite superior
P_{atm}	pressão atmosférica
P_{in}	pressão de entrada ou pressão inicial
P_{inabs}	pressão de entrada absoluta
P_{out}	pressão de saída
P_{outabs}	pressão de saída absoluta
P_{vi}	pressão de entrada
Q_{inf}	caudal máximo do limite inferior
Q_{sup}	caudal máximo do limite superior
Q_v	caudal volúmico
Q_{veq}	caudal volúmico do orifício através da equação linear do gráfico

$Q_{V_{lic}}$	caudal volúmico do limite inferior de controlo do orifício
$Q_{V_{lsc}}$	caudal volúmico do limite superior de controlo do orifício
r	raio do orifício
$R_{o_{in}}$	densidade do ar antes do orifício calibrado, na entrada
T_{in}	temperatura do escoamento
ΔP	diferencial de pressão
ΔQ_{inf}	diferencial de caudal inferior
ΔQ_{sup}	diferencial de caudal superior
$\%Q_{inf}$	percentagem do diferencial de caudal inferior
$\%Q_{sup}$	percentagem do diferencial de caudal superior

ABREVIATURAS

- *AMM - Aircraft Maintenance Manual*
- *AMS - Air Management System Controllers*
- *APU - Auxiliary Power Unit*
- *ATA - Air Transport Association*
- *CMM - Component Maintenance Manual*
- *EASA - European Aviation Safety Agency*
- *FAA - Federal Aviation Administration*
- *FADEC - Full Authority Digital Engine*
- *FMECA - Failure Mode and Effect Critical Analysis*
- *HPSOV - High Pressure Shut Off Valve*
- *HVOF - High Velocity Oxygen Fuel*
- *ICAO - International Civil Aviation*
- *INAC - Instituto Nacional de Aviação Civil*
- *IPC - Illustrated Parts Catalog*
- *IPL - Illustrated Parts List*
- *LRU - Line Replacement Unit*
- *MRL - Maintenance Requirements List*
- *MRO - Maintenance, Repair and Operations*
- *MSD - Manufacturers Service Documentation*
- *MSG1 - Member State Group*
- *NTE - Nota Técnica de Engenharia*
- *OEM - Original Equipment Manufacturer's*
- *ONS - OGMA Normative System*
- *PMA - Parts Manufacturer Approval*
- *PN - Part Number*
- *PRSOV - Pressure Regulator Shut Off Valve*
- *QMS - Quality Management System*
- *RCM - Manutenção Centrada Na Fiabilidade*
- *RTF - Run to Failure*
- *RTS - Return to Service*
- *SOV - Shut Off Valve*
- *TTE - Tool and Test Equipment*
- *UUT - Units Under Test*

1. INTRODUÇÃO

A necessidade da indústria da aviação no início da sua expansão, focava-se somente na capacidade de levantar um objeto (aeronave) no ar; nos tempos de hoje, são requeridas diversas e extensas normas, desde a necessidade do cliente, performance, certificação, regulação, manutenção, complexidade da aeronave e os seus sistemas e subsistemas, etc.

Ao longo da evolução aeronáutica, os sistemas presentes são cada vez mais automatizados, com mecanismos mais complexos e com maior diversidade de opções. Desta forma, existe no mercado aeronáutico um elevado nível de necessidade no desenvolvimento de sistemas integrados de diagnóstico, prognóstico e de gestão de todos os sistemas. A indústria aeronáutica tem vindo a criar tecnologias que monitorizam em tempo real, diagnosticam problemas e futuras manutenções. Nesse sentido, a necessidade de um diagnóstico em tempo real, de uma maior fiabilidade das componentes e sistemas presentes nas aeronaves, passa a ser fundamental diversas formas de análise de riscos, passando pelos diferentes tipos de manutenção. Um parâmetro relevante é a implementação de sistemas pneumáticos nas aeronaves, sendo somente o seu controlo lógico eletrónico.

1.1. Objetivos da Dissertação

Para capacitar a empresa OGMA na manutenção de válvulas pneumáticas, esta dissertação tem como objetivos:

- Investigar sobre manutenção, fiabilidade e capacitação;
- Investigar válvulas pneumáticas e entender o seu funcionamento;
- Identificar ferramentas e processos usados na manutenção de válvulas pneumáticas;
- Desenvolver ensaios e projetar métodos de verificação de calibração dos orifícios;
- Validar e discutir o método de manutenção dos orifícios.

1.2. Estrutura da Dissertação

Esta dissertação contém cinco capítulos que se dividem em vários subcapítulos.

Primeiro Capítulo “Introdução”: é no presente capítulo apresentada uma componente introdutória onde é revelada a origem do projeto, que sustenta a presente dissertação. Este capítulo inclui ainda um subcapítulo onde são sintetizados os objetivos da presente dissertação e um outro subcapítulo que faz referência à estrutura da dissertação, bem como à empresa.

Segundo Capítulo “Manutenção e Fiabilidade Aeronáutica”: é o capítulo onde é abordada toda a componente de enquadramento do projeto, retratando-se aí a ciência que o engloba.

Terceiro Capítulo “Capacitação da empresa para a calibração de orifícios”: neste capítulo é descrita toda a evolução do projeto efetuado no âmbito da presente dissertação.

Quarto Capítulo “Evolução progressiva do processo de calibração dos orifícios”: neste capítulo é feita a descrição teórica do processo, a descrição dos procedimentos experimentais e a apresentação dos resultados, bem como uma análise crítica dos resultados e a metodologia de trabalho.

Quinto Capítulo “Conclusões e trabalhos futuros”: neste capítulo são referidas breves conclusões retiradas dos estudos efetuados, dando ênfase aos pontos mais relevantes. São ainda referidas possíveis implementações futuras ao projeto.

1.3. OGMA - Indústria Aeronáutica de Portugal S.A.

A empresa oferece serviços de manutenção, reparação e revisão de aeronaves comerciais, executivas e de defesa, fabricação e montagem de aeroestruturas, bem como motores e componentes. Nesse contexto, surgiu a oportunidade de integrar a equipe de engenharia de componentes, realizando o estudo de capacitação da empresa na manutenção de ferramentas para componentes pneumáticas.

A OGMA encontra-se no mercado Aeronáutico, sendo uma referência em Manutenção, Reparação e Revisão Geral (MRO), Engenharia Aeronáutica e Gestão de Frota. Ao longo do tempo, a empresa foi conquistando diversas certificações e parcerias, sendo qualificada como centro de manutenção autorizado (part 145).

Na figura 1.1 são apresentados as certificações da empresa e o logótipo.



Figura 1.1 - Certificações e logótipo da OGMA

Fundada em 1918, a OGMA, tem dedicado desde então a sua missão para a manutenção de aeronaves e motores, bem como para a fabricação de componentes de aeronaves e de engenharia de aeronaves e apoio logístico. A figura 1.2 ilustra as suas instalações numa fotografia aérea e no anexo I apresenta-se em detalhe a planta da empresa.



Figura 1.2 - Instalações da empresa OGMA

A OGMA situa-se em Alverca, cerca de 15 km a norte de Lisboa, e emprega uma força de trabalho de cerca de 1600 colaboradores direta e indiretamente.

A abreviatura OGMA originalmente chamava-se "Parque de Material Aeronáutico", mudando dez anos depois para "Oficinas Gerais de Material Aeronáutico". Em 1994, esta designação é novamente alterada para "Indústria Aeronáutica de Portugal", permanecendo assim até aos dias de hoje. A figura 1.3 ilustra os logótipos e a modernização dos mesmos ao longo da história da empresa.



Figura 1.3 - História dos logótipos da empresa

A empresa foi estatal desde a sua criação até 2005, quando Airholding SGPS, consórcio formado entre a Embraer e a EADS adquiriu uma participação de 65% do capital da OGMA, com o Estado Português assegurando os restantes 35% através da empresa Empordef. A figura 1.4 representa as participações na empresa dos diferentes acionistas.



Figura 1.4 - Acionistas da OGMA

Em 10 de julho de 2006, a OGMA inaugurou o Centro de Aviação Executiva, criada para melhorar os serviços de manutenção da Embraer Legacy 600 e futuros jatos executivos desenvolvidos pela Embraer. A 8 de agosto de 2006, a Embraer e o Governo Português assinaram um acordo para avaliar a cooperação com a OGMA para o desenvolvimento da capacidade de conceção e fabrico de aeroestruturas para o mercado mundial. A figura 1.5 mostra a evolução histórica da empresa, salientando os acontecimentos importantes.

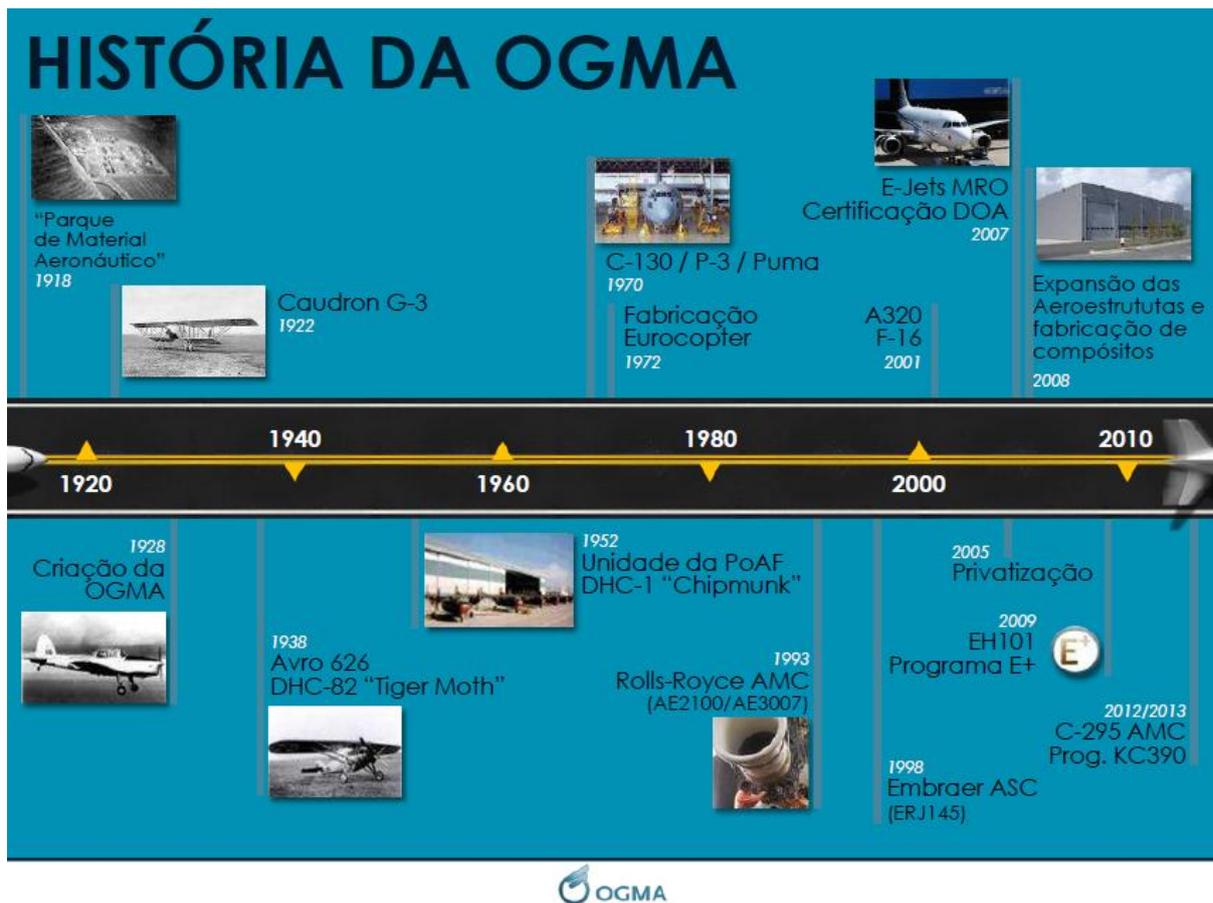


Figura 1.5 - História da OGMA e acontecimentos relevantes

A OGMA detém atualmente uma vasta gama de clientes nacionais e estrangeiros, civis e militares, e é o centro autorizado de manutenção para uma lista de empresas que inclui, a Embraer, a Lockheed Martin, a Eurocopter, Rolls-Royce e a Honeywell. Algumas das aeronaves mantidas pela OGMA incluem: C-130 Hércules, P-3 Orion, F-16 Fighting Falcon, a família Embraer ERJ 145, Embraer E-Jets, família A320 da Airbus, a Embraer Legacy 600 e Lineage 1000 [1][2][3].

Este projeto focou-se na necessidade de desenvolver ferramentas específicas para manutenção, tendo como proposta a fundamentação e a análise de componentes pneumáticas e sua capacitação / certificação. Essas componentes encontram-se presentes no sistema pneumático dos Embraer E-Jets.

2. MANUTENÇÃO E FIABILIDADE AERONÁUTICA

2.1. Introdução à Manutenção

2.1.1. Conceito e Objetivos da Manutenção

Atualmente, existem várias definições de manutenção de acordo com os diferentes autores que abordam o tema.

Um dos conceitos de manutenção consiste na junção de diversas atividades, entre elas, a gestão, engenharia e finanças, tendo como objetivo conjugar a minimização de custos com o aumento da vida útil. Este conceito de manutenção baseia-se em diversos aspectos, tais como, a fiabilidade, conceção e custos de serviço dos diversos componentes que integram o parque industrial [4].

Com o aparecimento do Boeing 747, o modelo de certificação aplicado pela *Federal Aviation Administration* (FAA) tornou-se demasiado obsoleto, tendo sido necessário desenvolver métodos de análise de modo a reduzir a ocorrência de falhas [5]. Em 1968, um grupo de companhias aéreas juntou-se com o objetivo de encontrar uma metodologia de resolução do problema. Este grupo foi denominado de MSG1. O relatório elaborado por essa comissão introduziu os conceitos de manutenção centrada na fiabilidade [6]. O modelo da Manutenção Centrada na Fiabilidade (RCM) apareceu numa época em que os engenheiros de produção acreditavam que os equipamentos possuíam uma vida limitada e que necessitavam de reconstrução parcial periódica, de modo a manter padrões de confiança aceitáveis [7].

Os objetivos da manutenção devem estar perfeitamente enquadrados com os objetivos globais da empresa, desenvolvendo um trabalho positivo segundo vários pontos divergentes, tais como a segurança e qualidade, custo e produtividade [8] [9].

A segurança das pessoas, dos equipamentos, da comunidade, deve ser um ponto sempre a ter em consideração na manutenção, não sendo negociável.

A qualidade é também um dos objetivos da manutenção, permitindo a um produto ou serviço ter todas as propriedades e características, determinando a sua aptidão para satisfazer as expectativas do cliente, melhores rendimentos dos equipamentos, o mínimo de defeitos de produção e melhores condições de higiene.

O custo de produção é analisado durante o processo de manutenção, procurando soluções que minimizem o custo total do produto.

A lubrificação, o ensaio, a limpeza, a reparação, a substituição, a modificação, a inspeção, a calibração, a revisão, são exemplos de funções desempenhadas pela manutenção, coordenadas conforme as características e a função do equipamento, sistema ou instalação em questão [8].

Todos estes fatores são difíceis de otimizar em simultâneo, sendo o objetivo da manutenção encontrar um plano estruturado compatível com os objetivos da empresa, para operar nas melhores condições de qualidade, custo, produção, e segurança. A figura 2.1 ilustra os objetivos da manutenção.

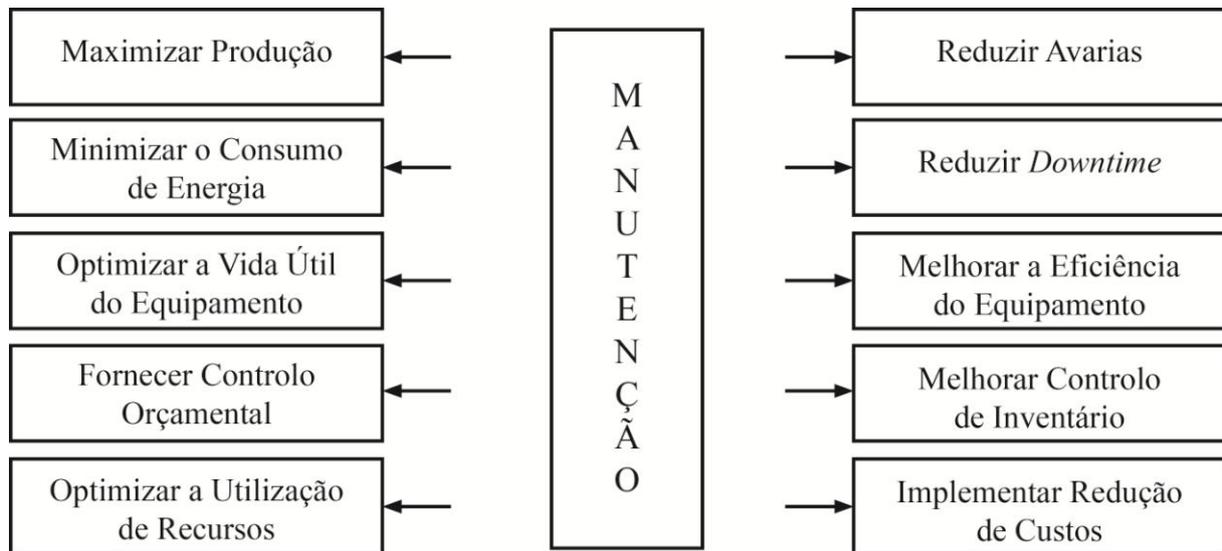


Figura 2.1 - Objetivos da manutenção

2.1.2. Tipos de Manutenção

A evolução histórica da manutenção é unânime para os diversos autores, porém no que diz respeito aos tipos de manutenção existentes o mesmo já não se verifica.

Como se verifica na figura 2.2, na visão geral dos tipos de manutenção, este conceito é dividido em manutenção planeada ou não planeada. A manutenção planeada subdivide-se em preditiva, preventiva, de melhoria e corretiva. A manutenção não planeada ou a RTF acontece em situações de paragem do equipamento ou de emergência[10].



Figura 2.2 - Visão geral da manutenção

A manutenção corretiva é caracterizada de diferentes maneiras na literatura existente. A manutenção corretiva é um processo diferente da RTF, pois tem como função manter o equipamento nas condições de funcionamento requeridas através de ações planeadas e regulares. Apesar das ações de correção serem efetuadas no equipamento depois da ocorrência da falha, a sua planificação tem como objetivo eliminá-las ou reduzir a sua ocorrência, mantendo os equipamentos em boas condições de funcionamento. Este método de manutenção necessita de procedimentos próprios, elevados conhecimentos por parte dos operários de manutenção e tempo adequado para a eliminação das falhas inerentes. Baseia-se em três princípios base: curativa, deferida e paragem. As ações tomadas no processo de manutenção curativa visam eliminar a fonte do problema, sem interromper a produção, retirando o equipamento com

problemas, substituindo-o ou transferindo o seu papel para outro equipamento. Na manutenção deferida a ocorrência da falha não incorre na paragem do equipamento, sendo o processo corretivo iniciado posteriormente. O processo de manutenção corretivo de paragem nos equipamentos é efetuado quando a linha de produção não se encontra em atividade, não existindo assim conflitos entre a manutenção e a produção[10].

A manutenção de melhoria tem como objetivo fundamental, a redução ou eliminação total da necessidade de manutenção. São efetuadas modificações e alterações nos equipamentos com o intuito de maximizar o seu desempenho [11].

No processo de manutenção preventiva é desenvolvido um conjunto de ações nos equipamentos e nas instalações, antes da ocorrência da falha. A realização destas ações, antes do aparecimento da avaria no equipamento, tem o objetivo de prevenir ou até eliminar futuras deteriorações das condições de funcionamento [10]. De um modo mais abrangente este tipo de manutenção pretende[11] [12] [13]:

- Aumentar a fiabilidade dos equipamentos através de uma redução da ocorrência de avarias em serviço;
- Incrementar a vida útil de um determinado equipamento;
- Regular a carga de trabalho;
- Melhorar o planeamento dos trabalhos;
- Simplificar a gestão de *stocks*;
- Promover a segurança das intervenções a realizar nos equipamentos;
- Reduzir os acontecimentos imprevistos.

A manutenção preditiva tem como objetivo a deteção da falha no equipamento antes da sua ocorrência. É efetuada uma monitorização real do funcionamento do equipamento, através de leituras recorrendo a equipamentos próprios. Esta monitorização permite quantificar o desgaste do equipamento ao longo do seu processo de trabalho. Quando a leitura efetuada permite interpretar a ocorrência de uma falha procede-se a um processo de manutenção corretivo de modo a que a falha não interfira no normal funcionamento do equipamento. É possível com este processo de manutenção quantificar o tempo de vida de determinado componente [12] [13].

Este tipo de manutenção, de acordo com o método utilizado para a detecção dos sinais da falha, pode ser quantificado segundo a condição do equipamento ou basear-se num processo estatístico [10]. Desta forma, a figura 2.3 realça o esquema de execução da manutenção preditiva.

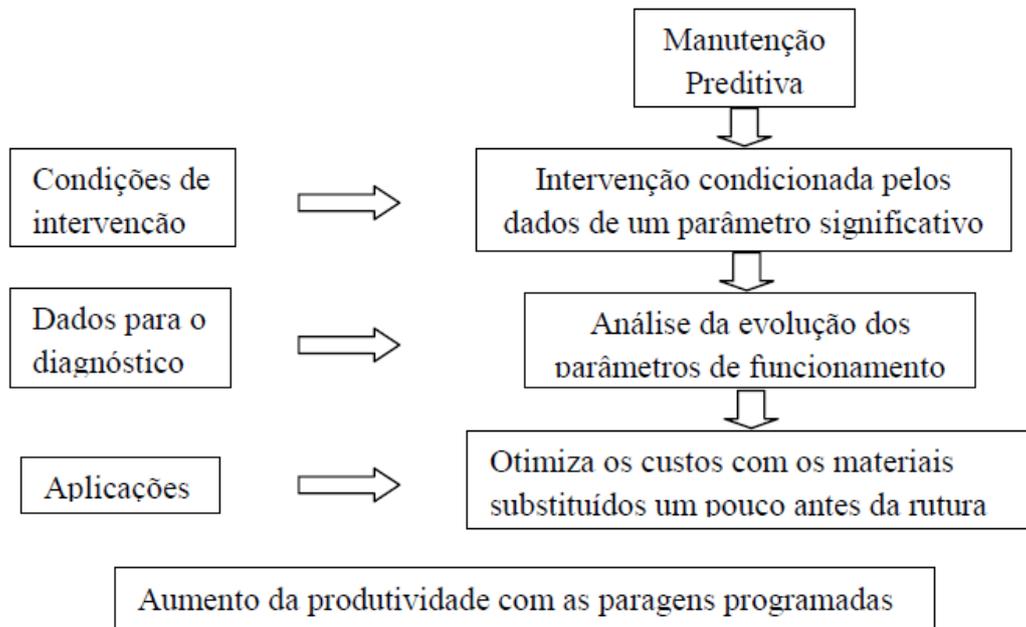


Figura 2.3 - Esquema da execução da manutenção preditiva

A manutenção não planeada, tem como ideia básica “não arranjar até avariar”. Não são realizadas quaisquer ações de manutenção nos equipamentos até estes manifestarem defeitos, avarias ou a ocorrência de paragem. A palavra reativa advém do facto, da ação de reparação ser executada após a ocorrência da falha. É considerado o método de manutenção mais antigo. A RTF pode ser dividida em emergência ou avaria. A manutenção de emergência é executada imediatamente após a deteção da falha, de modo a recuperar o equipamento para a sua condição inicial de eficiência. A manutenção de avaria acontece após uma falha grave no equipamento da qual resulta a sua paragem [10] [12] [13].

2.2. História da Manutenção Aeronáutica

No início do século XVIII, a Revolução Industrial forneceu a indústria com equipamentos sofisticados que permitiram alta produtividade e grande capacidade de produção. Contudo, esta realidade elevou os custos de inatividade, o que levou a indústria a aperceber-se da necessidade de saber tirar o máximo partido dos equipamentos de forma racional. Isto implicou uma enorme evolução das técnicas de organização, planeamento e controle nas empresas [14].

A Revolução Industrial do século XIX fez com que fosse necessário que os próprios operadores efetuassem reparações regulares nos equipamentos. Durante a Primeira Guerra Mundial a pressão criada sobre a indústria, levou à introdução de equipas especializadas em reparações de cariz corretivo no menor espaço de tempo possível. A manutenção teve uma significativa evolução com a expansão da aviação comercial nos anos 40, dado que foi necessário introduzir métodos preventivos, uma vez que a resolução de problemas técnicos durante o voo era bastante complicada ou até mesmo impossível [4].

Foi então durante a Segunda Guerra Mundial que a manutenção se afirmou como uma necessidade absoluta, notando-se um grande desenvolvimento nas técnicas de organização. “Manutenção” advém de um vocábulo militar que significa manter todos os homens e seus equipamentos a um nível constante de operação. Na década de 50, aparece efetivamente o termo “manutenção” nos EUA e na Europa, que se consolida rapidamente ocupando aos poucos os meios produtivos das empresas [15].

Atualmente, o planeamento e controlo de manutenção é vital para a saúde de uma empresa. É a manutenção industrial que é responsável por manter os equipamentos em condições excelentes, permitindo à empresa ter saúde financeira para introduzir no mercado produtos com qualidade superior, a preços competitivos. Porém, a introdução de uma nova tecnologia só apresenta bons resultados se for praticada por pessoas com conhecimentos na área.

Todos os mecanismos inventados pelo homem requerem algum tipo de vigilância e manutenção contínua para garantir que continuem a desempenhar a função pretendida. Os aviões não são diferentes, sendo que na verdade como operam num ambiente considerado anormal, é fundamental que os operadores tenham formação e que os sistemas desenvolvidos permitam inspeção e reparação contínua.

No início da aviação, eram os próprios pilotos que realizavam a manutenção dos aviões. No entanto, com a massificação da aviação comercial e de transporte de carga, houve a necessidade de desenvolver e treinar técnicos de manutenção aeronáutica, assegurando que esses indivíduos possuíam as habilidades e conhecimentos para executar adequadamente as suas

funções. As autoridades governamentais estabeleceram um comprovativo legal de forma a avaliar as capacidades dos técnicos de aeronaves com base em certos padrões, certificando-os profissionalmente.

Embora inicialmente as normas para licenciamento variavam muito de acordo com os requisitos individuais de cada governo, as mesmas regras foram gradualmente estabelecidas para a indústria da aviação a nível global.

Desde os primeiros anos da aviação, tornou-se evidente para a indústria de transporte aéreo comercial que um sistema de vigilância e manutenção contínua era necessário, e que a noção de "fly to failure" era completamente inadequada, uma vez que em muitos casos se verificou a perda de vidas humanas e de aeronaves. Tornou-se, portanto, imperativo desenvolver uma manutenção que assegurasse a vida dos seus ocupantes bem como a integridade da aeronave.

Os primeiros processos de manutenção programada consistiam em analisar o avião em detalhe antes de cada voo. As componentes eram removidas imediatamente antes da sua falha com base no tempo de serviço de forma a garantir a segurança da aeronave. Naquela época, a componente levaria uma revisão geral e de *zero-timed*, indicando-a como nova. Subsequentemente, confirmou-se através de análise estatística que não havia nenhuma vantagem demonstrada no controlo global pelo tempo. A partir destas constatações, o desenvolvimento de *on-condicion / condicion-monitored* surgiu como princípio a seguir.

Com o desenvolvimento da indústria da aviação, este processo de análise diminuiu de intensidade. Os intervalos de manutenção foram criados para realizar aprofundadamente inspeções, reparações e a revisão geral da estrutura da aeronave e dos seus sistemas e subsistemas, assegurando a continuidade da sua segurança e fiabilidade. O intervalo de manutenção é estabelecido inicialmente com base em estimativas antes da ocorrência de uma falha. No entanto, quando uma falha ocorre, o intervalo de manutenção é revisto de forma a garantir a fiabilidade de todas as componentes e da aeronave.

O planeamento do processo de manutenção de componentes baseia-se no número de horas de voo, ciclos alcançados ou previstos como resultado do programa de gestão de frota. A experiência dos técnicos de manutenção ou de recomendações do fabricante, estabelece a fiabilidade da componente. Esta medição de fiabilidade pode referir-se tanto a todas as remoções programadas ou não programadas, ou simplesmente verificar se existe necessidade de manutenção.

Sofisticados programas de computador estão disponíveis para determinar, para cada componente, a sua taxa de remoção, possíveis locais de remoção, forma de manutenção recomendada, e desta forma fornecer todos os dados de registo necessários para cumprir a

manutenção da componente. Os dados fornecidos permitem então que se estabeleça os requisitos, os equipamentos e ferramentas e a mão de obra para atender a todas as componentes a serem removidas para inspeção e manutenção. Como os sistemas e componentes das aeronaves podem falhar a qualquer momento, é fundamental um amplo conhecimento dos requisitos das componentes. Desta forma, é possível antecipar a falha tentando enquadrar a sua remoção numa situação conveniente, a fim de que estas unidades possam ser mantidas e transportadas, com a menor perda de tempo, das oficinas de reparação e revisão novamente para a aeronave.

Hoje em dia, o departamento de manutenção tem capacidades e responsabilidades crescentes. A sua abrangência de controle é ampla e extremamente complexa. Na figura 2.4 apresenta-se uma empresa de manutenção e as diferentes responsabilidades.

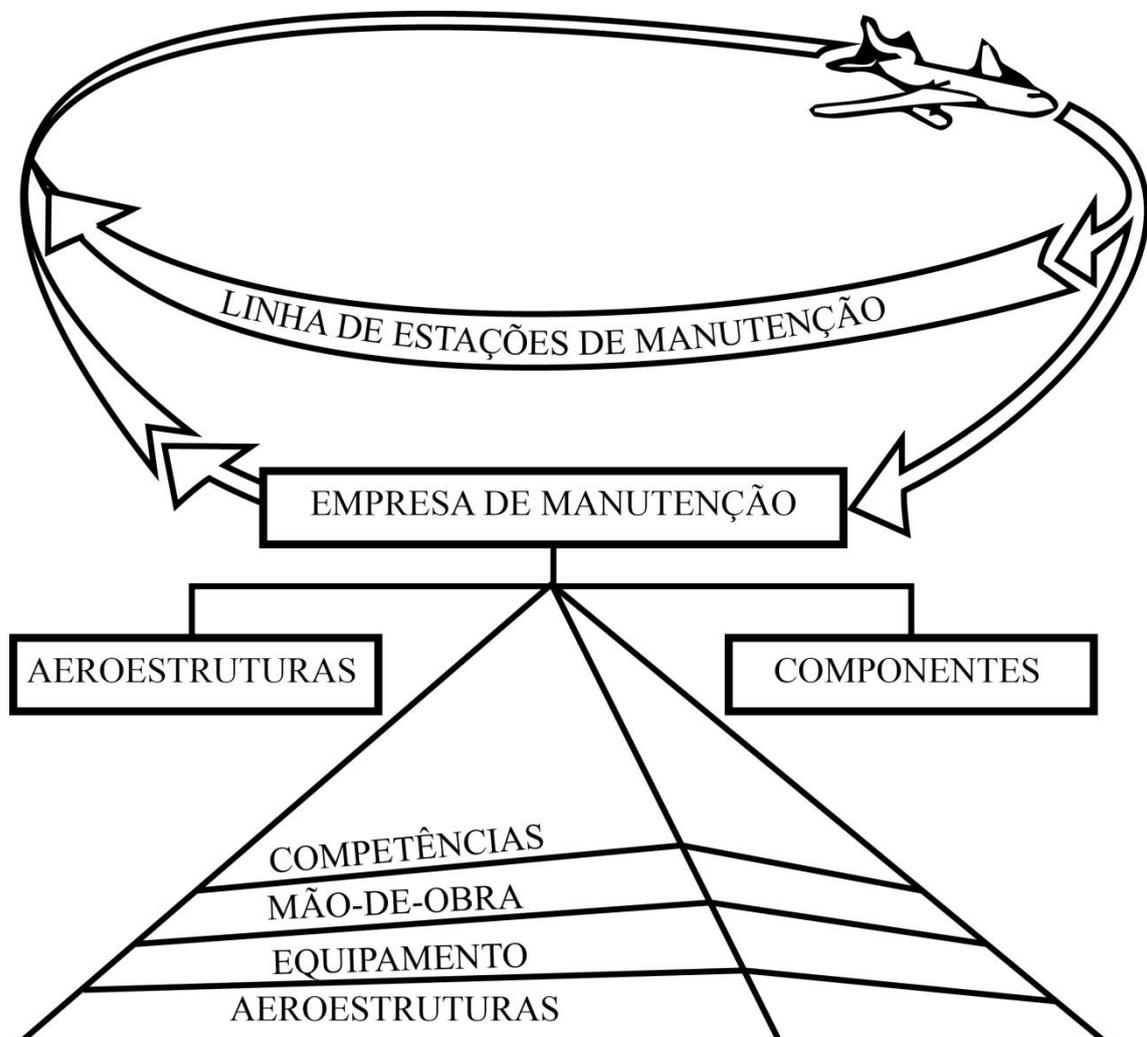


Figura 2.4 - Empresa de manutenção

2.3. Manutenção de Componentes e Sistemas Aeronáuticos

Todas as funções inerentes às operações de aeronaves, sejam elas ligadas à manutenção ou não, são totalmente reguladas. Vários países desenvolveram os seus próprios requisitos regulamentares para as empresas que operam dentro das suas fronteiras. Estes requisitos estão todos dentro dos requisitos regulamentares internacionais acordados pela maioria dos países onde as operações de aeronaves são realizadas sob Organização Internacional da Aviação Civil (ICAO).

Os regulamentos ditam regras que regem a manutenção, a manutenção preventiva, a reconstrução e alteração do certificado de aeronavegabilidade, fuselagem, motores de aeronaves, hélices, equipamentos e ferramentas, bem como componentes.

As regras também especificam de que modo é que essas atividades serão realizadas, assim como os processos e a forma como todas as atividades serão registadas e aprovadas. Grandes avanços têm sido feitos no desenvolvimento de programas informáticos para facilitar a previsão de manutenções, causas de remoções e ações recomendadas ou decisões para mitigar o impacto negativo dos tempos de manutenção.

O planeamento tem como função executar a programação dos componentes, minimizando o ciclo de manutenção. Obviamente, uma filosofia *just-in-time* seria vantajosa, no entanto, cada componente requer processos de manutenção específicos, dos quais há a necessidade de remover e reparar ou substituir peças individuais da componente, sendo que muitas vezes estas peças não se encontram disponíveis, tornando assim o processo de manutenção mais moroso. Por estas razões, uma empresa de MRO deve manter um *stock* para minimizar o tempo de resposta.

Porém, a necessidade de *stock* começou a tornar-se algo cada vez menos necessário. As empresas, ao se encontrarem universalmente interligadas, conseguem reduzir o tempo de espera de peças e componentes pedidas. Os parâmetros de controlo existentes nas aeronaves, e a partilha de informação entre as várias entidades de manutenção, acaba por melhorar a capacidade de solucionar problemas. Através do aparecimento de sistemas redundantes e com a automatização dos processos de verificação de falhas, evita-se a necessidade de ações de manutenção recorrentes e sem aviso prévio. Com isto, a previsão de fornecimento de determinadas peças e componentes será feita antes da verdadeira necessidade de manutenção. Assim, minimizam-se os tempos de verificação e de inspeções e o *out-of-service* da aeronave.

A entidade de manutenção é formada em torno de várias funções. Funções essas que incluem responsabilidades organizacionais para alcançar os elementos de trabalho/produção, assegurar a disponibilidade de recursos e a realização dos requisitos operacionais de aeronaves.

Estas funções são influenciadas ou afetadas pelo plano operacional, aprovação regulamentar e manutenção de requisitos para cada aeronave, sistemas e subsistemas, bem como as filosofias e estratégias específicas da empresa.

O fabricante da aeronave tem a única responsabilidade de projetar a aeronave e especificar os seus requisitos de manutenção. As autoridades de certificação e de regulamentação devem assegurar que o projeto está em conformidade com as regras de aeronavegabilidade, cumprindo todos os requisitos de certificação.

O técnico de manutenção aeronáutica deve implementar os requisitos de manutenção definidos pelo fabricante e ser auditado e monitorizado continuamente pelas autoridades reguladoras bem como pela empresa em que se insere.

As organizações de manutenção aeronáutica têm-se dedicado à forma correta e eficiente de retificação de defeitos que surgem nas aeronaves, na tentativa de evitar falhas catastróficas. No início da história da manutenção, as organizações dedicavam-se a melhorar o produto de forma a não se verificar falhas imprevistas e, com o desenvolvimento de melhores práticas de manutenção e de design, acabaram por alcançar esse objetivo. Desta forma, a indústria aeronáutica focou-se em atingir melhores valores de fiabilidade, o que significa melhor garantia de aeronavegabilidade da aeronave. Atualmente, esta indústria para além de se focar na fiabilidade também se foca na redução de custos de manutenção e de operação, melhorando assim a competitividade das empresas e da indústria aeronáutica.

A abordagem utilizada na manutenção nas últimas décadas inclui manutenção programada, utilizando essencialmente limitações *hard-time* e manutenção não programada, utilizando processos *on-condition* ou *condition-monitore*. Estas abordagens estão a ser suplantadas pela instalação de sistemas redundantes a duplicar ou a triplicar, levando o conceito de manutenção ao *fly-to-failure*. O custo do equipamento, a oportunidade de otimizar e as dificuldades envolvidas na remoção, transporte e reparação de componentes não só trouxe grandes melhorias na fiabilidade, como também criou a redução do *out-of-service* para manutenção. Ao se fazer a segmentação da manutenção de componentes, consegue-se desta forma reduzir o *out-of-service* quando uma revisão geral da aeronave se encontra programada.

Os vários sistemas que são necessários para operar atualmente as aeronaves, exigem testes e monitorização contínua. Isto é conseguido por qualquer dos sensores a bordo das aeronaves ou de equipamento de teste em terra. Estes sistemas de análise e monitorização são fundamentais para todos os controlos e segurança da aeronave durante o voo, encontrando-se presentes nas unidades de radar, nos aviônicos, nos sistemas hidráulicos e nos sistemas pneumáticos, entre outros sistemas. Estes equipamentos e sistemas presentes nas aeronaves têm que ser continuamente certificados, por forma a confirmar a sua fiabilidade. Estes requisitos são

regidos por autoridades reguladoras, garantindo que todas as determinações estão corretas e de acordo com as especificações do fabricante.

A manutenção e revisão geral de componentes de aeronaves requer a utilização de ferramentas especiais. Estas ferramentas podem ser tão complexas que precisam de salas limpas para a sua fabricação. Simultaneamente, as ferramentas para o processo de revisão podem ser criadas de forma a substituir as ferramentas originais, desde que mantenham ou excedam os requisitos da ferramenta original.

Apesar de uma empresa de MRO poder fabricar as suas próprias ferramentas personalizadas, estas devem cumprir as especificações originais do fabricante e serem aprovadas, referindo o uso pretendido. Ao contrário do fabricante de componentes, uma empresa de MRO, geralmente não tem várias ferramentas ou equipamentos para o mesmo efeito. A função de uma MRO, leva à necessidade de um pequeno número de ferramentas específicas para a manutenção ou revisão geral de uma componente. Equipamento de teste, ferramentas e ferramentas específicas encontram-se normalmente em hangares de aviões, porém, as mesmas aplicam-se também a outras áreas das empresas de MRO, como, na manutenção e revisão geral de componentes. Além disso, as áreas de produção podem ter equipamentos e ferramentas dedicadas apenas à manutenção de um tipo de reator ou componente específico, não estando equipadas para lidar com todos os tipos de propulsores e componentes. Por esta razão, muitas empresas de MRO são qualificadas para reparar aeronaves específicas bem como reatores e componentes.

A exigência regulamentar para cada ação tomada em relação a uma aeronave, reator, ou componente tem que ser efetuada em conformidade com os procedimentos aprovados e de acordo com os manuais de manutenção, *Aircraft Maintenance Manual*, *Component Maintenance Manual e Illustrated Parts Catalog* (AMM e CMM, IPC, etc). Todos os manuais são desenvolvidos de acordo com a ATA spec. 100, atualmente referida como Spec 2200. Estes registos foram criados à aproximadamente 50 anos, tendo como função, manter a aeronavegabilidade da aeronave bem como a segurança do voo, dos sistemas e componentes. O manual ATA 100, acaba por subdividir os sistemas para manutenção em subcapítulos distintos. A manutenção de componentes acaba por ser otimizada, porque os CMM encontram-se disponíveis para serem acedidos pelos técnicos de manutenção ou pelos engenheiros sempre que necessário.

No início da indústria aeronáutica, foi necessário criar dentro de cada empresa de manutenção um departamento de engenharia para fornecer de forma imediata possíveis melhoramentos, afetando a reparação, as modificações e melhorias no projeto. Naquele período, a maioria dos requisitos regulamentares atualmente presentes não existiam. Era no departamento

de engenharia que se confiava a responsabilidade de analisar, investigar e iniciar a ação corretiva na aeronave. Muitas das características de construção que hoje garantem a segurança de voo e de aeronavegabilidade da aeronave foram desenvolvidas e comunicadas ao fabricante, por serem alterações fundamentais que tiveram que ser implementadas.

Ao longo das últimas décadas e devido à crescente complexidade das aeronaves, sistemas e componentes, a responsabilidade pela degradação prematura de componentes ou o seu mau funcionamento, foi transferida para os fabricantes de aeronaves e muitas das vezes, para os fabricantes de componentes. No entanto, ainda é possível para uma empresa de manutenção fazer reengenharia, sugerir uma alteração à componente desde que devidamente aprovadas pelas entidades reguladoras.

Existe também um esforço muito considerável por parte da equipe de engenharia de MRO por forma a manter essas componentes e a aeronave sempre em serviço. Além disso, é importante para a empresa de manutenção compreender tanto o conceito de design, bem como a maneira pela qual a conceção será alcançada e atender às diversas exigências de certificação, porque como referido anteriormente, é a empresa de manutenção que tem que garantir a aeronavegabilidade da aeronave. Neste exemplo, o termo aeronavegabilidade aplica-se só para a forma, ajuste e função da componente, e não à sua fiabilidade mecânica. A função atual da equipe de engenharia acaba muitas vezes por ser referida como um suporte à manutenção de componentes. Conforme se vai fazendo a manutenção de componentes, a equipe de engenharia vai-se deparando com diversos problemas, sendo que essa informação deverá ser transmitida aos fabricantes. Ao fim de diversos ciclos de componentes da aeronave, a ligação de uma empresa de manutenção para com o fabricante diminui. Isto deve-se à maturação do produto (componente) e da sua análise exaustiva inicial. É neste fase de maturidade de uma aeronave que entra normalmente a equipe de engenharia na reengenharia de processos, de forma a manter a aeronavegabilidade da aeronave.

A complexidade dos sistemas de manutenção, pode resultar em muitas questões de segurança. Esses problemas não poderão ser resolvidos sem o esforço coordenado de todos os membros da comunidade aeronáutica, como as entidades reguladoras, empresas de manutenção, empresas de fabrico de sistemas e componentes e companhias de aviação.

A segurança na aviação é a base sobre a qual toda a indústria da aviação foi construída e como se rege. A palavra segurança é composta por diversas considerações, como o design (aeroestrutura, motores, etc), a aeronavegabilidade da aeronave (sistemas e componentes), as condições ambientais (a formação de gelo, ventos, pássaros ou mesmo o estado da pista, etc), incidentes no solo (hangares, *shops*, etc) e os fatores humanos que se encontram presentes em todo o processo.

A indústria aeronáutica relaciona acidentes fatais devido a erros de manutenção como um parâmetro que tem que tender para o zero, desta forma, ações de manutenção acabam por levar à descoberta de deficiências de concepção. Estas descobertas tendem a registrar-se quando a manutenção da aeronave é profunda, em que a aeronave se encontra com todos os seus sistemas e componentes expostos para inspeção, porém o processo de verificação de deficiências não é só da responsabilidade das empresas de manutenção mas também do fabricante. A principal consideração de todas as decisões de manutenção não é a possibilidade de falha de um componente ou sistema, nem a frequência de ocorrência da falha, mas as consequências (de segurança ou económicas) do que a falha no avião e seu funcionamento podem causar. Se a perda de uma função específica não põe em perigo a aeronave nem os seus ocupantes, então as consequências são económicas. Neste caso, o valor de manutenção deve ser medido em termos económicos.

Manutenção, reparação e revisão geral (MRO) tem um grande impacto sobre os custos do ciclo de vida da componente, sendo que o objetivo do MRO é manter sistemas, equipamentos e componentes a funcionar sem perda de eficiência. Devido a razões de confidencialidade, as empresas de manutenção acabam por enfrentar maiores dificuldades quando toca ao nível de entender o comportamento da componente, sendo que se tem que utilizar a reengenharia como meio para compreender as condições impostas pelos fabricantes.

A figura 2.5 ilustra o ciclo de MRO.

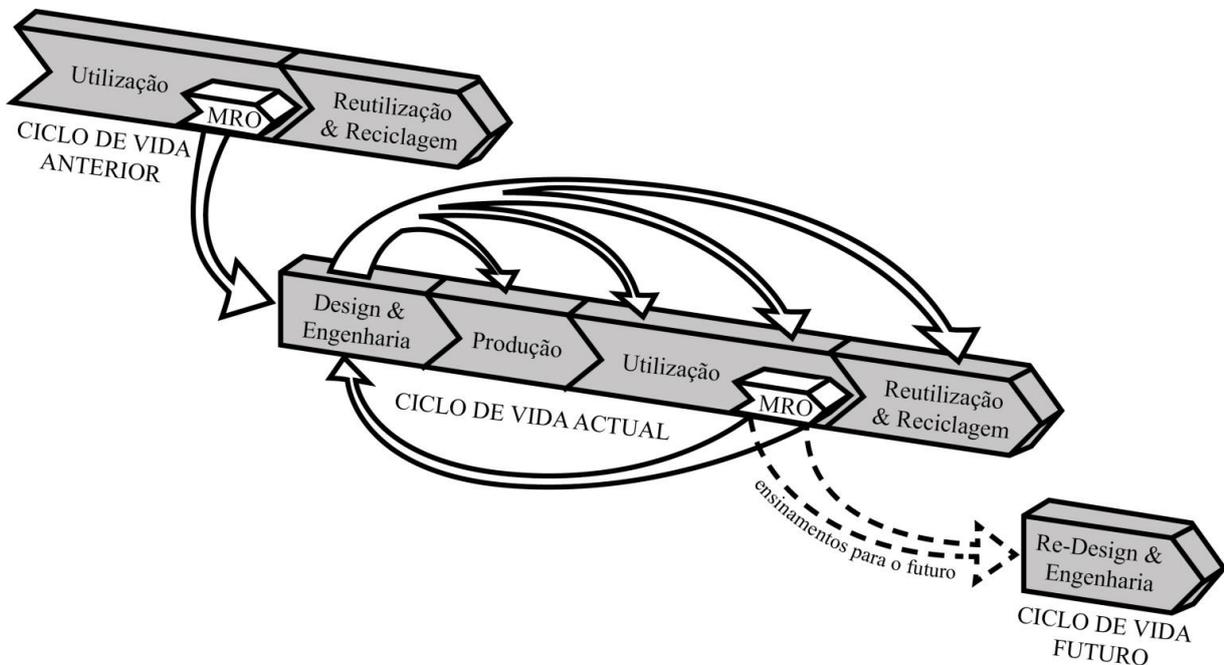


Figura 2.5 - Ciclo de MRO

A reengenharia acaba por desempenhar um papel preponderante no que toca ao desenvolvimento de ferramentas especiais e à compreensão do funcionamento da componente em estudo.

Apesar de na indústria da aviação existirem regras extremamente restritas, em que os manuais são essenciais e obrigatórios, e que na engenharia depende-se muito das soluções lá propostas, quando se trata da manutenção de componentes há a noção que só por si os manuais da aeronave e da componente, AMM e CMM, não são suficientes para diagnosticar as falhas existentes na componente e que ensaios têm que ser feitos e peças substituídas com base na experiência profissional/pessoal para complementar o manual. No entanto, este complemento tem sempre que se basear em ensaios propostos pelos manuais e de acordo com os mesmos.

2.4. Manutenção Centrada na Fiabilidade

Nos anos 60, surgiram as primeiras análises detalhadas de avarias em componentes e efeitos no desempenho dos sistemas em que estão integradas. Obviamente que grande parte desta evolução deveu-se à indústria aeronáutica e aeroespacial.

A origem dos programas de manutenção aérea baseou-se na crença de que cada sistema e componente de uma aeronave necessitava periodicamente de uma inspeção e revisão geral, por forma a manter os mais elevados níveis de segurança, sendo estabelecidos limites de tempo entre manutenções programadas. Esta foi a origem do primeiro processo de manutenção e referido como *hard time*. Ao longo do tempo, a indústria apercebeu-se de que cada componente não requeria uma revisão programada com base em tempo fixo. Desta forma, o processo de manutenção primário evoluiu, alterando assim a sua filosofia para *on condition*.

Deste modo, as entidades reguladoras começaram a trabalhar diretamente com a indústria de forma a desenvolver métodos de controle de manutenção, não sacrificando a segurança das aeronaves. O método de controlo foi orientado para o desempenho mecânico em vez da previsão de falha ou de desgaste, como era o caso nos métodos anteriores. O novo método foi intitulado *reliability control* porque tinha como função manter as taxas de falhas abaixo de um valor predeterminado. A natureza analítica de controlo de fiabilidade revelou a existência de componentes e sistemas que não responderam aos processos *hard time* e *on condition*. Isto levou a um terceiro processo, sem a necessidade de marcar inspeções de forma a determinar a integridade da componente ou a manutenção da mesma. No entanto, o desempenho mecânico é monitorizado e analisado, mas prazos ou ações obrigatórias não são estabelecidos.

Este processo é *condition monitored* em que sistemas típicos usados em programas de controlo de fiabilidade são gerados:

- Sistema de aquisição de dados;
- Sistema de análise de dados;
- Sistema de ação corretiva;
- Sistema de desempenho padrão;
- Ajuste do intervalo de manutenção e sistema de alteração do processo;
- Sistema de revisão do programa.

Tem havido uma discussão em relação à fiabilidade e às ações tomadas como necessárias para a empresa continuar a operar na fiabilidade estabelecida e seus limites. O desenvolvimento do programa de fiabilidade é da responsabilidade do departamento de engenharia, que estabelece a fiabilidade individual de cada componente, peça, ou sistema, elaborando um relatório. O relatório de fiabilidade, mantém as estatísticas e os registos de apoio ao programa, fornecendo dados caso hajam alterações e ajustes a intervalos de tempo de manutenção e revisão geral, bem como atuando como elo de ligação com a EASA/ FAA na obtenção de aprovações de revisões e implementando-as na empresa.

A manutenção centrada na fiabilidade constitui um conjunto de ações e procedimentos desenvolvidos com o intuito de diagnosticar e analisar os vários fatores que contribuem para a não fiabilidade de um equipamento, assim como as medidas necessárias a tomar para implementar a sua fiabilidade.

O aumento de fiabilidade de um equipamento, leva a um aumento do tempo de funcionamento sem ocorrência de falhas. A fiabilidade dos componentes e dos equipamentos são por isso de importância vital para a definição de políticas de manutenção e segurança e de qualidade. O custo de avarias, de novos materiais e tecnologias empregues, a redução fundamental dos custos de manutenção e a necessidade do aumento da segurança, aumentam o risco na capacitação da empresa para novas componentes ou áreas de negócio distintas.

Relacionando a fiabilidade da componente com a sua manutenção encontra-se um novo parâmetro, a disponibilidade da componente. A disponibilidade é o momento durante o qual a componente se encontra operacional. O aumento de disponibilidade das componentes é então um dos principais objetivos da manutenção na empresa.

A necessidade de estudar a fiabilidade prende-se com a necessidade de compreensão e de controlo de riscos com que nos deparamos face ao desenvolvimento tecnológico.

3. CAPACITAÇÃO DA EMPRESA PARA A CALIBRAÇÃO DE ORIFÍCIOS

3.1. Sistemas Pneumáticos de Aeronaves

Os sistemas pneumáticos são recursos preponderantes nas aeronaves, recorrendo geralmente a energia pneumática recolhida nos andares intermédios e de alta pressão dos sistemas de propulsão (reatores) através de válvulas pneumáticas. O ar comprimido (*bleed air*) tem como utilização primordial o controlo ambiental de suporte de vida, sendo também utilizado nos sistemas anti gelo, presentes nas asas e entradas de ar dos turbo propulsores, e nos sistemas de arranque dos reatores.

Segundo a classificação ATA 100 (*Air Transport Association* e iSpec 2200), o sistema pneumático 36 inclui condutas e válvulas de regulação, fecho e distribuição que operam com elevados caudais de ar comprimido. Como acima referido, este ar comprimido é utilizado por outros sistemas, onde idênticos sensores, válvulas e acessórios conjugam funções de controlo.

Cada vez mais nos sistemas de aeronaves comerciais, predominam as tecnologias de controlo dos modos de operação, sistemas de gestão de segurança em caso de falha e sistemas de recolha de dados de manutenção, como são os *Air Management System Controllers*, que equipam a família de aeronaves E-Jet.

Na figura 3.1 é ilustrado o sistema pneumático e o controlador AMS que equipam os E-Jet.

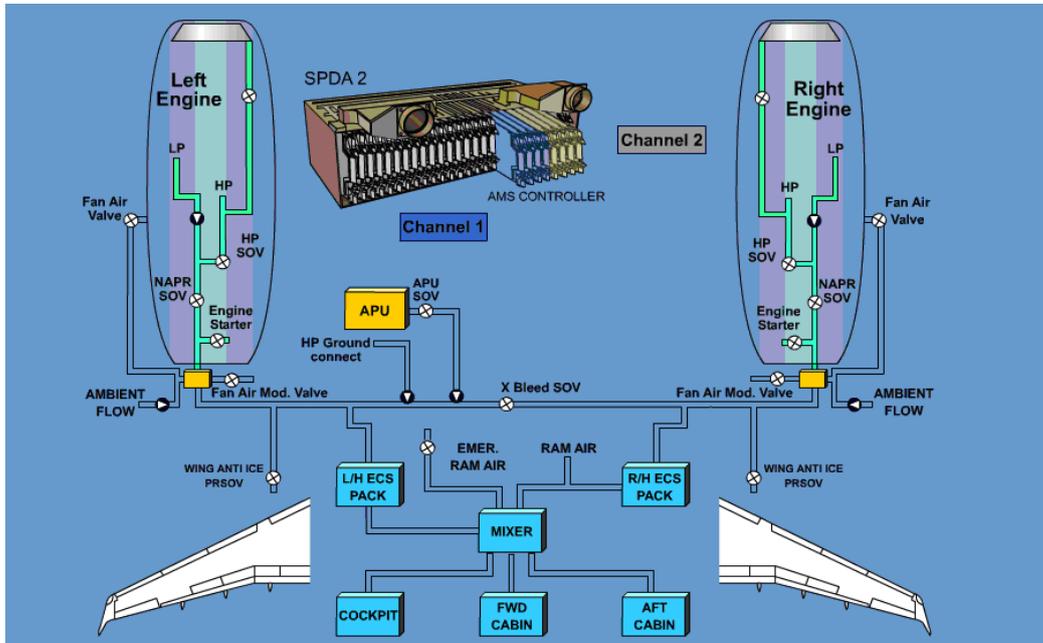


Figura 3.1 - Controlador AMS e apresentação do sistema pneumático [16]

Os AMS obtêm dados de vários sensores de pressão e de temperatura, que além de diagnóstico operacional contínuo, habilitam o reconhecimento das condições locais para estabelecer modos de operação através de pilotagem pneumática, estabelecendo condições programadas de total abertura ou fecho. A figura 3.2 mostra o sensor de pressão e o sensor de temperatura presentes nos E-Jet.

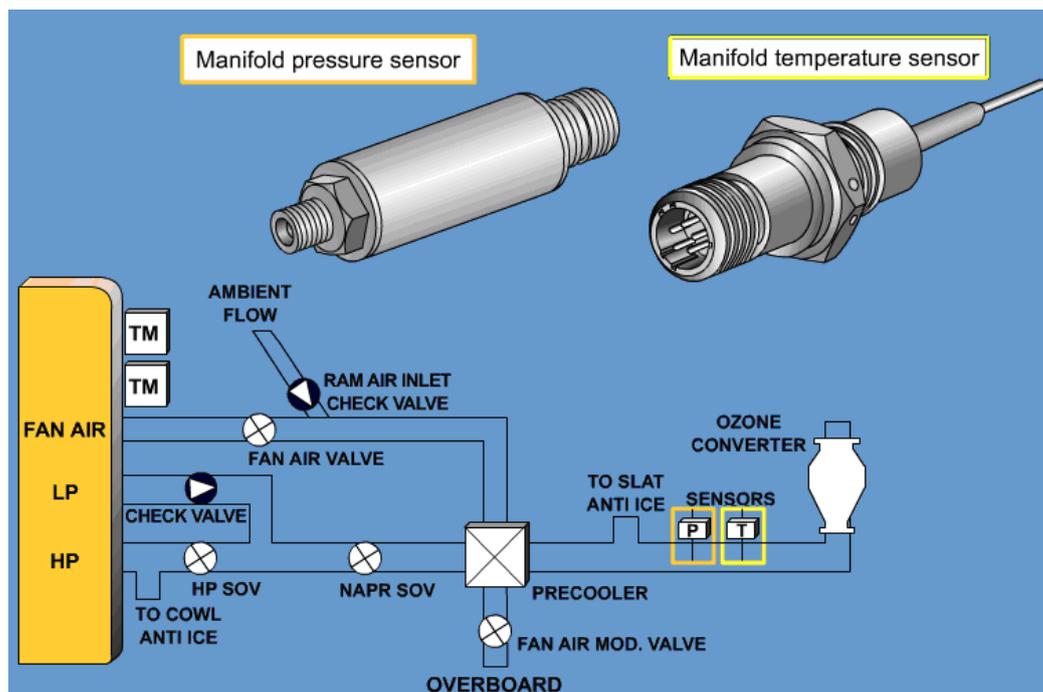


Figura 3.2 - Sensor de pressão e temperatura do sistema pneumático [16]

A modulação analógica progressiva de elevados caudais de massa de ar recolhido a pressões e temperaturas distintas é feita por válvulas tecnologicamente idêntias, designadas pelo fabricante Hamilton Sundstrand, como HPSOV (*High Pressure Shut Off Valves*) e PRSOV (*Pressure Reducing Shut Off Valves*) [17] [18]. Estas válvulas são ilustradas na figura 3.3.

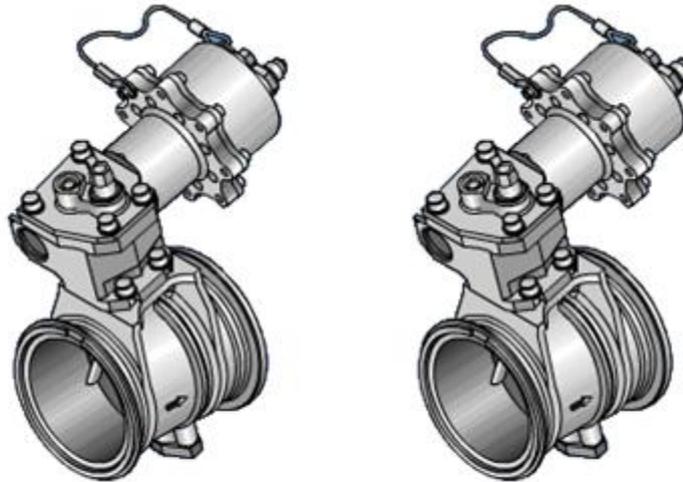


Figura 3.3 - Válvula de alta pressão (HP) e válvula de baixa pressão (LP) [16]

Estas válvulas são pilotadas por intermédio de electroválvulas de controlo binário apresentado na figura 3.4.

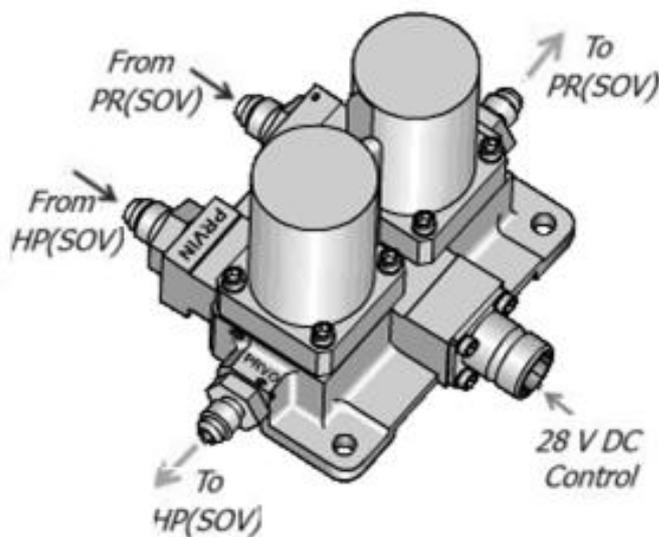


Figura 3.4 - Pilotagem automática - controlador electropneumático [16]

O ar comprimido (*Bleed Air*) dos compressores esquerdo e direito é recolhido pelo sistema ATA 36 que habilita a alimentação cruzada a partir de um ou de ambos os reatores. Na ausência de operação dos reatores, nomeadamente durante operações de embarque e/ou manutenção, a alimentação cruzada é feita pela APU (*Auxiliary Power Unit*) cuja principal função é produzir energia pneumática e eléctrica. Este equipamento apresenta-se na figura 3.5. Equipamentos de apoio terrestre podem servir o mesmo propósito durante a pesquisa de avarias (*trouble shooting*) ou operações suporte, como é ilustrado na figura 3.6.

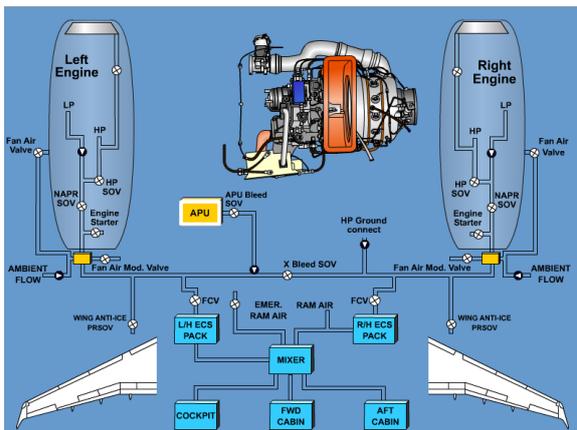


Figura 3.5 - Motor APU [16]

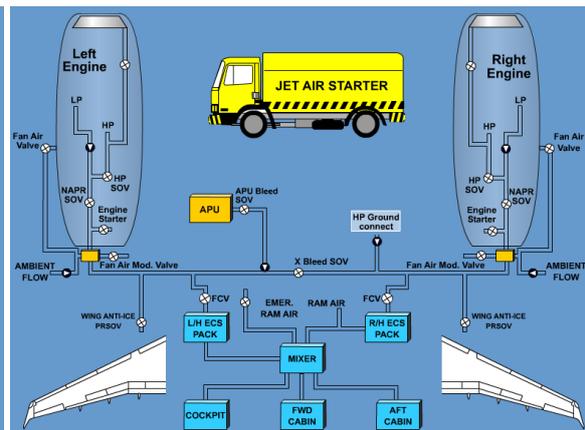


Figura 3.6 - Motor pneumático de terra [16]

A origem preferencial de recolha de ar é gerida pelo AMS (*Air Management System*) que “escolhe”, através da HPSOV e da PRSOV, o ar mais ou menos aquecido em andares superiores ou intermédios de compressão. É a partir do sistema ATA 36 que o controlo exercido por estas válvulas processa a mistura e, regula e distribui a energia de operação dos restantes sistemas pneumáticos, aos quais compete controlar grandezas físicas, químicas e biológicas exigidas à sua função:

ATA 21: Sistema de Controlo Ambiental - ECS (*Environmental Control System*);

ATA 30: Sistema Anti gelo (*Anti-Ice Control System*);

ATA 80: Sistema de Arranque dos reatores (*Engine Air Start*).

No caso concreto dos reatores *General Electric* CF34-8E/10E, que equipam as aeronaves E-jet, o andar HP (*high pressure*) é o 10º e as pressões e temperaturas intermédias são recolhidas no 6º andar do compressor.

O controlo de pressão e temperatura na conduta de *Bleed Air* processa-se através da alternância de ar recolhido entre alta e baixa pressão do compressor (HP e LP) com a modulação simultânea da HPSOV e da PRSOV. Este processo é apresentado na figura 3.7, sendo da competência dos AMS *Controllers* assegurar a lógica do controlo para estabilizar uma pressão de 45 psig a altitude inferior a 25000 ft e uma pressão de 35 psig a altitude superior.

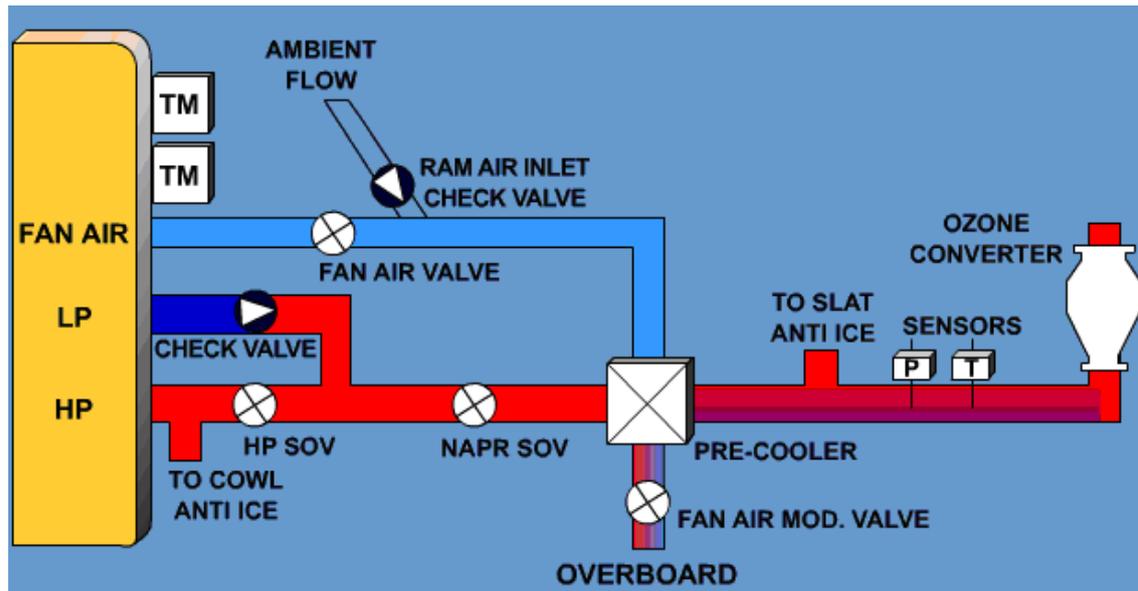


Figura 3.7 - Controlo de pressão e temperatura do caudal de ar [16]

A elevados regimes de potência dos reatores, como ocorre na descolagem, a pressão e temperatura dos andares superiores relativamente aos andares intermédios de compressão aumenta, pelo que a HPSOV limita o caudal de entrada de ar, mantendo a pressão até obter a HP. Em simultâneo, a PRSOV vai abrindo progressivamente até que o caudal de ar recolhido passa a ser debitado pelo andar intermédio. Por outro lado, como a probabilidade de formação de gelo é maior a baixa altitude, a HPSOV é controlada para admitir temperaturas mais altas, na ordem dos 230 °C (446 °F).

É o FADEC (*Full Authority Digital Engine Control*) que assegura o fecho das HPSOV quando as condições HP atingem valores limite de 178 psig a 260 °C (500 °F). As HPSOV voltam a operar em modulação contínua em regimes de condições de pressão e/ou temperatura inferiores.

Por imperativo de segurança, cabe ao controlador AMS, às HPSOV e neste caso ao FADEC, prevenir falhas catastróficas que possam decorrer destas condições. Por motivos legais, tais falhas têm de ser demonstradas como extremamente improváveis.

As SOV referidas são por tais imperativos construídas por ligas metálicas especiais, usam casquilhos de carbono em vez de rolamentos, vedantes metálicos elásticos e lubrificantes sólidos. Não incorporam partes elétricas sensíveis ao calor e consoante o seu estado, o custo unitário de reparação de uma SOV chega a atingir valores superiores a 75% do custo de uma válvula nova.

A reparação destas válvulas exige frequente recuperação de desgaste e corrosão de superfícies de revestimentos metálicos duros com recurso a tecnologias de “*Thermal spray*” como o HVOF (*High Velocity Oxygen Fuel*) disponível na OGMA.

O desenvolvimento da capacidade de ensaio após reparação ou revisão geral na OGMA, surgiu como imperativo de certificação aliado à estratégia de negócio, evitando dependência externa e despesas de subcontratação. Esta capacitação habilita a empresa para intervenções em válvulas pneumáticas de regulação e distribuição e outros componentes pneumáticos, tais como: *Pre coolers, heaters, Safety valves e Outflow valves*.

O processo de capacitação consiste na análise de requisitos, materiais especificados, ferramentas, e equipamentos de ensaio TTE (*Tools and Test Equipments*) incluindo documentação atualizada e todos os requisitos técnicos e recursos humanos qualificados pelo sistema de qualidade da organização autorizada de manutenção. Para o averbamento de um componente na Lista de Capacidades (*Capability List*) é necessário que pelo menos um primeiro artigo seja requalificado para serviço em conformidade com o CMM aplicável.

A conceção de ferramentas especiais e de equipamentos de ensaio faz parte do processo, regulamentado por normas internas e especificações de referência [19].

3.2. Metodologia e Procedimentos

Durante o desenrolar do estágio e conseqüente projeto, uma sucessão de passos foi seguida. Inicialmente, uma investigação sistemática e compreensão do projeto foi realizada, seguindo-se o desenvolvimento de conceitos e a seleção de uma solução.

3.2.1. Metodologia de Investigação

Como se encontrava pré determinado o acompanhamento de um projeto de capacitação, conceção de equipamentos e ferramentas de ensaio e a materialização documental das respetivas ferramentas associadas, começou-se por uma investigação teórica para a compreensão do problema. Neste âmbito, foram seguidas várias etapas que passaram pela familiarização com o processo de manutenção aeronáutica de componentes, consulta de manuais das válvulas pneumáticas, etapa fundamental para se enquadrar com a parte experimental do projeto, e verificação das normas e das limitações criadas pela própria indústria aeronáutica.

De modo a enquadrar a componente teórica com a componente prática, verificou-se ser necessário efetuar o levantamento e análise de requisitos do projeto, desenhar ou esquematizar adaptadores demonstrando integridade e segurança operacional, efetuar o procedimento de validação da documentação técnica produzida e elaboração da documentação técnica de suporte e publicações técnicas aplicáveis.

3.2.2. Metodologia de Implementação

A importância na resolução do problema prende-se somente com a metodologia criada na execução dos dados dos ensaios, bem como o propósito de reprodutibilidade dos mesmos no futuro. Após a concretização do proposto, esses novos ensaios serão feitos por técnicos baseando-se no processo desenvolvido neste projeto.

Para se chegar à solução do problema, a capacitação da empresa para a manutenção de componentes pneumáticas, é necessário fazer ensaios de duas ferramentas (orifícios calibrados de \varnothing 0.66 mm e de \varnothing 0.813 mm).

Ao longo do processo e avanço nos ensaios, acaba-se por entender que os dados propostos nos manuais das válvulas pneumáticas são insuficientes para a compreensão e análise dos orifícios calibrados fundamentais para as mesmas.

Desta forma, vai-se afinando o pretendido e analisando as respostas dos sistemas montados, refazendo os ensaios até à sua reprodutibilidade. Nas seções que se seguem, apresentam-se as ferramentas, sistemas e processos para a realização dos ensaios experimentais.

3.2.3. Bancos de Ensaio e Ferramentas

Os ensaios a realizar às diversas componentes de sistemas de aeronaves correspondem à simulação da operação com valores de variáveis funcionais especificados pelos fabricantes em manuais de manutenção CMM. Tais variáveis, como pressões, caudais e temperaturas, servem para aferição ou diagnóstico de anomalias, que habilitam a certificação de aptidão funcional, integridade estrutural e segurança de cada componente identificado por referência e número de série, para incorporar qualquer sistema. Em qualquer visita de manutenção, reparação ou revisão de um componente ao laboratório ou Área de especialidade é imperativa a emissão do certificado de aptidão para Serviço, que consiste num formulário regulamentado por Autoridades aeronáuticas internacionais como a Agência Europeia EASA e/ou a entidade governamental dos EUA, FAA.

A necessidade de ensaios de alta pressão conduz a riscos acrescidos, pelo que a formação técnica em segurança de pessoas nesta área é indispensável, sendo encarada com igual atenção a formação da equipa que processa o ensaio de cilindros de gás comprimido, onde são efetuados os ensaios periódicos exigidos a cilindros e reservatórios de oxigénio líquido, extintores de incêndio e outros.

3.2.4. Metodologia de Equivalência de TTE

Equipamentos universais de ensaios, como é o banco de ensaio, têm como função primária de fornecer energia e controlar as variáveis mensuráveis, pertencendo a cada *setup* e à instrumentação fixa ou portátil, a função primordial de cumprir os requisitos de prova de conformidade especificado em cada ensaio. A figura 3.8 mostra o banco de ensaio e respetivas ferramentas presentes na *shop*.



Figura 3.8 - Banco de ensaio de baixo caudal e ferramentas

A utilização de instrumentos de medida de precisão EMP é prática imperativa que sob tutela do Sistema de Qualidade, assegura que cada instrumento de medida está controlado, sendo adicionalmente necessário que cada EMP sirva os requisitos de resolução, e de precisão ou reprodutibilidade, correspondente à dispersão de medidas repetidas nas mesmas condições.

A utilização de variáveis correlacionadas com iguais ou mais rigorosos resultados, pode assegurar integral e inequivocamente a conformidade de segurança operacional e de comportamento físico, lógico e funcional, tanto na inspeção de um primeiro artigo FAI (*First article Inspection*) com o qual são validados TTE, como em posteriores UUT (*Units Under Test*) com condições e solicitações (*inputs e outputs*) documentalmente registadas com componentes da mesma referência (*Part Number*). O diagrama da figura 3.9 ilustra a metrologia de demonstração de equivalência de TTE.

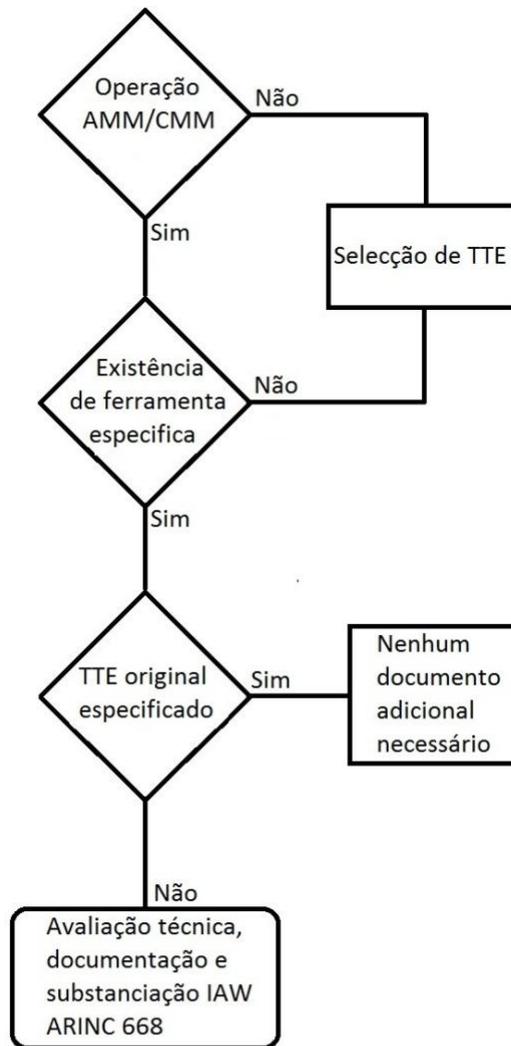


Figura 3.9 - Fluxograma da equivalência das TTE

3.2.5. Ferramentas Especiais

Na validação dos ensaios das HPSOV, foi considerada a necessidade de avaliar a taxa de variação da resposta dinâmica devido à restrição de caudal de ar induzida pelos orifícios TTE especiais nos testes do manual de manutenção das HPSOV. A documentação comercial referente aos materiais utilizados apresentam-se no anexo VII e no anexo IX.

No caso dos restantes TTE, *Inlet e Outlet Caps & Clamps*, é necessário o desenho OGMA que se ilustra na figura 3.10 e no anexo VI.

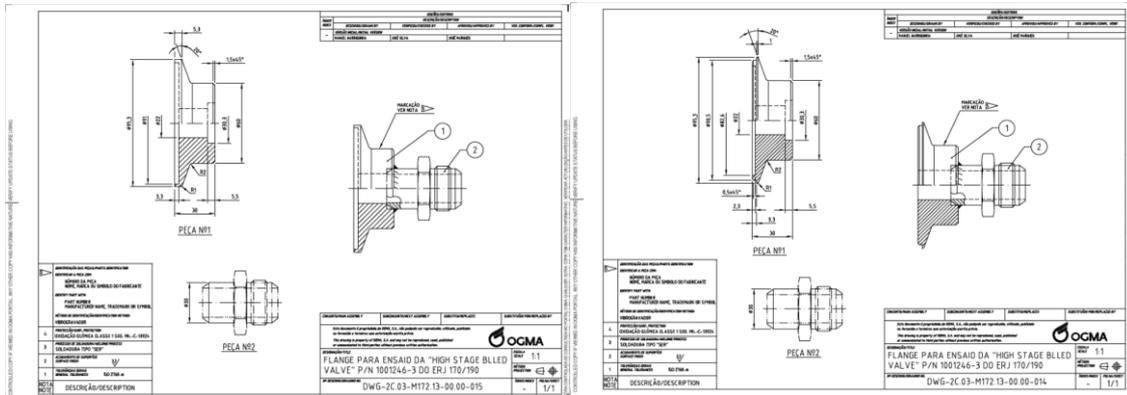


Figura 3.10 - Inlet e outlet caps

Pela influência que os orifícios têm nos tempos de reação de abertura e fecho das HPSOV, especificados em 4 e 5 segundos, a sua aprovação em ensaio e aferição foram consideradas evidências requeridas de aptidão para o ensaio preconizado, a efetuar em qualquer dos bancos de ensaio capaz de materializar os ensaios exigidos [17].

A figura 3.11 apresenta um modelo retirado do *software* interno da OGMA que mostra um exemplo de um ensaio do manual da válvula de alta pressão.

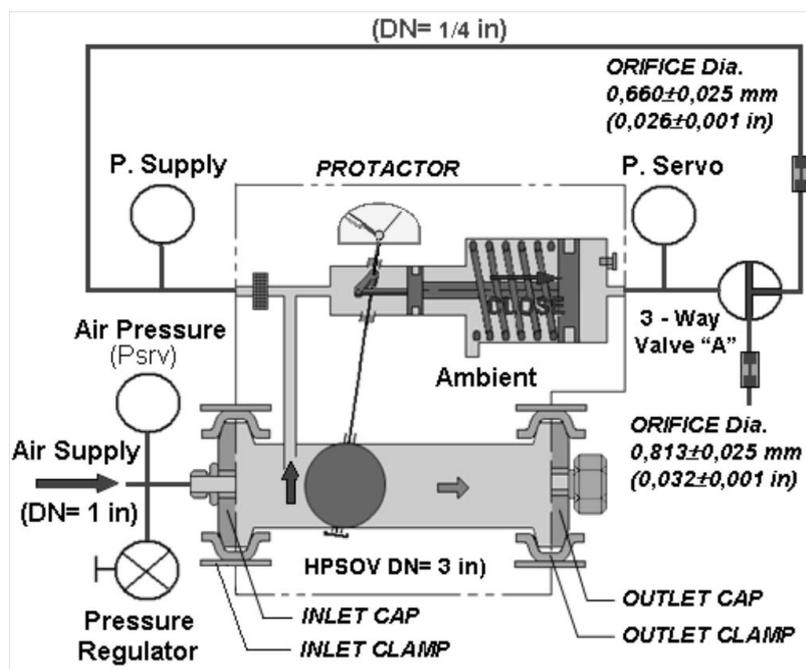


Figura 3.11 - Válvula de alta pressão e orifícios calibrados [16]

3.2.6. Produção e Ensaio dos Orifícios

Os orifícios foram manufacturados a partir de acessórios de união, (*fittings*) referência AN 815-4D, $\varnothing=0,660$ e AN 832-4D, $\varnothing=0,813$ modificados com uma obturação de 4 mm de espessura na extremidade e com diâmetro interior de 3,85 mm, com perfuração centrada em máquina de precisão com os diâmetros nominais indicados. Os orifícios apresentados na figura 3.12 são respetivamente o de diâmetro de $\varnothing 0.813$ mm e o de $\varnothing 0.66$ mm.

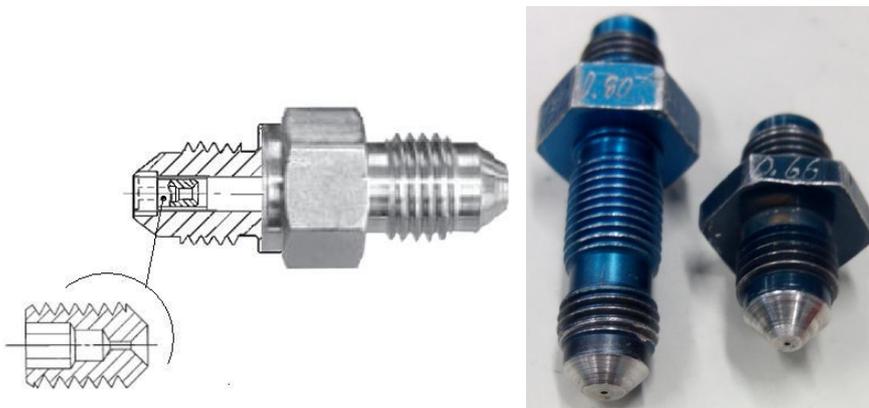


Figura 3.12 - Orifícios calibrados 0.813 mm e 0.66 mm

Sendo a verificação das tolerâncias de $\pm 0,025$ mm (referido mais adiante na dissertação); dos diâmetros de $\varnothing 0,66$ mm e $\varnothing 0,813$ mm uma operação virtualmente impraticável com os aparelhos de medida disponíveis, serão efetuados ensaios aos orifícios de referência para verificação de pressão diferencial, temperatura, pressão de alimentação e registo do caudal de massa de ar. A figura 3.13 ilustra a seção onde os orifícios irão estar presentes no sistema.

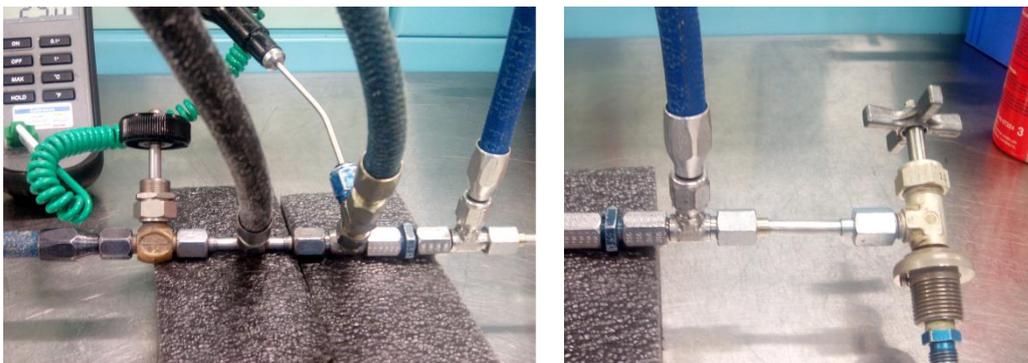


Figura 3.13 - Setup para ensaios

4. EVOLUÇÃO PROGRESSIVA DO PROCESSO DE CALIBRAÇÃO DOS ORIFÍCIOS

Após toda a análise teórica, e a leitura do manual da componente, bem como de diversas matérias que retratavam o assunto de calibração de orifícios e de manutenção de sistemas pneumáticos, iniciou-se o processo experimental. Este processo passou por criar um modelo experimental que replicasse o modelo teórico referido no manual da componente. Neste momento, o manual da componente era a única ponte existente entre os orifícios calibrados, como ferramentas especiais, e os ensaios referentes à *high stage bleed valve* [17]. É no manual que há referência às instruções de manutenção onde são referidos testes que mostram se a componente se encontra mantida.

Na descrição das operações, no manual da válvula pneumática, faz-se referência a uma série de passos a seguir para a manutenção da componente. Os diferentes ensaios à componente referem três pressões de trabalho; 5 psi, 10 psi e 15 psi. Estas pressões de trabalho são então referidas como pressões de entrada, em que as pressões de saída têm que ser aproximadamente 80 % a 85 % da respetiva pressão de entrada. Um outro fator importante no processo de calibração dos orifícios é a referência no manual da válvula às ferramentas específicas (anexo IX), como os orifícios. Como referido no capítulo anterior, os orifícios mantêm-se calibrados se os parâmetros dos mesmos se encontrem dentro da tolerância de $\varnothing \pm 0,025$ mm. Essa tolerância é referida como fundamental para todo o processo de calibração dos orifícios.

Na figura 4.1, apresenta-se o sistema e as ferramentas que se utilizou para criar o modelo experimental no banco de ensaio.

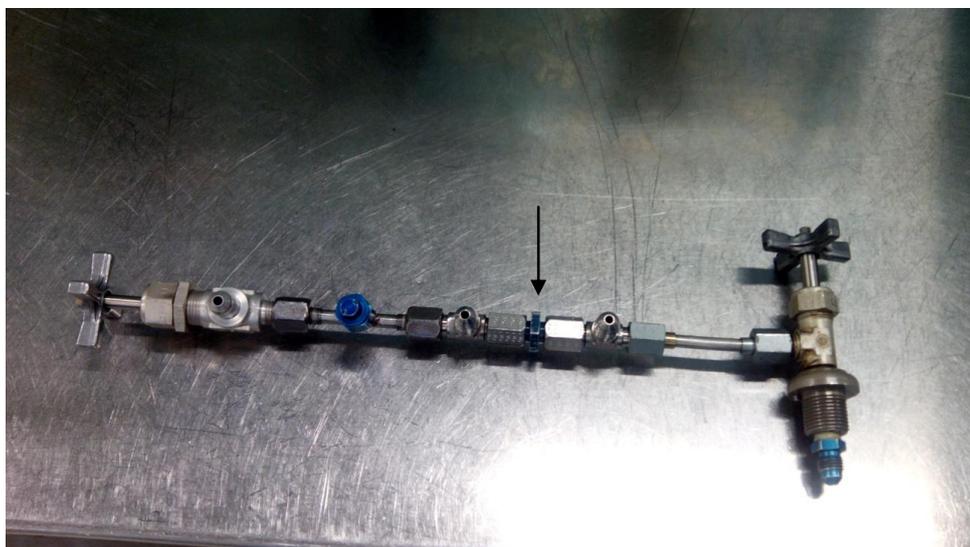


Figura 4.1- Sistema montado para a análise de calibração dos orifícios

4.1. Ensaio com Aumento de Pressão

O banco de ensaio e as ferramentas presentes têm que criar um modelo com as características referidas no manual da válvula. Este primeiro ensaio realizou-se somente com o *flow meter* 1 (medidor de caudal volúmico com um intervalo de valores de 0 a 50 lpm) e com o orifício de \varnothing 0.66 mm, e os dados foram retirados com o aumento gradual de pressão de entrada. Neste processo, há diversos parâmetros a ter em conta, porém a sensibilidade para entender os mesmos era diminuta nesta fase. Considerou-se que existia a necessidade de se saber experimentalmente dados como, a pressão de entrada e de saída, o caudal volúmico e temperatura de escoamento. O caudal volúmico tinha que ser medido num local onde estivesse estabilizado, não sendo afetado pelo orifício a jusante. O sistema depois de montado, e de o banco de ensaio estar em funcionamento, utiliza-se o regulador de caudal de forma a inserir um *input*, em que a pressão de entrada e a pressão de saída têm que corresponder aos valores de pressão descritos no manual, sendo o valor do caudal volúmico secundário neste momento de calibração do sistema.

Na figura 4.2 apresenta-se o banco de ensaio onde se desenvolveu o processo de calibração dos orifícios, e onde se pode ver em pormenor os manómetros analógicos de pressão, o *flow meter* (Anexo VIII), o regulador de cauda e o regulador de tensão.



Figura 4.2 - Banco de ensaio

A tabela 4.1 apresenta parte dos dados de ensaio da pressão de entrada e de saída, bem como os valores do caudal volúmico.

Tabela 4.1 - Ensaio do orifício calibrado com \varnothing 0.66 mm

Ensaio	Pvi (psi)	Qv (l/min)	Pout (psi)	ΔP (psi)	T in (°C)
	4,5	1,4	3,88	0,62	22.2
≈5PSI	5	1,6	4,27	0,73	22.2
	5,5	1,7	4,64	0,86	22.2
	9,5	2,65	6,82	2,68	22.8
≈10PSI	10	2,8	7,16	2,84	22.8
	10,5	2,8	7,47	3,03	22.8
	14,5	3,8	8,96	5,54	22.8
≈15PSI	15	3,9	9,32	5,68	22.8
	15,5	4	9,62	5,88	22.8

Os dados apresentados na tabela anterior são parte do conjunto de dados retirados experimentalmente e usados só como forma de ilustrar o processo experimental para a replicação dos mesmos. Neste ensaio a replicação não foi possível devido à forma como se procedeu. Iniciou-se o ensaio do menor valor de pressão para o maior valor de pressão, o que leva à não reprodutibilidade do ensaio. Esta não reprodutibilidade deve-se a um fator que não se teve em conta inicialmente. Como se referiu no início deste capítulo, é exigido que o sistema se comporte de acordo com a teoria, porém isso não se verifica. Conforme se ia aumentando o caudal, a pressão de entrada e a pressão de saída iam aumentando progressivamente, mas não como se pretendia. A pressão de saída, por este método não manteve 80% a 85 % da pressão de entrada.

A figura 4.3 ilustra o comportamento do sistema com o orifício calibrado de \varnothing 0.66 mm e com o *flow meter* 1, mostrando a dispersão dos dados experimentais e a relação linear entre o caudal volúmico e o diferencial de pressão.

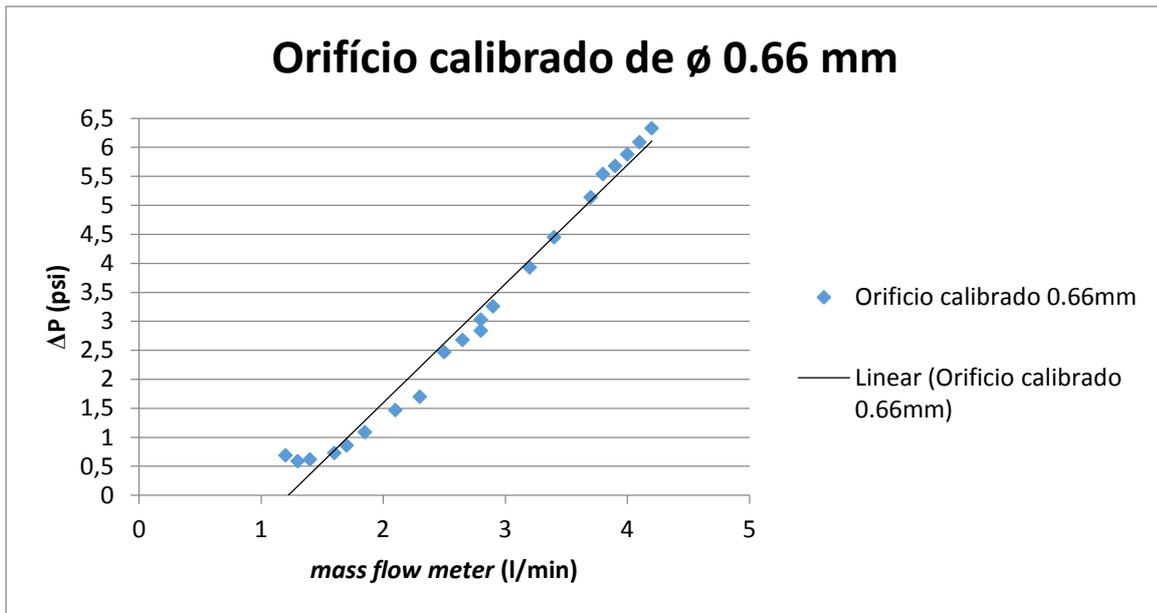


Figura 4.3 - Resultados do ensaio com o orifício calibrado Ø 0.66 mm

4.2. Ensaio com Diminuição Gradual de Pressão

Ao se verificar que o primeiro ensaio não dava para ser replicado teve de se alterar o raciocínio. Desta forma, considerou-se que os dados iriam ser retirados com a diminuição gradual de pressão de entrada para cada gama de valores de pressão de trabalho, 5 psi, 10 psi e 15 psi. Neste ensaio o orifício de Ø 0.66 mm foi colocado primeiramente, estando os respetivos dados apresentados na tabela 4.2. De seguida o orifício de Ø 0.66 mm foi retirado e substituído pelo orifício de Ø 0.813 mm, cujos dados se encontram na tabela 4.3. Em ambos os casos utilizou-se o *flow meter* 1.

Tabela 4.2 - Segundo ensaio do orifício de \varnothing 0.66 mm

Ensaio	Pvi (psi)	Qv (l/min)	Pout (psi)	ΔP (psi)	T in (°C)
≈5PSI	5,5	1,3	4,72	0,78	22,2
	5	1,2	4,21	0,79	22,2
	4,5	1,1	3,87	0,63	22,2
≈10PSI	11	1,95	9,44	1,56	22,8
	10	1,8	8,62	1,38	22,8
	9,5	1,8	8,11	1,39	22,8
≈15PSI	15,5	2,45	13,38	2,12	22,8
	15	2,4	12,84	2,16	22,8
	14,5	2,3	12,44	2,06	22,8

Tabela 4.3 - Segundo ensaio do orifício de \varnothing 0.813 mm

Ensaio	Pvi (psi)	Qv (l/min)	Pout (psi)	ΔP (psi)	T in (°C)
≈5PSI	5,5	2,1	4,6	0,9	21,7
	5	2	4,21	0,79	21,7
	4,5	1,9	3,79	0,71	21,7
≈10PSI	10,5	3,2	8,84	1,66	23,3
	10	3,1	8,42	1,58	23,3
	9,5	3	7,98	1,52	23,3
≈15PSI	15,5	4,2	13,13	2,37	23,3
	15	4,1	12,7	2,3	23,3
	14,5	4	12,25	2,25	23,3

Relacionando o primeiro ensaio com este segundo ensaio, consegue-se detetar diferenças significativas entre os dados da tabela 4.1 e da tabela 4.2. Sobrepondo os dados das tabelas 4.1 e 4.2 verifica-se que só no segundo ensaio são atingidos os pressupostos do manual. A tabela 4.3 apresenta dados com um comportamento idêntico aos da tabela 4.2, uma vez que os dados foram ensaiados nas mesmas condições trocando-se apenas de orifício. Neste momento, sem ter em conta o valor do caudal volúmico, verifica-se que a pressão de saída representa 80 % a 85 % da pressão de entrada ao longo do ensaio experimental. No entanto, constata-se que se pode otimizar o processo de replicação experimental tendo em conta diversas variáveis, que nestes primeiros ensaios não estavam a ser consideradas.

A figura 4.4 ilustra o banco de ensaio com as ferramentas que compõem o sistema.

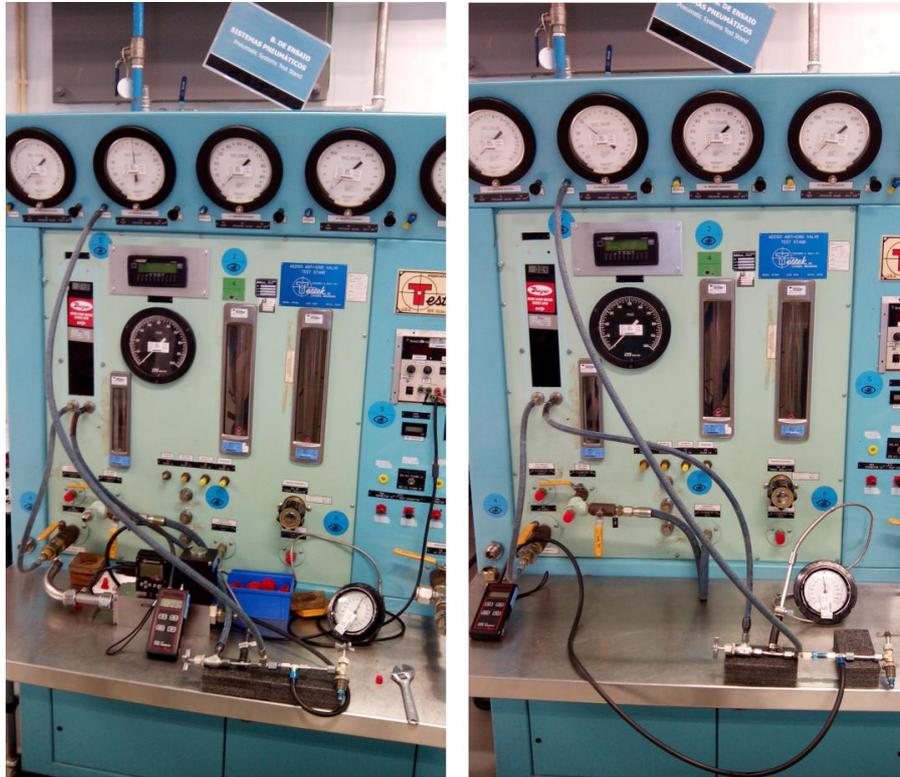


Figura 4.4 - Segundo ensaio no banco com os orifícios de \varnothing 0.66 mm e \varnothing 0.813 mm

A figura 4.5 aponta algumas medidas efetuadas para considerações.

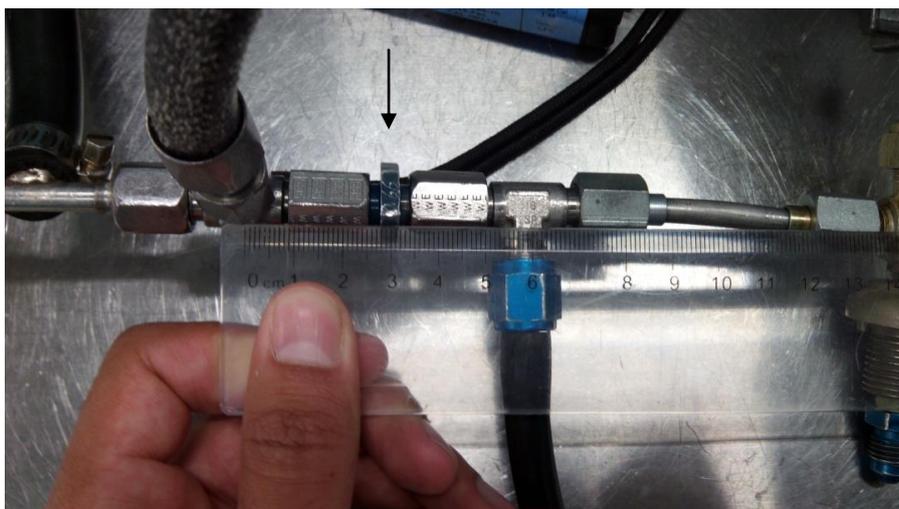


Figura 4.5 - Instrumentação montada no banco com o orifício de \varnothing 0.66 mm

Com os dados apresentados nas tabelas 4.2 e 4.3, fez-se a correlação dos mesmos na figura 4.6. Verifica-se que uma pequena diferença entre os orifícios em estudo, leva a retas lineares bem distintas. Como era esperado o caudal volúmico referente ao orifício de \varnothing 0.813 mm seria maior para os mesmos valores de pressão que o do orifício de \varnothing 0.66 mm.

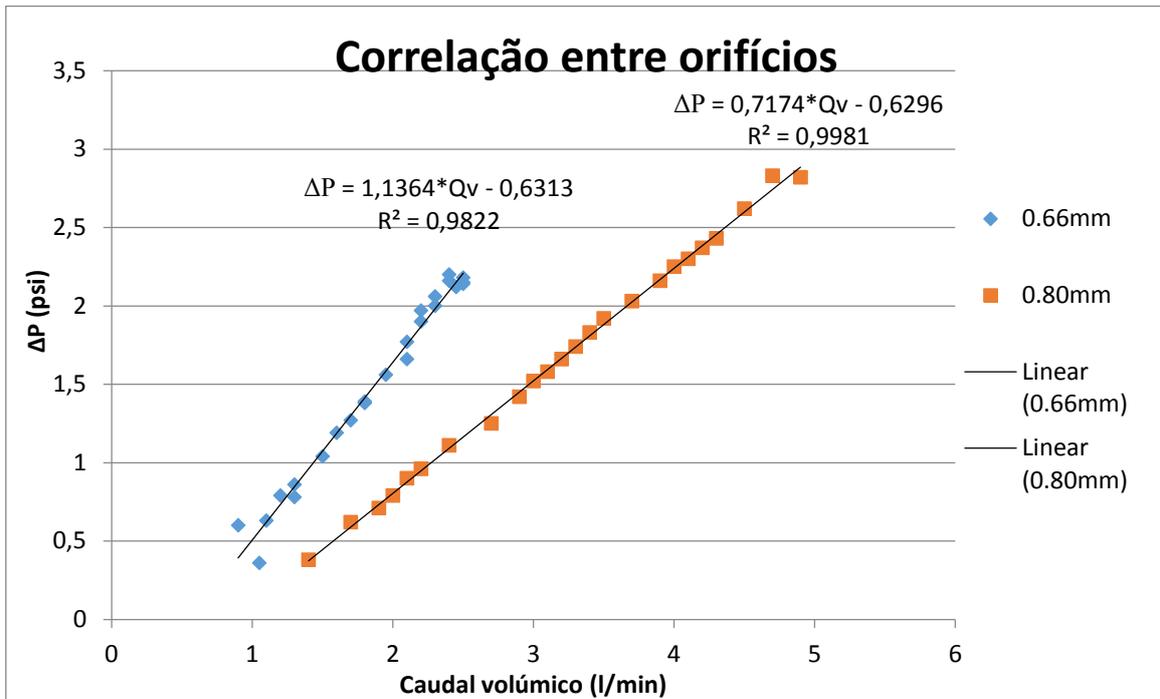


Figura 4.6 - Correlação dos dados entre os orifícios

Neste ensaio, o sistema comportou-se como se esperava, no entanto o processo experimental não foi o mais correto. A dificuldade de repetir este ensaio faz com que se tenha de prosseguir com os ensaios experimentais.

4.3. Instrumentação do Banco de Ensaio

Os ensaios desenvolvidos nesta fase fizeram com que se detetassem limitações da instrumentação presente no banco de ensaio. Por esta razão tentou-se verificar qual o instrumento com melhor precisão dos indicadores de pressão digital (*Heise e Dwyer*), apesar da existência de diversos manómetros analógicos no banco de ensaio. Desta forma, fizeram-se ensaios para seleccionar o que melhor traduzia o comportamento da pressão de entrada em função do caudal. O *flow meter 2* (medidor de caudal volúmico com um intervalo de valores de 0 a 1000 ccm) foi o utilizado para estes ensaios.

Na figura 4.7 ilustra-se o banco de ensaio e os diferentes manómetros analógicos, como os manómetros digitais *Heise* e *Dwyer*.



Figura 4.7 - Manómetros de pressão analisados no banco de ensaio

Nas tabelas 4.4 e 4.5 apresentam-se dados experimentais do ensaio que garantem qual dos manómetros digitais é o mais indicado. Como se estava a utilizar o *flow meter 2*, os dados não alcançaram valores de pressão em que seja detetada uma variação considerável entre ambos os indicadores.

Tabela 4.4 - Banco de ensaio - análise de orifícios calibrados - Ø 0,66 mm

Mass Flow Meter (mL/min)	Pressure indicator - Heise (PSI)	Pressure indicator - Dwyer (PSI)
107	0,043	0,039
188	0,061	0,058
222	0,069	0,067
265	0,083	0,078
308	0,097	0,093
422	0,141	0,141
505	0,178	0,184
588	0,223	0,229
694	0,286	0,297
753	0,327	0,338
809	0,368	0,364
886	0,426	0,419
917	0,453	0,454
974	0,502	0,516
1023	0,546	0,553

Tabela 4.5 - Banco de ensaio - análise de orifícios calibrados - Ø 0,813 mm

Mass Flow Meter (mL/min)	Pressure indicator - Heise (PSI)	Pressure indicator - Dwyer (psi)
129	0,039	0,036
154	0,041	0,039
194	0,046	0,044
252	0,052	0,051
338	0,064	0,059
492	0,095	0,099
557	0,11	0,106
641	0,129	0,126
708	0,147	0,145
812	0,178	0,174
938	0,218	0,213
1003	0,244	0,239
1034	0,257	0,252

Com este ensaio, verificou-se a precisão dos dois os instrumentos de pressão e a sua calibração. Nas tabelas 4.4 e 4.5 verifica-se que o comportamento de ambos é em tudo idêntico. No entanto, para os ensaios que estavam a ser realizados, o instrumento de pressão *Dwyer* mostrou corresponder ao que se pretendia, desde conseguir indicar pressões diferenciais, bem como valores de pressão de ensaio superiores. Constatou-se que o manómetro digital *Heise* não medida pressões diferenciais e principalmente o seu alcance era bastante reduzido, limitando o processo de calibração de orifícios. Este manómetro é indicado para medir caudais impercetíveis numa gama de valores próxima de zero. Ainda se tentou fazer ensaios com este manómetro digital, porém os dados não apresentaram respostas favoráveis ao que se pretendia.

4.4. Verificação de Calibração de *Flow Meters* e Suas Limitações

Na figura 4.8 está representada a calibração do *flow meter* 2 e na figura 4.9 está representada a calibração do *flow meter* 1. Nos gráficos seguintes é apresentada a distinção entre a calibração de fábrica e a recalibração anual feita na TAP. Com os dados das duas figuras a seguir apresentadas, calcula-se as equações lineares para cada intervalo. Estas equações lineares são calculadas com base nos pontos utilizados para analisar a calibração dos *flow meters*, pois o erro verificado na calibração será considerado para fins de cálculo (anexo III e IV).

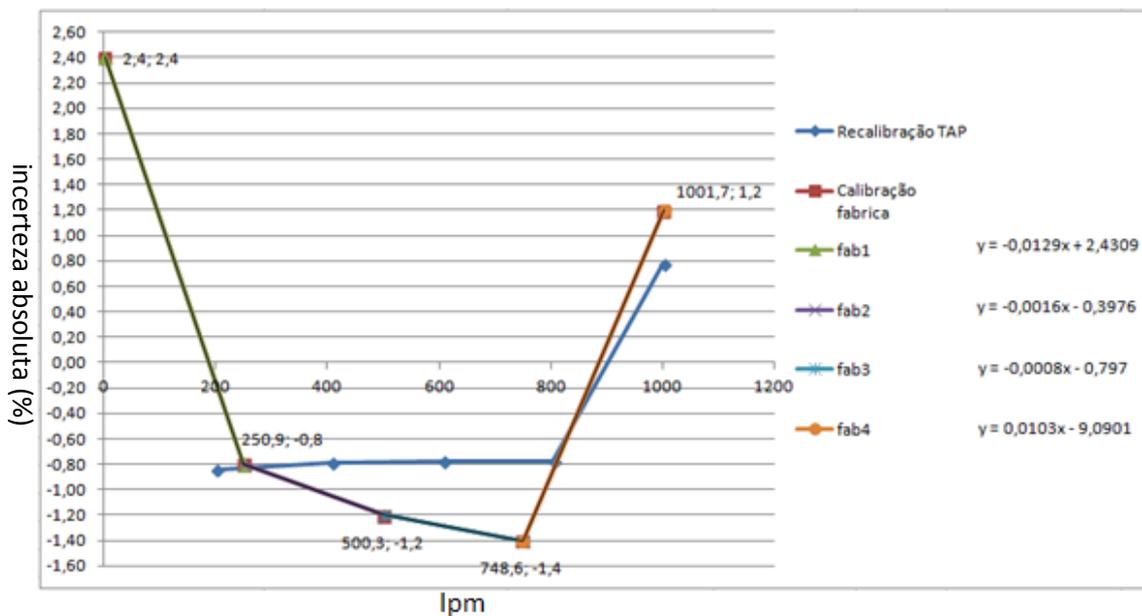


Figura 4.8 - Dados de calibração do *flow meter* 2

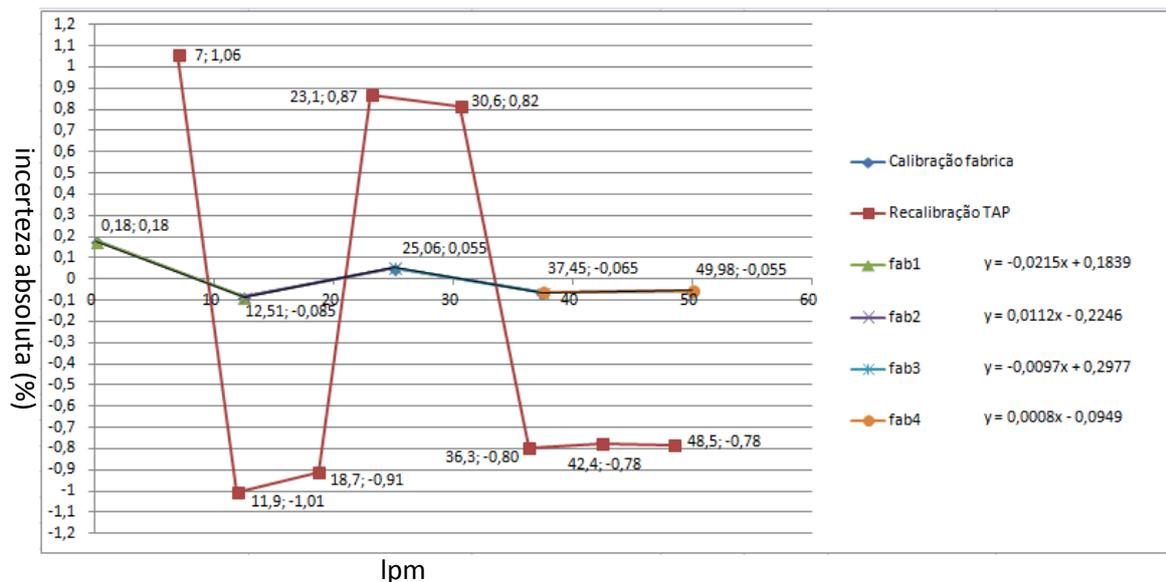


Figura 4.9 - Dados de calibração do *flow meter* 1

As figuras 4.8 e 4.9 são gráficos que ilustram os dados dos anexos II, III, IV e V, relacionando os dados do *flow meter* 2 na primeira figura e os dados do *flow meter* 1 na figura seguinte. Ao se efetuar a união dos pontos de calibração obtêm-se funções lineares que representam o comportamento dos *flow meters* nesse intervalo. Estas funções lineares serão usadas mais à frente para corrigir o valor dos caudais volúmicos.

Após a análise dos resultados retirados experimentalmente do ensaio 4.2, surge a dúvida sobre que *flow meter* responde da melhor forma ao processo de calibração dos orifícios. Devido aos parâmetros do problema e às limitações de ferramentas e do banco de ensaio, fez-se um ensaio em que se analisa o comportamento dos dois *flow meters* disponíveis. A figura 4.10 mostra como se encontrava o banco de ensaio e a montagem do respetivo sistema.



Figura 4.10 - Ensaio com a correlação dos dados dos dois orifícios

No ensaio mostra-se a relação do caudal volúmico com o diferencial de pressão, utilizando inicialmente o orifício de \varnothing 0.66 mm, repetindo-se o ensaio mas substituindo-o pelo orifício de \varnothing 0.813 mm.

Na figura 4.11 apresentam-se as curvas polinomiais de terceiro grau, que melhor representam a aproximação para os dados dos ensaios.

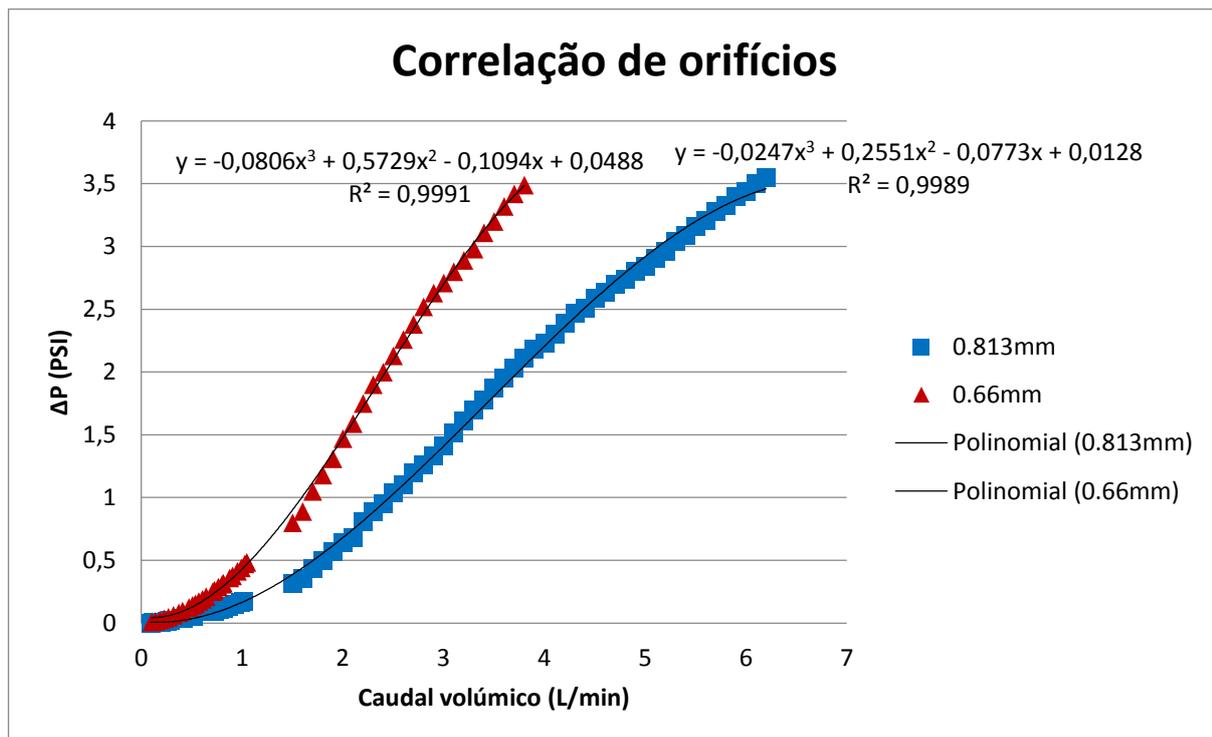


Figura 4.11 - Correlação dos dados dos orifícios para os dois *flow meters*

Com os dados apresentados no gráfico da figura 4.11 conclui-se que nos ensaios onde os caudais são muito baixos existe maior incidência de erros experimentais. Verificou-se que o banco de ensaio não tem a precisão nem instrumentação que sirvam para os ensaios com o *flow meter* 2. Desta forma, os ensaios seguintes foram realizados apenas com o *flow meter* 1. Sabendo que a precisão do *flow meter* 1 é de um caudal de 0.1 lpm, tem-se que converter essa precisão para micrómetros, pois relacionará o caudal volúmico medido com a dimensão dos orifícios calibrados e respetivas tolerâncias.

Como se verifica pela figura 4.12, o manómetro digital *Dwyer* foi o utilizado para retirar o diferencial de pressão.

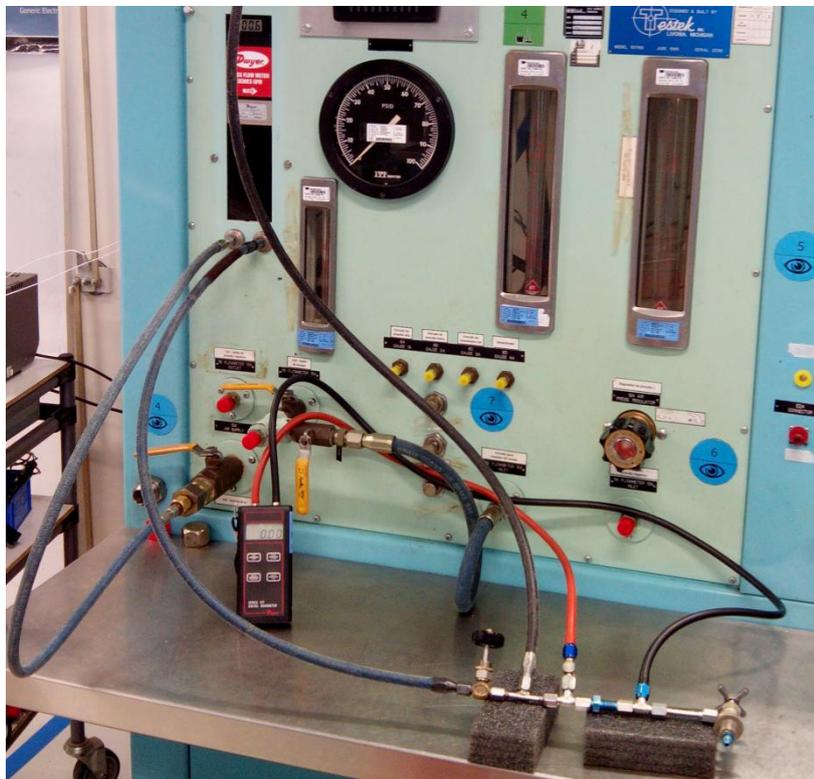


Figura 4.12 - Análise de precisão do *flow meter*

4.5. Verificação da Calibração dos Orifícios

Como referido anteriormente encontra-se a desenvolver uma metodologia de ensaios para a verificação de calibração de orifícios, tendo um diâmetro de \varnothing 0.66 mm e outro de \varnothing 0.813 mm. O diâmetro máximo e mínimo admitido é de $\pm 25 \mu\text{m}$ para os orifícios se encontrarem calibrados (anexo IX). Nos ensaios utilizou-se o *flow meter* 1 e o medidor de pressão *Dwyer*. Retirou-se a temperatura ambiente e a pressão atmosférica, bem como a temperatura de ensaio.

O orifício calibrado mantém-se em conformidade desde que, para todas as pressões de entrada estipuladas, o seu caudal volúmico superior e o seu caudal volúmico inferior representem $\varnothing \pm 25 \mu\text{m}$ face ao valor de fabricação. Verifica-se que os valores limite de caudal têm uma proporcionalidade direta para com os valores do limite de diâmetro do orifício.

Na tabela 4.6 e na tabela 4.7 apresentam-se diversos dados experimentais referentes ao cálculo dos limites impostos para os quais os orifícios se encontram calibrados. Esses limites são o caudal volúmico superior e o caudal volúmico inferior, sendo relevante a referência à percentagem de erro relativo face aos caudais calculados (% Q_{sup} e % Q_{inf}). Nas tabelas 4.6 e 4.7 realça-se os dados nas colunas referentes aos erros relativos de caudais. Este assunto será abordado posteriormente nesta dissertação, mostrando a importância dos mesmos para cálculos futuros. Para se entender como se calculou os dados das tabelas seguintes, mostra-se nas primeiras colunas os dados retirados experimentalmente, como o *flow meter* e o diferencial de pressão (ΔP) que relaciona a pressão de entrada (P_{in}) e de saída (P_{out}).

Tabela 4.6 - Cálculo dos limites de caudal para o orifício Ø 0.66 mm

Mass Flow meter (st l/min)	Mass Flow meter cf (St l/min)	ΔP (kPa)	P_{in} (PSI)	Cd_{matlab}	Q_{sup} (St lpm)	ΔQ_{sup} (St lpm)	% Q_{sup}	Q_{inf} (St lpm)	ΔQ_{inf} (St lpm)	% Q_{inf}
19,9	19,898	157,20	120	0,713	22,101	2,2026	11,07	18,006	1,8925	9,51
18,9	18,887	146,86	114	0,715	21,070	2,1827	11,56	17,012	1,8755	9,93
18,1	18,078	143,41	110	0,704	20,236	2,1581	11,94	16,224	1,8543	10,26
17,2	17,168	136,52	105	0,699	19,301	2,1331	12,42	15,335	1,8328	10,68
16,4	16,359	131,00	100	0,695	18,481	2,1214	12,97	14,536	1,8228	11,14
15,4	15,348	126,86	95	0,678	17,432	2,0838	13,58	13,557	1,7905	11,67
14,7	14,640	117,21	90	0,686	16,715	2,0753	14,18	12,857	1,7832	12,18
14,1	14,033	108,94	85	0,698	16,117	2,0838	14,85	12,243	1,7905	12,76
13,2	13,123	103,42	80	0,687	15,175	2,0514	15,63	11,361	1,7626	13,43
12,2	12,122	100,66	75	0,663	14,128	2,0060	16,55	10,398	1,7236	14,22
11,5	11,437	91,01	70	0,674	13,432	1,9954	17,45	9,722	1,7145	14,99
10,7	10,654	82,74	65	0,676	12,623	1,9687	18,48	8,962	1,6916	15,88
9,7	9,675	78,60	60	0,652	11,585	1,9100	19,74	8,034	1,6411	16,96
8,9	8,893	71,71	55	0,648	10,770	1,8772	21,11	7,280	1,6129	18,14
8,1	8,110	63,43	50	0,649	9,946	1,8360	22,64	6,532	1,5775	19,45
7,3	7,327	58,61	45	0,635	9,125	1,7978	24,54	5,782	1,5447	21,08
6,6	6,642	51,02	40	0,642	8,413	1,7712	26,67	5,120	1,5219	22,91
5,8	5,859	46,19	35	0,624	7,578	1,7190	29,34	4,382	1,4770	25,21
5,1	5,174	38,61	30	0,632	6,852	1,6777	32,42	3,733	1,4415	27,86
4,5	4,587	33,09	25	0,640	6,257	1,6699	36,40	3,152	1,4348	31,28
3,8	3,902	25,51	20	0,658	5,513	1,6103	41,27	2,519	1,3837	35,46
3,1	3,217	19,31	15	0,669	4,757	1,5394	47,85	1,895	1,3227	41,11

Tabela 4.7 - Cálculo dos limites de caudal para o orifício Ø 0.813 mm

Mass Flow meter (St l/min)	Mass Flow meter cf (St l/min)	ΔP (kPa)	P_{in} (PSI)	Cd_{matlab}	Q_{sup} (St lpm)	ΔQ_{sup} (St lpm)	% Q_{sup}	Q_{inf} (St lpm)	ΔQ_{inf} (St lpm)	% Q_{inf}
34,8	34,760	158,58	120	0,82	38,559	3,799	10,93	31,402	3,358	9,66
33,1	33,077	151,68	115	0,81	36,828	3,751	11,34	29,761	3,316	10,03
31,5	31,492	144,79	110	0,81	35,204	3,712	11,79	28,211	3,281	10,42
30,1	30,106	139,27	105	0,80	33,803	3,697	12,28	26,837	3,268	10,86
28,6	28,620	133,76	100	0,79	32,289	3,669	12,82	25,377	3,243	11,33
27,2	27,234	126,86	95	0,79	30,881	3,647	13,39	24,010	3,224	11,84
25,7	25,748	121,35	90	0,78	29,362	3,613	14,03	22,554	3,194	12,41
24,4	24,449	113,07	85	0,79	28,043	3,594	14,70	21,271	3,178	13,00
22,8	22,831	107,56	80	0,78	26,365	3,534	15,48	19,706	3,124	13,68
21,4	21,415	99,28	75	0,78	24,905	3,490	16,30	18,330	3,085	14,41
19,8	19,797	95,15	70	0,75	23,219	3,422	17,29	16,772	3,025	15,28
18,6	18,584	86,87	65	1,56	21,741	3,158	16,99	15,792	2,791	15,02
17,1	17,067	81,36	60	0,75	20,401	3,334	19,54	14,119	2,948	17,27
15,8	15,752	73,08	55	0,75	19,038	3,286	20,86	12,848	2,905	18,44
14,5	14,438	67,57	50	0,74	17,681	3,243	22,46	11,571	2,867	19,85
13,1	13,022	62,05	45	0,73	16,190	3,168	24,33	10,222	2,801	21,51
12	11,926	54,47	40	0,74	15,080	3,154	26,44	9,138	2,788	23,38
10,5	10,458	48,26	35	0,72	13,495	3,037	29,04	7,774	2,684	25,67
9,2	9,186	41,37	30	0,72	12,138	2,952	32,14	6,577	2,610	28,41
7,8	7,816	34,47	25	0,71	10,629	2,813	35,99	5,329	2,487	31,82
6,4	6,446	28,96	20	0,68	9,092	2,646	41,05	4,107	2,339	36,29
5,2	5,272	20,68	15	0,70	7,769	2,497	47,37	3,065	2,208	41,87

Analisando as tabelas 4.6 e 4.7, observa-se que os parâmetros são os mesmos em ambas, porém os seus valores diferem devido à utilização de orifícios distintos. Desta forma, vai-se apresentar as formulas que corroboram a calibração de ambos os orifícios.

O valor do erro do *flow meter* (E_{fm}) é calculado com base nos dados de calibração de fábrica da figura 4.9.

$$MFMcf = MFM + E_{fm} \quad (1)$$

onde:

$MFMcf$ - *mass flow meter* corrigido de fábrica (St lpm)

MFM - *mass flow meter* (St lpm)

E_{fm} - erro de caudal volúmico (St lpm)

As tabelas não apresentam todos os dados calculados devido à sua grande volumetria apresentando de seguida diversas fórmulas,

$$\dot{m} = MFMcf * \frac{1,225}{1000} \quad (2)$$

onde:

\dot{m} - caudal mássico (kg/min)

$$Cd_{matlab} = \frac{\frac{\dot{m} * 60}{(\pi * r^2) * P_{inabs}}}{\sqrt{\frac{2 * k}{(1,4 - 1) * 287 * (T_{in} + 273,15)} * \left(\frac{P_{outabs}^{\frac{2}{1,4}}}{P_{inabs}} - \frac{P_{outabs}^{\frac{1,4 + 1}{1,4}}}{P_{inabs}} \right)}} \quad (3)$$

onde:

Cd_{matlab} - coeficiente de descarga (fórmula do *matlab*)

r - raio do orifício

P_{inabs} - pressão de entrada absoluta (Pa)

T_{in} - temperatura do escoamento (°C)

P_{outabs} - pressão de saída absoluta (Pa)

$$P_{inabs} = P_{in} * 6894,76 + P_{atm} \quad (4)$$

onde:

P_{in} - pressão de entrada ou pressão inicial

P_{atm} - pressão atmosférica

$$Ro_{in} = \frac{P_{inabs}}{287 * (T_{in} + 273,15)} \quad (5)$$

onde:

Ro_{in} - densidade do ar antes do orifício calibrado, na entrada

$$\dot{m}_{sup} = \dot{m} + 60 * Cd_{matlab} * \left(\frac{d_{sup}}{1000}\right)^2 * \frac{\pi}{4} * \sqrt{\frac{2 * (P_{inabs} - P_{outabs})}{Ro_{in} * \left(1 - \frac{d_{sup}^4}{D_{sist}^4}\right)}} \quad (6)$$

onde:

\dot{m}_{sup} - caudal mássico referente ao limite superior

d_{sup} - diâmetro do orifício +25µm

A fórmula seguinte apresenta o caudal do caudal limite superior.

$$Q_{sup} = \dot{m}_{sup} * \frac{1000}{1.225} \quad (7)$$

onde:

Q_{sup} - caudal máximo do limite superior

Esta fórmula que se apresenta de seguida, mostra o diferencial existente entre o caudal limite superior e o caudal volúmico com os dados de calibração de fábrica.

$$\Delta Q_{sup} = Q_{sup} - MFMcf \quad (8)$$

A fórmula seguinte apresenta o diferencial de caudal em percentagem.

$$\%Q_{sup} = \frac{\Delta Q_{sup}}{MFMcf} * 100 \quad (9)$$

onde:

$\%Q_{sup}$ - percentagem do diferencial de caudal superior

As fórmulas apresentadas a cima são referentes aos ensaios feitos experimentalmente para verificar o limite superior de caudal, tanto para o orifício de \emptyset 0.66 mm como para o de \emptyset 0.813 mm. As fórmulas seguintes apresentam os dados de verificação do limite inferior de caudal para os orifícios.

$$\dot{m}_{inf} = \dot{m} - 60 * Cd_{matlab} * \left(\frac{d_{inf}}{1000}\right)^2 * \frac{\pi}{4} * \sqrt{\frac{2*(P_{inabs}-P_{outabs})}{(Ro_{in}*(1-\frac{d_{inf}^4}{D_{sist}^4}))}} \quad (10)$$

onde:

\dot{m}_{inf} - caudal mássico referente ao limite inferior

d_{inf} - diâmetro do orifício -25 μ m

D_{sist} - diâmetro nominal das tubagens e das ferramentas (sistema montado)

A fórmula seguinte apresenta o caudal do caudal limite superior.

$$Q_{inf} = \dot{m}_{inf} * \frac{1000}{1.225} \quad (11)$$

onde:

Q_{inf} - caudal máximo do limite inferior

Esta fórmula que se apresenta de seguida, mostra o diferencial existente entre o caudal volúmico com os dados de calibração de fábrica e o caudal limite inferior.

$$\Delta Q_{inf} = Q_{inf} - MFMcf \quad (12)$$

A fórmula seguinte apresenta o diferencial de caudal em percentagem.

$$\%Q_{inf} = \frac{\Delta Q_{inf}}{MFMcf} * 100 \quad (13)$$

onde:

$\%Q_{inf}$ - percentagem do diferencial de caudal inferior

Com todos os cálculos mencionados, e com a construção da tabela, consegue-se analisar que a calibração dos orifícios através deste processo é possível. Verifica-se que o sistema consegue enviar *outputs* que comprovam a calibração. Com esta confirmação, vai-se simplificar o problema apresentando os dados das tabelas 4.6 e 4.7, construindo uma solução gráfica que traduza fielmente o raciocínio que se vem a seguir.

4.6. Solução Gráfica de Calibração de Orifícios

Os dados das tabelas 4.6 e 4.7 são apresentados graficamente na figura 4.13.

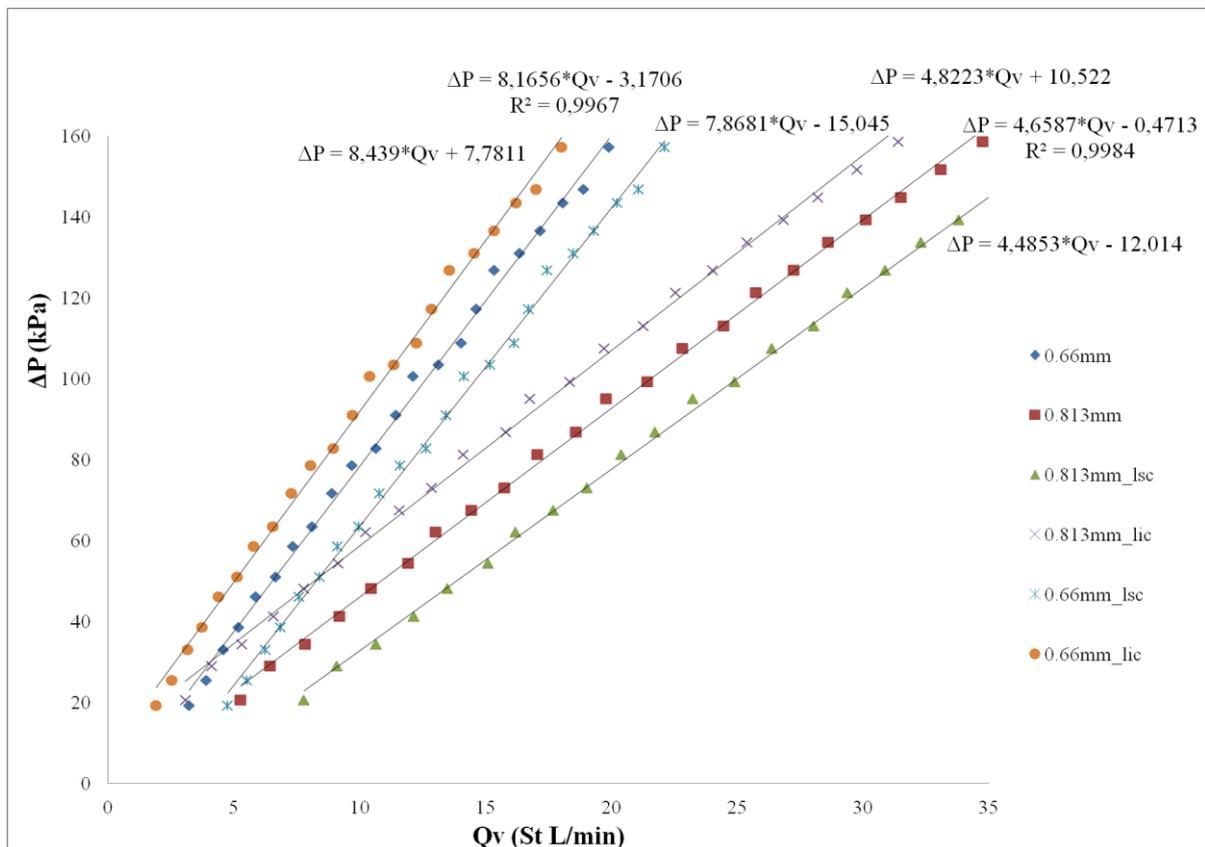


Figura 4.13 - Limites de calibração para orifícios de Ø 0.66 mm e Ø 0.813 mm

Os diversos pontos apresentados na figura 4.14 são referentes aos dados de caudal volúmico no eixo das abcissas e ao diferencial de pressão no eixo das ordenadas. Neste gráfico pode-se diferenciar os cálculos experimentais e os valores teóricos. Os pontos referentes ao orifício $\varnothing 0.66$ mm e ao orifício de $\varnothing 0.813$ mm são os valores experimentais, porém o resto dos dados presentes no gráfico da figura 4.14 são apresentados com base nas tabelas 4.6 e 4.7. Esses cálculos representam os valores de caudal limite superior e de caudal limite inferior para cada orifício. No lado direito do gráfico da figura apresentam-se as séries de dados referentes aos orifícios calibrados e aos seus limites máximos de conformidade. As fórmulas exibidas na figura retratam equações lineares dos pontos que se apresentam nas tabelas 4.6 e 4.7, sendo que as linhas de tendência linear, como têm uma correlação próximo de um, demonstram que esta simplificação do problema é o caminho a seguir. Ao utilizar uma linha de tendência linear acaba-se por poder extrair infinitos pontos de detecção de falha de calibração, enquanto que com os dados da tabela, só se tem acesso aos pontos calculados experimentalmente, sendo assim mais complicado a verificação da calibração dos orifícios. As retas apresentadas na figura 4.14 têm como finalidade a simplificação do problema. As equações das retas serão de seguida apresentadas.

$$\Delta P = 8.439 * Qv_{lic} + 7.7811 \Leftrightarrow Qv_{lic} = \frac{\Delta P - 7.7811}{8.439} \quad (14)$$

onde:

Qv_{lsc} - caudal volúmico limite superior de controlo do orifício através da equação linear do gráfico (+ 25 μ m)

Qv_{lic} - caudal volúmico limite inferior de controlo do orifício através da equação linear do gráfico (- 25 μ m)

Qv_{eq} - caudal volúmico do orifício através da equação linear do gráfico

ΔP - diferencial de pressão

$$\Delta P = 8.1656 * Qv_{eq} - 3.1706 \Leftrightarrow Qv_{eq} = \frac{\Delta P + 3.1706}{8.1656} \quad (15)$$

$$\Delta P = 7.8681 * Qv_{lsc} - 15.045 \Leftrightarrow Qv_{lsc} = \frac{\Delta P + 15.045}{7.8681} \quad (16)$$

$$\Delta P = 4.8223 * Qv_{lic} + 10.522 \Leftrightarrow Qv_{lic} = \frac{\Delta P - 10.522}{4.8223} \quad (17)$$

$$\Delta P = 4.6587 * Qv_{eq} - 0.4713 \Leftrightarrow Qv_{eq} = \frac{\Delta P + 0.4713}{4.6587} \quad (18)$$

$$\Delta P = 4.4853 * Qv_{lsc} - 12.014 \Leftrightarrow Qv_{lsc} = \frac{\Delta P + 12.014}{4.4853} \quad (19)$$

As tabelas seguintes, ilustram o ensaio do *flow meter* 1, em que a tabela 4.8 apresenta os dados com o orifício de \varnothing 0.66 mm e a tabela 4.9 apresenta os dados com o orifício de \varnothing 0.813 mm. A gama de valores de pressão de entrada começa então nos 120psi, terminando nos 15psi. A menor variação detetável pelo *flow meter* 1 é apresentada através das fórmulas (20) e (21) para o orifício de \varnothing 0.66 mm e as fórmulas (22) e (23) para o orifício \varnothing 0.813 mm.

Tabela 4.8 - Cálculo de caudais para o orifício de \varnothing 0.66 mm

Pin (psi)	ΔP (kPa)	Qv_{eq} (lpm)	$Qv_{+2\mu m}$ (lpm)	$Qv_{-2\mu m}$ (lpm)	Qv_{lsc} (lpm)	Qv_{lic} (lpm)
120	157,2	19,6	19,8	19,5	21,89	17,71
114	146,9	18,4	18,5	18,2	20,58	16,48
110	143,4	18,0	18,1	17,8	20,14	16,07
105	136,5	17,1	17,3	17,0	19,26	15,25
100	131,0	16,4	16,6	16,3	18,56	14,60
95	126,9	15,9	16,1	15,8	18,04	14,11
90	117,2	14,7	14,9	14,6	16,81	12,97
85	108,9	13,7	13,9	13,6	15,76	11,99
80	103,4	13,1	13,2	12,9	15,06	11,33
75	100,7	12,7	12,9	12,6	14,71	11,01
70	91,0	11,5	11,7	11,4	13,48	9,86
65	82,7	10,5	10,7	10,4	12,43	8,88
60	78,6	10,0	10,2	9,9	11,90	8,39
55	71,7	9,2	9,3	9,0	11,03	7,57
50	63,4	8,2	8,3	8,0	9,97	6,59
45	58,6	7,6	7,7	7,4	9,36	6,02
40	51,0	6,6	6,8	6,5	8,40	5,12
35	46,2	6,0	6,2	5,9	7,78	4,55
30	38,6	5,1	5,3	5,0	6,82	3,65
25	33,1	4,4	4,6	4,3	6,12	3,00
20	25,5	3,5	3,6	3,4	5,15	2,10
15	19,3	2,8	2,9	2,6	4,37	1,37

As equações (20) e (21) são referentes ao orifício \varnothing 0.66 mm e à tabela 4.8:

$$Qv_{+2\mu m} = (Qv_{lsc} - Qv_{eq}) * (0.662 - 0.66)/(0.685 - 0.66) + Qv_{eq} \quad (20)$$

$$Qv_{-2\mu m} = -((Qv_{eq} - Qv_{lic})/(0.66 - 0.635) * (0.66 - 0.658) - Qv_{eq}) \quad (21)$$

onde:

$Qv_{+2\mu m}$ - caudal volúmico mínimo detetável pelo *flow meter*, \emptyset orifício + 2 μm

$Qv_{-2\mu m}$ - caudal volúmico mínimo detetável pelo *flow meter*, \emptyset orifício - 2 μm

Tabela 4.9 - Cálculo de caudais para o orifício de \emptyset 0.813 mm

Pin (psi)	ΔP (kPa)	Qv_{eq} (lpm)	$Qv_{+2\mu m}$ (lpm)	$Qv_{-2\mu m}$ (lpm)	Qv_{lsc} (lpm)	Qv_{lic} (lpm)
120	158,6	34,1	34,5	33,9	38,03	30,70
115	151,7	32,7	33,0	32,4	36,50	29,27
110	144,8	31,2	31,5	30,9	34,96	27,84
105	139,3	30,0	30,3	29,7	33,73	26,70
100	133,8	28,8	29,1	28,6	32,50	25,56
95	126,9	27,3	27,6	27,1	30,96	24,13
90	121,3	26,1	26,4	25,9	29,73	22,98
85	113,1	24,4	24,7	24,1	27,89	21,27
80	107,6	23,2	23,5	22,9	26,66	20,12
75	99,3	21,4	21,7	21,2	24,81	18,41
70	95,1	20,5	20,8	20,3	23,89	17,55
65	86,9	18,7	19,0	18,5	22,05	15,83
60	81,4	17,6	17,8	17,3	20,82	14,69
55	73,1	15,8	16,0	15,6	18,97	12,97
50	67,6	14,6	14,9	14,4	17,74	11,83
45	62,1	13,4	13,7	13,2	16,51	10,69
40	54,5	11,8	12,0	11,6	14,82	9,11
35	48,3	10,5	10,7	10,3	13,44	7,83
30	41,4	9,0	9,2	8,8	11,90	6,40
25	34,5	7,5	7,7	7,3	10,36	4,97
20	29,0	6,3	6,5	6,1	9,13	3,82
15	20,7	4,5	4,8	4,3	7,29	2,11

Estas formulas são referentes ao orifício \emptyset 0.813mm e á tabela 4.9:

$$Qv_{+2\mu m} = (Qv_{lsc} - Qv_{eq}) * (0.815 - 0.813)/(0.838 - 0.813) + Qv_{eq} \quad (22)$$

$$Qv_{-2\mu m} = -((Qv_{eq} - Qv_{lic})/(0.813 - 0.788) * (0.813 - 0.811) - Qv_{eq}) \quad (23)$$

As tabelas 4.8 e 4.9 mostram que a precisão do sistema vai além do pretendido, acabando por evidenciar que o sistema montado no banco de ensaio irá responder à verificação de calibração dos orifícios. Tendo em conta que a precisão do caudal do *flow meter* 1 é de 0.1 lpm, relaciona-se o caudal volúmico com o diâmetro dos orifícios e verifica-se a que corresponde essa variação em micrómetros.

Contudo, como se pode analisar nas tabelas 4.8 e 4.9, acaba-se por superar o pressuposto inicial, em que a pressão de entrada deixa de estar limitada pelas condições referidas nos ensaios de manutenção do manual da válvula. O sistema instalado no banco de ensaio é calibrado com uma pressão de entrada inicial de 120 psi, sendo a pressão de saída aproximadamente 80 % a 85 %. Nesta fase de ensaios, detetou-se que a pressão de entrada não poderia ser superior a 120 psi devido à instrumentação presente no banco de ensaio. O medidor de pressão digital tinha uma limitação que era o diferencial de pressão máximo que suportava, e o *flow meter* 1 encontrava-se perto do seu valor máximo para pressões de entrada na ordem dos 120 psi.

Os ensaios provam que a precisão máxima que se consegue atingir com o sistema é equivalente a uma variação de 2 μm no diâmetro. Esta precisão foi calculada, considerando os dados dos ensaios anteriores e admitindo o erro de calibração do *flow meter*, a pressão atmosférica, a temperatura ambiente e a temperatura de escoamento.

4.7. Reprodutibilidade dos Ensaios de Calibração de Orifícios

Na tabela 4.8 e na tabela 4.9 ilustra-se os resultados do orifício de \varnothing 0.66 mm e do orifício de \varnothing 0.813 mm respetivamente. Refere-se nessas tabelas a precisão do sistema e apresenta-se os limites para conformidade dos orifícios. Nas tabelas 4.10 e 4.11, aproxima-se o limite de conformidade dos orifícios num raciocínio orientado para os técnicos de manutenção.

Comparando as tabelas 4.8 e 4.9 com as tabelas 4.10 e 4.11, verifica-se que há disparidade nos valores apresentados de caudal entre as tabelas. Nas tabelas 4.8 e 4.9 os valores apresentados têm como base os dados experimentais, calculando-se todos os dados sem ter em conta o futuro utilizador do sistema. Todavia, nas tabelas 4.10 e 4.11 esses limites têm que ser afinados de acordo com os dados indicados no monitor do *flow meter*. Tendo em conta que o monitor do *flow meter* tem uma precisão de 0.1 lpm de caudal volúmico, arredonda-se os dados das tabelas 4.10 e 4.11 à escala decimal. O arredondamento efetuado não foi só ao nível da precisão do *flow meter*, fez-se também um arredondamento para baixo no caso do caudal limite superior de controlo e um arredondamento para cima no caso do caudal limite inferior de

controle. Estes arredondamentos apresentam-se nas tabelas seguintes e são os dados de ensaio pelos quais os técnicos de manutenção se têm que reger.

Tabela 4.11 - Valores limite esperados pelos técnicos para orifício de \varnothing 0.66 mm

P _{in} (psi)	ΔP (kPa)	Q _{v_lsc} (lpm)	Q _{v_lic} (lpm)	Q _{v_eq} (lpm)
120	157,2	21,7	17,8	19,7
114	146,9	20,4	16,5	18,4
110	143,4	20,0	16,1	18,0
105	136,5	19,1	15,3	17,2
100	131,0	18,4	14,7	16,5
95	126,9	17,9	14,2	16,0
90	117,2	16,7	13,0	14,8

Tabela 4.10 - Valores limite esperados pelos técnicos com orifício de \varnothing 0.813 mm

P _{in} (psi)	ΔP (kPa)	Q _{v_lsc} (lpm)	Q _{v_lic} (lpm)	Q _{v_eq} (lpm)
120	158,6	37,9	30,8	34,2
115	151,7	36,3	29,3	32,7
110	144,8	34,8	27,9	31,2
105	139,3	33,6	26,7	30,0
100	133,8	32,4	25,6	28,9
95	126,9	30,8	24,2	27,4
90	121,3	29,6	23,0	26,2

Observando as tabelas 4.6 e 4.7, analisa-se que o *flow meter* tem uma zona ótima de trabalho face a toda a sua gama de funcionamento. O sistema, tem uma maior precisão na gama de valores de 35 lpm a 20 lpm de caudal volúmico para o orifício de \varnothing 0.813 mm e na gama de valores de 20 lpm a 12 lpm de caudal volúmico para o orifício de \varnothing 0.66 mm. As pressões de entrada que admitem uma precisão de caudal volúmico próxima dos 10% estão na gama de valores entre os 120 psi e os 90 psi, tanto para o orifício de \varnothing 0.66 mm como para o orifício de \varnothing 0.813 mm. Esta precisão de 10% é realçada na tabela 4.6 e 4.7. E os dados apresentados nas tabelas referem-se ao intervalo de pressão em que o *flow meter* tem uma resposta com menor erro.

O método utilizado para se verificar a reprodutibilidade da calibração do orifício, baseia-se na utilização do mesmo banco de ensaio com as ferramentas montadas do mesmo modo. Sabendo que a pressão de entrada é de 120 psi, estabiliza-se a pressão à saída com 97,2 psi no caso do orifício calibrado de \varnothing 0.66mm, e para o orifício calibrado de \varnothing 0.813mm utiliza-se uma pressão à saída de 97 psi. Depois de se estabilizar o caudal volúmico e do sistema estar calibrado, escolher pelo menos três pontos de pressão de entrada, entre os 120 psi e os 90 psi, como forma de calibração dos orifícios.

Os resultados apresentados nas tabelas 4.10 e 4.11 têm em conta diversas aproximações tomadas, por forma a simplificar o processo de verificação de calibração pelos técnicos. Logo, se os orifícios permanecerem com os seus parâmetros entre o Q_{v_lsc} e o Q_{v_lic},

então os orifícios estão calibrados e aptos para serem utilizados na manutenção das válvulas pneumáticas.

A forma de raciocínio para solucionar o problema, foi sempre ter em conta a abrangência dos resultados, melhorando-os. Após o ensaio experimental, calculou-se teoricamente os resultados referentes aos limites de conformidade. Posteriormente, apresentou-se graficamente esses valores teóricos, criando-se funções lineares com uma correlação linear próxima de um. Nesta fase o intervalo de conformidade tinha sido ajustado e já era inferior. Com o ajuste feito graficamente através das funções lineares, fez-se por fim o arredondamento dos dados, dados que iriam ser comparados com os apresentados no monitor do *flow meter*.

Os técnicos de manutenção podem realizar a calibração de orifícios com sucesso utilizando para consulta as tabelas 4.10 e 4.11, desde que estas se encontrem inseridas numa NTE.

5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho procurou responder aos objetivos propostos no estágio curricular na OGMA Indústria Aeronáutica de Portugal S.A. permitindo adquirir conhecimentos práticos e teóricos na área de manutenção aeronáutica, a estrutura dos manuais e de uma empresa do ramo.

O contacto com a realidade do trabalho e a resolução dos problemas do dia a dia, nos diversos campos de intervenção da manutenção e gestão durante o estágio e a confirmação da importância das relações interpessoais no meio fabril, tornaram este estágio uma experiência única. O trabalho realizado durante o período de estágio revelou-se importante, na medida em que constitui um passo na concretização de um plano de desenvolvimento mais abrangente idealizado pela empresa.

Ao longo do decorrer do estágio, houve outros projetos a aparecer e a necessitarem de apoio, o que levou a uma melhor compreensão e abrangência do trabalho efetuado.

O objetivo do estágio foi alcançado com sucesso, pois confirmou-se uma metodologia de ensaio em que a reprodutibilidade é verificada. A manutenção das ferramentas (orifícios calibrados), podem por isso ser feitas, verificando a sua calibração.

Esta parceria permitiu ainda o desenvolvimento de dois trabalhos apresentados em conferências. Foi publicado e apresentado um artigo na conferência "CNME2014 – 9º CONGRESSO NACIONAL DE MECÂNICA EXPERIMENTAL" e encontra-se em elaboração o artigo final, cujo resumo já foi aceite, para a conferência "*6th International Conference on MECHANICS AND MATERIALS IN DESIGN* (Ponta Delgada/Açores, 26-30 July 2015)".

Segundo o projeto proposto, iria-se proceder a novos ensaios no banco de ensaios de altos caudais presentes na OGMA, no entanto, não houve possibilidade de os realizar. Os ensaios seriam realizados com condutas de maior diâmetro e com muito maior disponibilidade energética. Parte dos ensaios seriam realizados a altas temperaturas e não à temperatura ambiente.

A indústria aeronáutica caminha para sistemas pneumáticos de maior caudal e pressão, bem como de temperatura. Na atualidade já se verifica uma distinção entre as aeronaves de grande curso e as restantes. As dimensões dos sistemas pneumáticos presentes e suas componentes são de maior dimensão, aguentando igualmente maiores exigências.

O trabalho futuro passaria por analisar-se as limitações do banco de ensaio, apresentado na figura 5.1, tanto a nível do caudal máximo como da temperatura que se consegue atingir.



Figura 5.1 - Banco de ensaios de altos caudais (HATS)

No banco de ensaio de altos caudais temos três módulos, dos quais os módulos I e II são baseados num banco de ensaios da Bauer© projetados previamente pelas especificações OGMA para a análise de *gas turbine valves*. Grandes alterações foram feitas desde o projeto inicial, incluindo uma ligação externa de energia, diâmetros nominais de 6 in e reservatórios de 30 m³; pressões nominais de 10 bar, com a capacidade de estabilizar ar seco com caudais de baixo fluxo até fluxos de 75 kg/min; (~165 Lb/min). A potência atual de aquecimento é de 46 kW permitindo assim ensaios desde caudais à temperatura ambiente até aos 200°C (392 °F limitados simplesmente pela temperatura máxima permitida para o *flow meter*). O módulo III foi construído essencialmente devido a questões de segurança física e devido à necessidade de isolamento do ruído, onde uma gama completa de diâmetros nominais se encontram disponíveis a partir de 1 in até 14 in.

O sistema de aquecimento presente no banco pode atingir 1500 °F a nível teórico (com o caudal de ar fechado) e a temperatura máxima de controle deve ser ajustada por questões de segurança, não sendo permitidas temperaturas de trabalho superiores a 400 °F.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] OGMA, 2014, disponível em <http://www.ogma.pt/index.php?page=home> (acedido a 09/2014)
- [2] OGMA, 2011, OGMA-Manual da Marca, Alverca.
- [3] OGMA, 2014, Bem-vinda à OGMA, Alverca.
- [4] Farinha, J. M. T., 2011, Manutenção - A Terologia e as Novas Ferramentas de Gestão. Monitor- Projectos e Edições, Lda.
- [5] Trabachini, A. & Ell, S. M., 2003, “A manutenção centrada na confiabilidade-uma prática contemporânea,”.
- [6] Dhillon, B. S., 2002, Engineering Maintenance, 1st ed. CRC Press.
- [7] Mobley, R. K., 2002, An Introduction to Predictive Maintenance, 2nd ed. Elsevier Science.
- [8] Pinto, V. M., 1994, Gestão da Manutenção, Editora ELO – Publicidade, Artes Gráficas, LDA
- [9] Park, K. S. & Han, S. W., 2001, TPM – Total Productive Maintenance: Impact on competitiveness and a framework for successful implementation. Human Factors and Ergonomics in Manufacturing, Vol. 11, N. 4, pp. 321-338.
- [10] Al-Shayea, A., 2007, “Maintenance Definition.” King Saud University.
- [11] Cabral, J. S., 1998, Organização e Gestão da Manutenção dos Conceitos à Prática, 3a Edição. LIDEL. 64
- [12] Palmer, R. D., 2006, Maintenance Planning and Scheduling Handbook, 2nd Ed., McGraw-Hill, United States.
- [13] Mobley, R.K., 2004, Maintenance Fundamentals, 2nd Ed., Elsevier, United States.
- [14] Lima, L., Júnior, G., Mendes & P., Munhoz, J., 2012, A Satisfação do Manutentor na Área Industrial: O Caso em uma Indústria Frigorífica, Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná, Brasil.
- [15] Monchy, F., 1989, A Função Manutenção - Formação para a Gerência da Manutenção Industrial, Editora Durban Ltda.

- [16] Embraer-GE, 2002, Multimedia Based Training, GE Capital Aviation Training Ltd
- [17] Hamilton Sundstrand, 2013, A united technologies company, Component maintenance manual with illustrated parts list, High Stage Bleed Valve PN 1001246-1, 1001246-2, 1001246-3, rev16.
- [18] Hamilton Sundstrand, 2013, A united technologies company, Component maintenance manual with illustrated parts list, Bleed Valve PN 1013652-1, rev2.
- [19] ARINC, 2013, guidance for tool and test equipment (TTE) equivalency, Aeronautical radio inc., ARINC report 668-1.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

Ablanedo-Rosas, J. H., Alidaee, B., Moreno, J. C. & Urbina, J., 2012, Quality improvement supported by the 5S, an empirical case study of Mexican organizations. *International Journal of Production*, Volume 48:23, p. 7063–7087.

Ahuja, I. P. S. & Khamba, J. S., 2008, Total Productive Maintenance: Literature review and directions. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 25, N. 7, pp. 709-756.

APMI, 2011, “Manutenção,” *11o Congresso Nacional de Manutenção*.

ARINC, 2013, Guidance for tool and test equipment (TTE) equivalency, ARINC REPORT 668-1.

ATA, 2007, Information standards for aviation maintenance, *iSpec 2200*.

Bao, M. & Ding, S., 2014, Individual-related factors and management-related factors in aviation maintenance, *3rd International Symposium on Aircraft Airworthiness*, ISAA 2013.

Bar–Meir, G., 2007, *Fundamentals of Compressible Fluid Mechanics*

Behrouzi, F., 2010, Lean performance evaluation of manufacturing systems: A dynamic and innovative approach, Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia.

Berquó, J., 2012, Aprovação TSO e PMA, Certificador de Produto Aeroespacial (DCTA/IFI), Brasil. 67

Borris, S., 2006, *Total productive maintenance*, McGraw-Hill, United States

Campos, D., Navas, H., Morgado, T., 2015, Pneumatics tests of aircraft components, Recent advances in mechanics and materials in design, Ponta Delgada, Açores.

Carello, M., 2012, Flow rate test bench: Automated and compliant to iso standards, Center for space human robotics, Torino, Italy.

Carvalho, C., 2013, Lean learning academy: an innovative framework for lean manufacturing training, 1st international conference of the portuguese society for engineering education (CISPÉE), Porto, Portugal.

Dai, J. & Wang, H., 2014, Evolution of aircraft maintenance and logistics based on prognostic and health management technology, *Proceeding of the first symposium on aviation maintenance and management*, Vol. 297.

De Florio, F., 2011, *Airworthiness: an introduction to aircraft certification*, Elsevier, 2ª Ed.

Demeter, K. & Matyusz, Z., 2011, The impact of lean practices on inventory turnover. *International Journal of Production Economics*, Volume 133, p. 154–163.

Demirtas, O., 2013, Evaluating the core capabilities for strategic outsourcing decisions at aviation maintenance industry, *9th International Strategic Management Conference*.

Dhillon, B.S., 2009, Human reliability, error, and human factors in engineering maintenance: with reference to aviation and power generation, CRC Press.

Didelet, F., 2003, Fiabilidade - Instituto Politécnico de Setúbal - Escola superior de tecnologia de setúbal, Setúbal. 66

Didelet, F., 2003, Manutenção - Instituto Politécnico de Setúbal - Escola superior de tecnologia de setúbal, Setúbal.

Dwyer Instruments INC, 2012, Calibration Certificate, Device GFM-2133, 12Dec 2012 & Calibration Certificate, Device GFM-2107

Embraer, 2011, Engine Pneumatic Bleed System, *Embraer 190/195 Aircraft Maintenance Manual*.

Embraer, 2013, Engine Pneumatic Bleed System, Aircraft maintenance manual, PN 36-11-00, Embraer 190-SDS 2823 rev8

Embraer, 2013, Nacelle pressure regulating shutoff valves, aircraft illustrated parts catalog, PN 36-11-03, Embraer 190 - AIOC 2819 rev28

European Union, 2003, Commission regulation (EC) No 2042/2003 of 20/11/2003 on the continuing airworthiness of aircraft and aeronautical products, parts and appliances, and on the approval of organisations and personnel involved in these tasks, Official journal of the European Union.

European Union, 1997, Directive 97/23/EC of the European parliament and of the council of 29/05/1997 on the approximation of the laws of the member states concerning pressure equipment (OJ L 181, 9.7.1997, p. 1).

Ghicaianu, M., 2011, Romanian Companies Dilemmas - Business Reengineering or Kaizen. *Annals of the University of Petroşani*, 11(1)(Economics), pp. 97-104.

Hamilton Sundstrand, 2013, High stage bleed valve, *Component maintenance manual with illustrated parts list*.

Hicks, B. J., 2007, Lean information management: Understanding and eliminating waste. *International Journal of Information Management*, Volume 27, p. 233–249.

Holweg, M., 2007, The genealogy of lean production. *Journal of Operations Management*, Volume 25, p. 420–437.

Honeywell, 1995, Integral orifice assembly to measure small flow rates, 34-ST-03-33, Honeywell Inc., United States.

Imp, S., 2011, Leak test process: using lean and 5S to drive manufacturing process improvements: for organizations with leak-testing operations, customer demands are best addressed through an established lean-manufacturing environment.(Test & Inspection). *Quality*, September, pp. 30-33.

IPC, 2007, C. 94 APMI, “Terminologia da Manutenção,” *Tempo*. Instituto Português da Qualidade.

ISO, 2003, ISO 5167-1, Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular-cross section conduits running full — Part 1: General principles and requirements, ISO

Jurado, P., 2013, Human resource management in Lean production adoption and implementation processes: success factors in the aeronautics industry, Elsevier Doyma.

Juran, J. M. & Godfrey, A. B., 1999, Juran’s Quality Handbook. 5th ed. s.l.:McGraw-Hill. 65

Kaizen Forum, 2008, Kaizen Institute - Suplemento do Jornal Vida Economica nº02.

Kaizen Institute, 2015, disponível em <http://pt.kaizen.com/home.html>.

Lafraia, J.R.B., 2001, Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade, Editora

Martínez, I., 2014, Aircraft environmental control, Isidoro Martínez.

Matsuo, M. & Nakahara, J., 2013, The effects of the PDCA cycle and OJT on workplace learning.

Melton, T., 2005. The Benefits of Lean Manufacturing, What Lean Thinking has to Offer to Process Industries. MIME Solutions Ltd, Chester, UK..

Meiling, J. H., Sandberg, M. & Johnsson, H., 2013, A study of a plan-do-check-act method used in less industrialized activities: two cases from industrialized housebuilding. *Construction Management and Economics*, pp. 1-17.

Mobley, R.K., 2008, Maintenance Engineering Handbook, 7th Ed., McGraw-Hill, United States

Muzzey, G., 2014, The Heat is On, disponível em Aerospacetestinginternational.com

Noels, L., 2010, Introduction to conceptual design and aviation history, University of Liege, Liège.

O’Keefe, 2003, controls CO., Choked Flow of Gases, disponível em <http://www.okcc.com>

Pasková, I., 2013, Measurement of gas discharge coefficient, RWE GasNet, Prague.

Peng, L., Zhang, L., Ji, B. & Li, W., 2014, Maintenance performance evaluation based on matter element analysis of aviation maintenance, *Proceeding of the first symposium on aviation maintenance and management*, Vol. 297.

Pickthall, N., 2014, The contribution of maintenance human factors to no fault finds on aircraft systems engineering, *3rd International Conference on Through-life Engineering Services*, CIRP 59-64.

Pinto, A. K. & Xavier, J., 2002, *Manutenção: função estratégica*, Editora Qualitymark

POEFDS, 2005, *Gestão da manutenção e disponibilidade dos equipamentos*, programa POEFDS, co-financiado pelo Estado Português e pela União Europeia.

Qualitymark.

Liesener, T., 2015, *Kaizen Factory*, disponível em <http://www.kaizen-factory.com/2013/09/11/pdca-a3-dmaic-8dpsp-what-are-the-differences/>

Quality Journal, 1995, *The PDCA Improvement Process*.

Sahay, A., 2012, *Leveraging information technology for optimal aircraft maintenance, repair and overhaul (MRO)*, Woodhead Publishing.

Santos, J., 2013, *Os métodos de melhorias PDCA e SDCA*, Universidade de Taubaté, São Paulo.

Stark, R., Grosser, H., Beckmann-Dobrev, B. & Kind, S., 2014, *Advanced technologies in life cycle engineering*, *3rd International Conference on Through-life Engineering Services*.

Sun, L., Zhang, W. & Kelly, T., 2011, *Do safety cases have a role in aircraft certification?*, *2nd International Symposium on Aircraft Airworthiness*, ISAA 2011.

Swagelok, 2015, *Valve Sizing Technical bulletin*, disponível em <http://www.swagelok.com>

Tavares, L., 1999, *Administração Moderna da Manutenção*, Novo Polo Publicações.

Terorde, M., 2014, *Weight saving in the electrical distribution systems of aircraft using innovative concepts*, *internacional journal of energy research*, 38.

The Lean and Energy Toolkit, 2012, disponível em www.epa.gov/lean, United States

Uhlmann, P.E., Bilz, M. & Baumgarten, J., 2013, *MRO - Challenge and chance for sustainable enterprises*, *2nd International Through-life Engineering Services Conference*.

USAF TO 00-25-223, 2013, *Integrated Pressure Systems and Components*, Technical Manual, Change 8.

Vieira, L., 2010, *Aplicação de Lean Manufacturing na Linha Produtiva da Fedima Tyres*, Lisboa: IST/UTL.

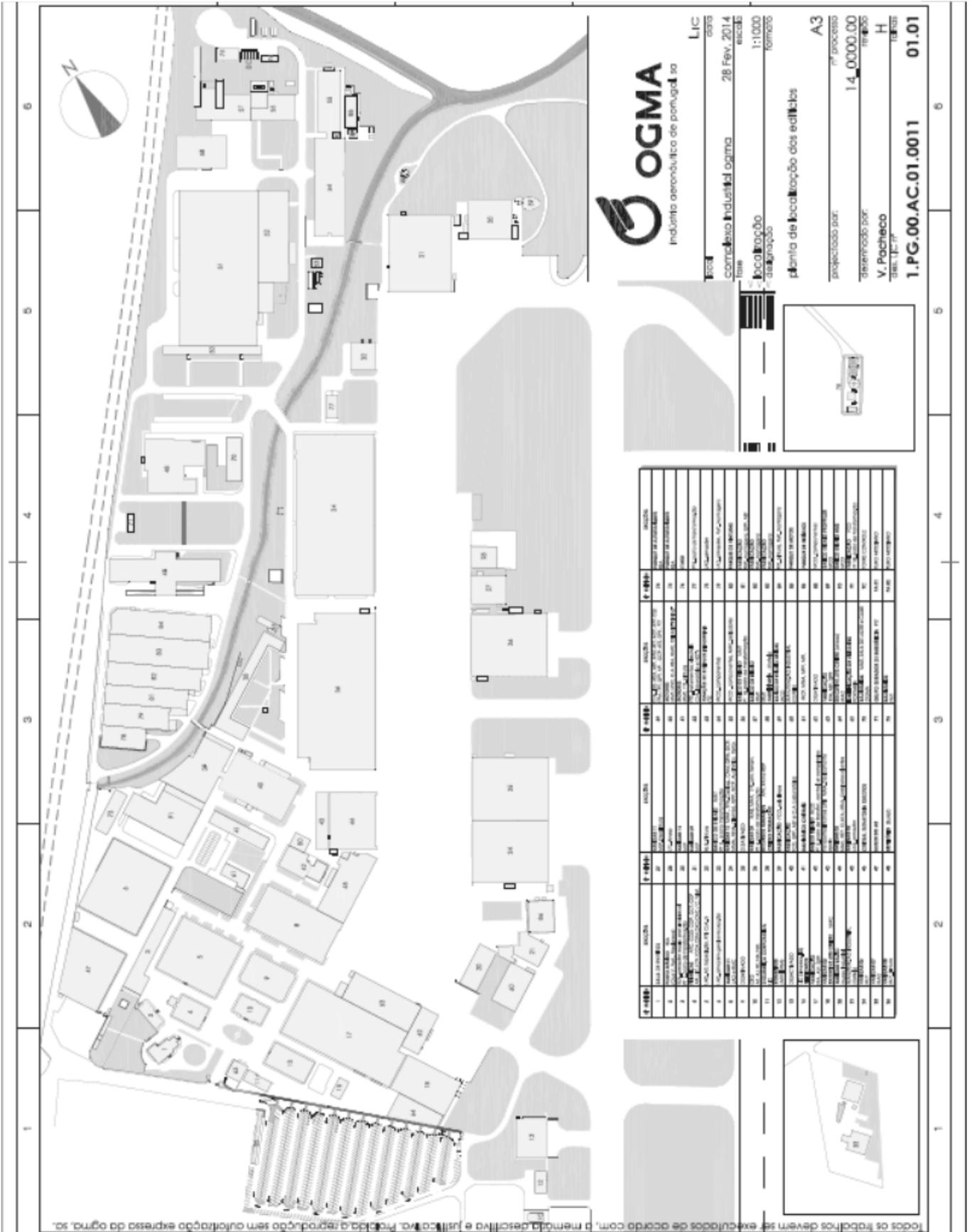
White, F. M., 1999, Mecânica de fluidos 4a edição, McGraw Hill

Wu, S. & Wee, H. M., 2009, How Lean Supply Chain Effects Product Cost and Quality . A Case Study of the Ford Motor Company. *International Conference on Service Systems and Service Management*, pp. 236 - 241.

Zilio, C., 2013, Aircraft anti-ice system: evaluation of system performance with a new time dependent mathematical model, Elsevier Journal.

ANEXOS

Anexo I - Planta da empresa OGMA



LIC
data 28 Fev. 2014
escala 1:1000
formato A3

concelho Industrial ogma
projeção por V. Pacheco
desenhado por V. Pacheco
nº processo 14.00000.00
nº de folhas 14

planta de localização dos edifícios

1.PG.00.AC.01.0011 01.01

EDIFÍCIO	ÁREA	EDIFÍCIO	ÁREA	EDIFÍCIO	ÁREA	EDIFÍCIO	ÁREA
1	1000	11	1500	21	1200	31	1800
2	1200	12	1600	22	1300	32	1900
3	1400	13	1700	23	1400	33	2000
4	1600	14	1800	24	1500	34	2100
5	1800	15	1900	25	1600	35	2200
6	2000	16	2000	26	1700	36	2300
7	2200	17	2100	27	1800	37	2400
8	2400	18	2200	28	1900	38	2500
9	2600	19	2300	29	2000	39	2600
10	2800	20	2400	30	2100	40	2700
11	3000	21	2500	31	2200	41	2800
12	3200	22	2600	32	2300	42	2900
13	3400	23	2700	33	2400	43	3000
14	3600	24	2800	34	2500	44	3100
15	3800	25	2900	35	2600	45	3200
16	4000	26	3000	36	2700	46	3300
17	4200	27	3100	37	2800	47	3400
18	4400	28	3200	38	2900	48	3500
19	4600	29	3300	39	3000	49	3600
20	4800	30	3400	40	3100	50	3700
21	5000	31	3500	41	3200	51	3800
22	5200	32	3600	42	3300	52	3900
23	5400	33	3700	43	3400	53	4000
24	5600	34	3800	44	3500	54	4100
25	5800	35	3900	45	3600	55	4200
26	6000	36	4000	46	3700	56	4300
27	6200	37	4100	47	3800	57	4400
28	6400	38	4200	48	3900	58	4500
29	6600	39	4300	49	4000	59	4600
30	6800	40	4400	50	4100	60	4700

Todos os trabalhos devem ser executados de acordo com o memorial descritivo e justificado, ficando a reprodução sem autorização expressa da ogma, sa.

CALIBRATION CERTIFICATE

Calibration No.: 121212328246-2_000.dat

Page 1 of 1 *This report shall not be reproduced except in full, without the written approval of the laboratory.*

Customer :	Calibration Date : Dec 12 2012
Customer Po : P1100814	

DEVICE UNDER TEST-DUT: New	TEST CONFIGURATION : As Left		
DUT Model : GFM-2133	Calibration Fluid : N2	21.1 C	
DUT Serial Number : 328246-2	Calibration Pressure/ Temp.: 101.3 kPa_abs		
Flow Sensor : Thermal	Correlation Factor (if applies) : N/A		
Flow Sensor Serial Number : N/A	Reference Standard :	Calibrator	Multimeter
Flow Range : 0.0 to 50.0 slm@70.0F *	Manufacturer :	DH Instruments	Fluke
Output Range : 0.000 to 5.000 V	Model Number :	molbox1+/ A700	8808a
DUT Tolerance : 1.5 %Span	Serial Number :	2143	9966031
Operating Fluid : N2	Calibration due Date :	Jan 26 2013	February 15, 2013
Operating Pressure : 14.69 psi_abs.	Tolerance :	0.2 %Rdg	0.065%Range
Operating Temperature : 70.0 F	DUT Set Point (if applies) / Test :	N/A	DIRMAN4_6
Flow Attitude : Horizontal	Notes :	None	

Calibration Lab Ambient Conditions: Pressure 14.87 psi_abs., Temperature 71.8 F, Relative Humidity does not exceed 70%.

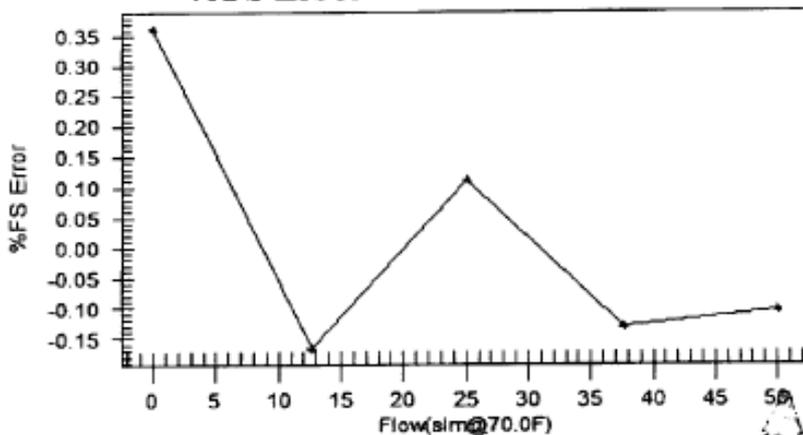
This DUT is calibrated against Manufacturing Procedures according to Quality System Manual 04-001 rev. 07, which conforms to ISO9001-2008 and ANSI/ISO17025. Calibration is performed by passing calibrated flow through the calibrated DUT. The Reference Standards used in the calibration are traceable to NIST. The collective uncertainty of Reference Standards used in this calibration does not exceed 25% of the DUT accuracy.

NOTE: Calibration results relate only to the calibrated DUT and to conditions at the time of this test. Calibration lab does not provide the specific calibration due date unless requested by the customer however it is recommended by manufacturer to re-calibrate the DUT no later than after 12 months of frequent operation.

DUT Flow*	DUT Output	Reference Flow*	Deviation	Status
0.18 slm@70.0F	0.018 V	0.000 slm@70.0F	0.36 %	Pass
12.51 slm@70.0F	1.251 V	12.593 slm@70.0F	-0.17 %	Pass
25.06 slm@70.0F	2.506 V	25.004 slm@70.0F	0.11 %	Pass
37.45 slm@70.0F	3.745 V	37.511 slm@70.0F	-0.13 %	Pass
49.98 slm@70.0F	4.998 V	50.032 slm@70.0F	-0.11 %	Pass

Minor Adjustment
Test result: Pass

%FS Error vs. Reference Flow



Technician: D.Trzop

Approved by: *[Signature]*

Cal Due Date: (SEE NOTE)

* Customer Flow Units are represented by primary SI Flow Units, which are consistent with the International System of Units - CGPM, Sevres 1960. See the NIST publication no. 811 - 1995 edition. (Typically slmL/min=ccm@70F)

Calibrated for **DWYER INSTRUMENTS INC.**
by Aalborg Instruments

Issue Date: 12 Dec 2012

CALIBRATION CERTIFICATE

Calibration No.: 121212330639-2_000.dat

Page 1 of 1 This report shall not be reproduced except in full, without the written approval of the laboratory.

Customer : Customer Po : P1102677	Calibration Date : Dec 12 2012
--------------------------------------	--------------------------------

DEVICE UNDER TEST-DUT: New DUT Model : GFM-2107 DUT Serial Number : 330639-2 Flow Sensor : Thermal Flow Sensor Serial Number : N/A Flow Range : 0.0 to 1000.0 sccm@70.0F * Output Range : 0.000 to 5.000 V DUT Tolerance : 1.5 %Span Operating Fluid : N2 Operating Pressure : 14.69 psi_abs. Operating Temperature : 70.0 F Flow Attitude : Horizontal	TEST CONFIGURATION : As Left Calibration Fluid : N2 Calibration Pressure/ Temp.: 101.3 kPa_abs 21.1 C Correlation Factor (if applies) : N/A <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;"> Reference Standard : Manufacturer : Model Number : Serial Number : Calibration due Date : Tolerance : </td> <td style="width: 33%;"> Calibrator DH Instruments molbox1+/ A700 1070 Oct 8 2013 0.2 %Rdg </td> <td style="width: 33%;"> Multimeter Fluke 8808a 1079013 25 JULY 2014 0.065%Range </td> </tr> </table> DUT Set Point (if applies) / Test : N/A DIRMAN4_4 Notes : None	Reference Standard : Manufacturer : Model Number : Serial Number : Calibration due Date : Tolerance :	Calibrator DH Instruments molbox1+/ A700 1070 Oct 8 2013 0.2 %Rdg	Multimeter Fluke 8808a 1079013 25 JULY 2014 0.065%Range
Reference Standard : Manufacturer : Model Number : Serial Number : Calibration due Date : Tolerance :	Calibrator DH Instruments molbox1+/ A700 1070 Oct 8 2013 0.2 %Rdg	Multimeter Fluke 8808a 1079013 25 JULY 2014 0.065%Range		

Calibration Lab Ambient Conditions: Pressure 14.88 psi_abs., Temperature 70.0 F, Relative Humidity does not exceed 70%.

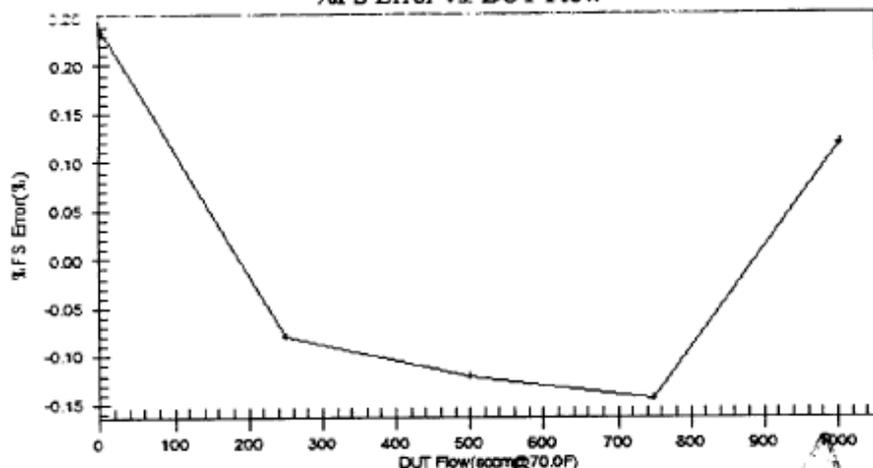
This DUT is calibrated against Manufacturing Procedures according to Quality System Manual 04-001 rev. 07, which conforms to ISO9001-2008 and ANSI/ISO17025. Calibration is performed by passing calibrated flow through the calibrated DUT. The Reference Standards used in the calibration are traceable to NIST. The collective uncertainty of Reference Standards used in this calibration does not exceed 25% of the DUT accuracy.

NOTE: Calibration results relate only to the calibrated DUT and to conditions at the time of this test. Calibration lab does not provide the specific calibration due date unless requested by the customer however it is recommended by manufacturer to re-calibrate the DUT no later than after 12 months of frequent operation.

DUT Flow*	DUT Output	Reference Flow*	Deviation	Status
2.4 sccm@70.0F	0.012 V	0.000 sccm@70.0F	0.24 %	Pass
250.9 sccm@70.0F	1.254 V	251.675 sccm@70.0F	-0.08 %	Pass
500.3 sccm@70.0F	2.502 V	501.553 sccm@70.0F	-0.12 %	Pass
748.6 sccm@70.0F	3.743 V	750.087 sccm@70.0F	-0.14 %	Pass
1001.7 sccm@70.0F	5.009 V	1000.534 sccm@70.0F	0.12 %	Pass

Minor Adjustment
Test result: Pass

%FS Error vs. DUT Flow



Technician: D.Trzop

Approved by: 1276 Cal Due Date: (SEE NOTE).

* Customer Flow Units are represented by primary SI Flow Units, which are consistent with the International System of Units - CGPM, Sevres 1960. See the NIST publication no. 811 - 1995 edition. (Typically sml/min=ccm@70F)

CERTIFICADO N.º 01343/14 REV. 0

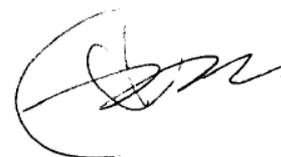
GFM-2117

PÁGINA 2

RECALIBRAÇÃO TAP 2014-02-11

RESULTADOS

Leitura no Padrão [ccm]	Leitura no Equipamento [ccm]	Temperatura [°C]	Pressão [bar a]	k	Incerteza [±ccm]
201,4	202	18,91	1,02	2,04	1,7
406,9	407	18,99	1,02	2,05	3,2
604,0	606	19,02	1,03	2,05	4,7
798,5	803	18,97	1,03	2,05	6,2
994,8	1 000	18,97	1,04	2,05	7,7



EFK 2133

CERTIFICADO N.º 06520/14 REV. 0

PÁGINA 2

Recalibração TAP

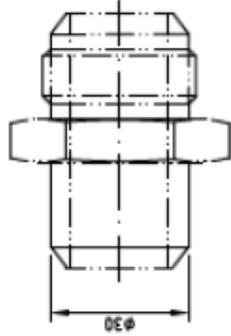
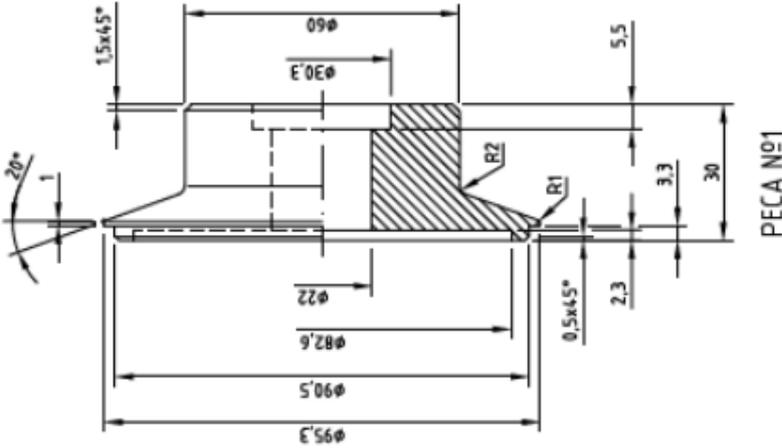
2014-05-20

RESULTADOS

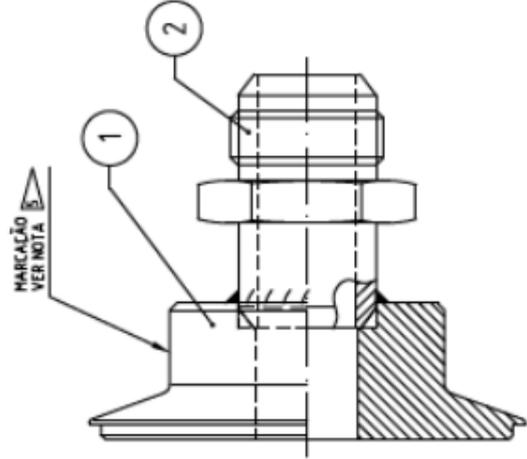
Leitura no Padrão [lpm]	Leitura no Equipamento [lpm]	Temperatura [°F]	Pressão [psia]	k	Incerteza [±lpm]
5,990	7,0	69,96	14,97	2,01	0,074
12,92	11,9	71,39	14,84	2,03	0,12
19,77	18,7	71,45	14,85	2,04	0,17
23,97	23,1	71,38	14,88	2,04	0,20
31,10	30,6	71,29	14,89	2,05	0,25
36,37	36,3	71,30	14,92	2,05	0,29
42,12	42,4	71,25	14,93	2,05	0,33
48,00	48,5	71,31	14,97	2,05	0,38

Anexo VI - Desenho 2D das flanges

REVISÕES		REVISIONS	
ÁREA	DESCRIÇÃO DA PEÇA	APROVADO POR	APPROVED BY
REVIZOR	REVISÃO	DATA	DATE
-	-	-	-

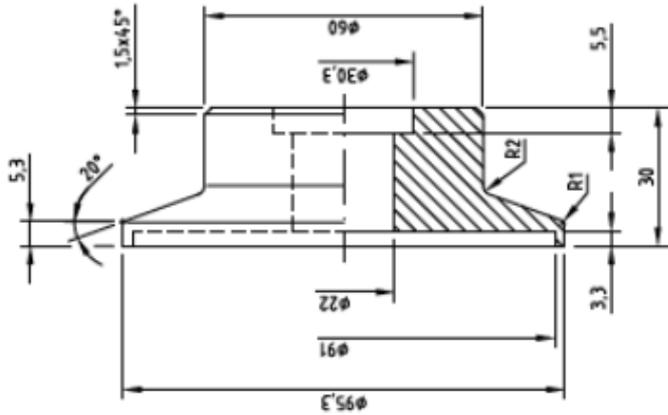


PEÇA Nº2

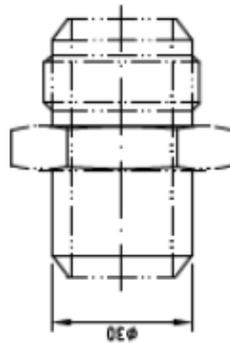


IDENTIFICAÇÃO DAS PEÇAS/PARTS IDENTIFICATION	IDENTIFICAÇÃO DA PEÇA COM NÚMERO DA PEÇA, NOME, MARCA OU SÍMBOLO DO FABRICANTE
IDENTIFY PART WITH	PART NUMBER, MANUFACTURER NAME, TRADEMARK OR SYMBOL
Nº DE IDENTIFICAÇÃO/IDENTIFICATION NUMBER	VIBROGRAVADOR
PROTEÇÃO ANT. PROTECTION	OXIDAÇÃO QUÍMICA CLASSE 1 SEG. MIL-C-19924
PROCESSO DE ACABAMENTO/FINISHING PROCESS	SOLDADURA TIPO "SER"
ACABAMENTO DE SUPERFÍCIE SURFACE FINISH	32/
TOLERÂNCIAS DIMENSIONAIS DIMENSIONAL TOLERANCES	ISO 2768-M
NOTA NOTE	DESCRIÇÃO/DESCRIPTION

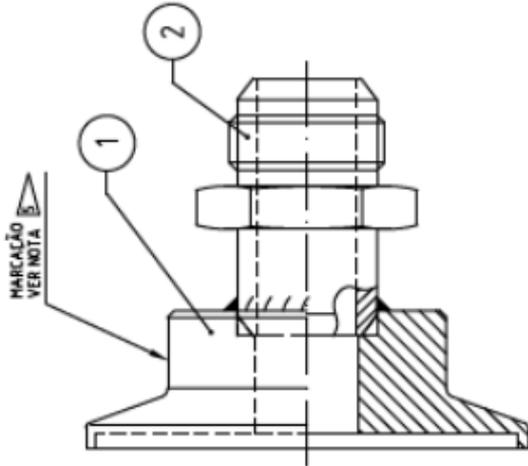
CONJUNTO/MAIN ASSEMBLY	SUBCONJUNTO/NEET ASSEMBLY	SUBSTITUIÇÃO/REPLACES	SUBSTITUIÇÃO/REPLACED BY
<p>Este documento é propriedade da OGMA, S.A. não poderá ser reproduzido, utilizado, publicado ou divulgado e terceiros não poderão exercê-lo sem a autorização escrita da OGMA, S.A. and may not be reproduced, used, published or disseminated to third parties without previous written authorization.</p>			
<p>OGMA</p>		ESCALA SCALE	1:1
<p>FLANGE PARA ENSAIO DA "HIGH STAGE BLEED VALVE" P/N 1001246-3 DO ERJ 170/190</p>		MÉTODO DE PROJEÇÃO PROJECTION	1º ANGL
<p>DWG-2C.03-M172.13-00.00-014</p>		ÁREA/AREA	-
		REVISÃO/REVISION	1/1



PEÇA Nº1



PEÇA Nº2



DESIGNAÇÕES			
ÍNDICE	DESIGNADO/ELABORADO BY	VERIFICADO/REVISADO BY	APPROVED/APPROVED BY
INDEX	DESIGNED/DRAWN BY	CHECKED/REVIEWED BY	APPROVED/APPORVED BY
-	MARKET BARROGARRIA	IRÉ SILVA	IRÉ HARGIES

ORIGEM/ITEM ASSEMBLY	SUBCONJUNTO/INLET ASSEMBLY	SUBSTITUIÇÃO/REPLACES	SUBSTITUÍDO/PWA/REPLACED BY
<p>Este documento é propriedade da OGMA, S.A. não poderá ser reproduzido, utilizado, publicado ou fornecido a terceiros sem autorização escrita prévia. This drawing is property of OGMA, S.A. and may not be reproduced, used, published or communicated to third parties without previous written authorization.</p>			
<p>OGMA</p>		ESCALA	1:1
<p>DESIGNAÇÃO/TITLE</p>		MÉTODO DE PROJEÇÃO	1º ANGL
<p>FLANGE PARA ENSAIO DA "HIGH STAGE BLED VALVE" P/N 1001246-3 DO ERJ 170/190</p>		ÍNDICE/INDEX	-
<p>Nº DESENHO/OWANUM. NO.</p>		FOLHA/SHEET	1/1
<p>DWG-2C.03-M172.13-00.00-015</p>			

IDENTIFICAÇÃO DAS PEÇAS/PARTS IDENTIFICATION	IDENTIFICAR A PEÇA COM:
NÚMERO DA PEÇA	NOME, MARCA OU SÍMBOLO DO FABRICANTE
IDENTIFY PART WITH	IDENTIFY PART WITH
PART NUMBER	MANUFACTURER NAME, TRADEMARK OR SYMBOL
MÉTODO DE IDENTIFICAÇÃO/IDENTIFICATION METHOD	VIROGRAVADOR
PROTEÇÃO/SUPERF. PROTECTION	OXIDAÇÃO QUÍMICA, CLASSE 1 SEG. MIL-C-13924
PROZESSOR DE SOLDADURA/WELODING PROCESS	SOLDADURA TIPO "SER"
ACABAMENTO DE SUPERFÍCIE	32/
TOLERÂNCIAS GERAIS	ISO 2718-B
GENERAL TOLERANCES	
NOTA	DESCRIÇÃO/DESCRIPTION

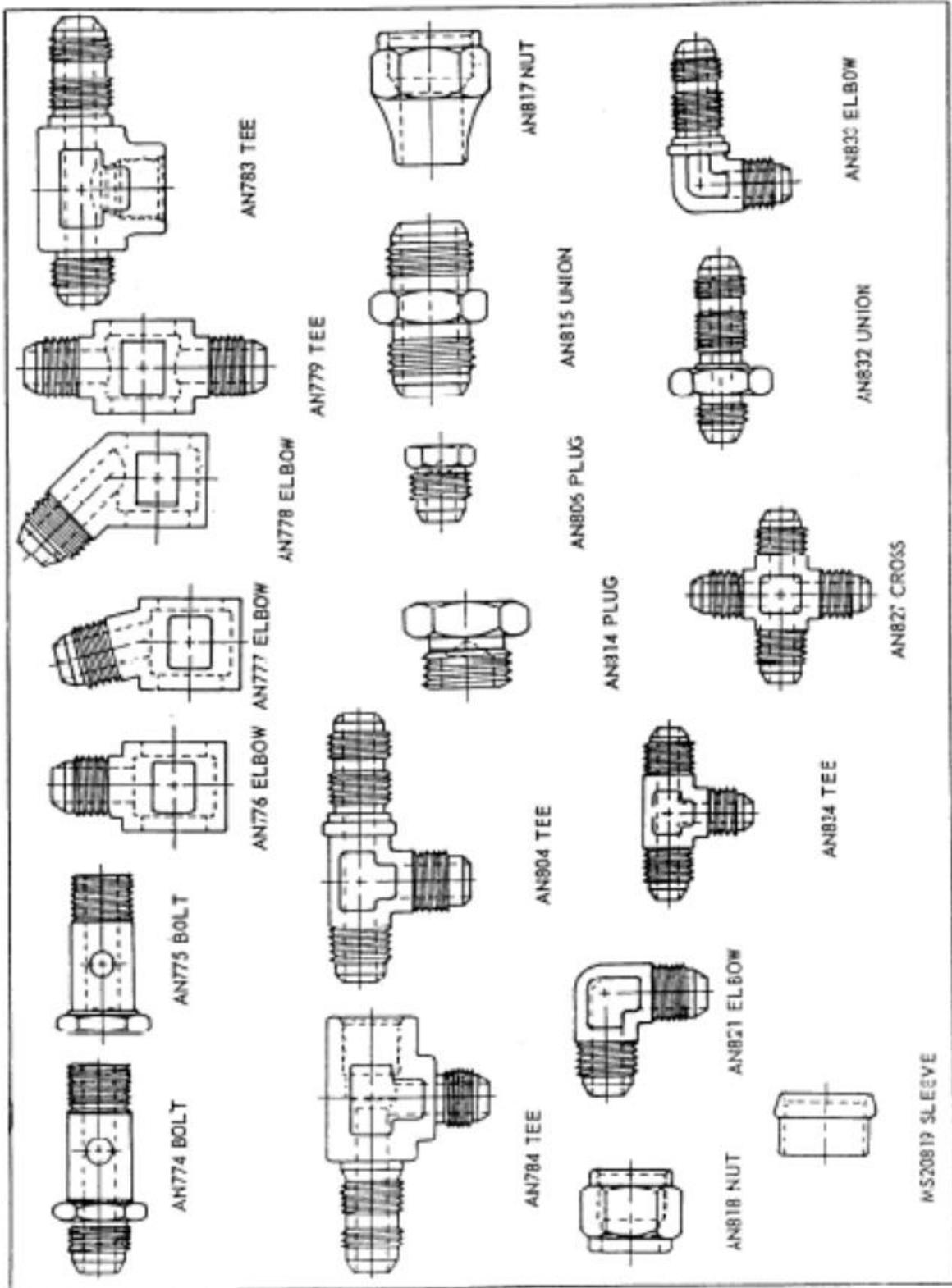


Figure 1-30. Standard AN and MS Flared Fittings (Sheet 1 of 4)

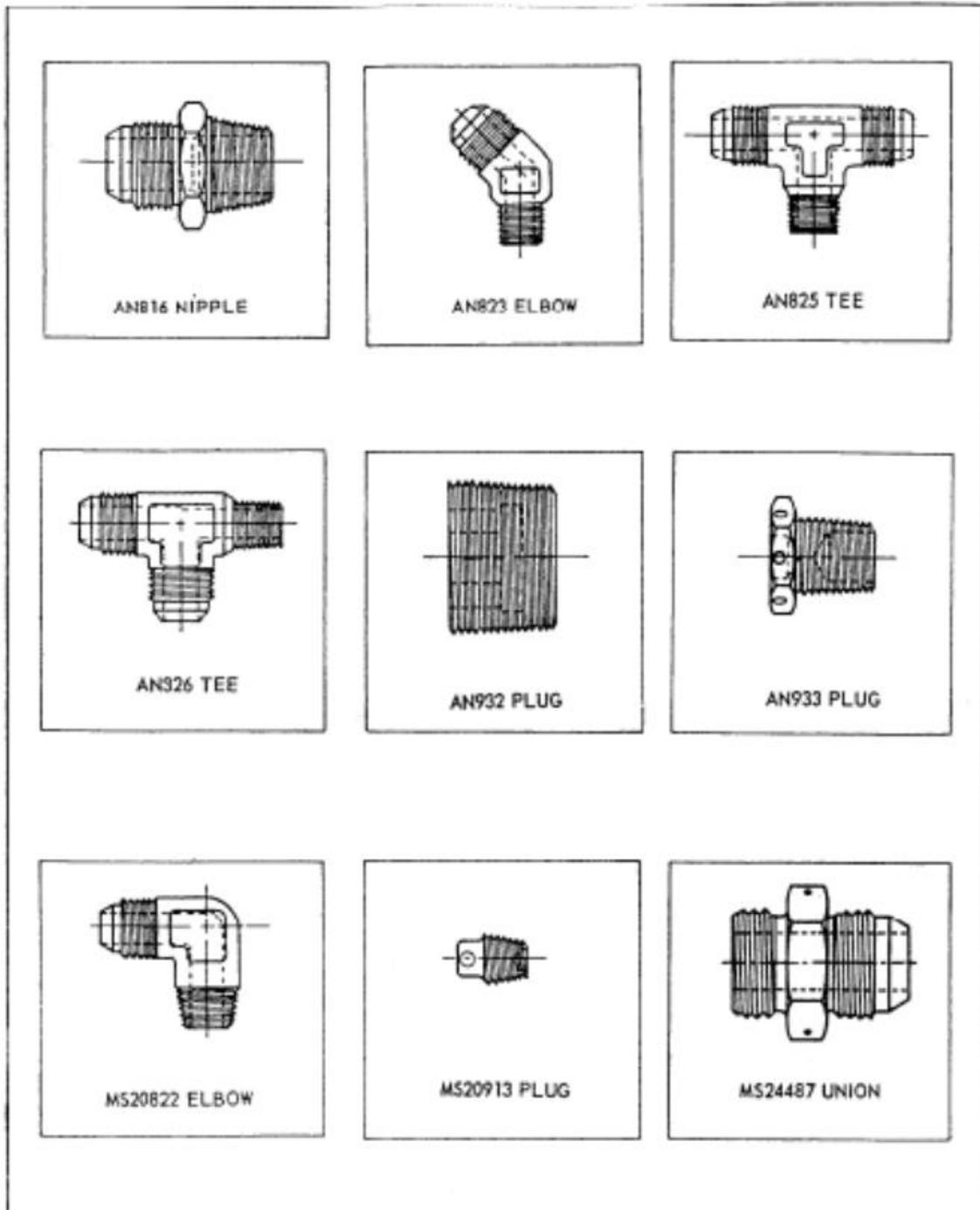


Figure 1-30. Standard AN and MS Flared Fittings (Sheet 3 of 4)

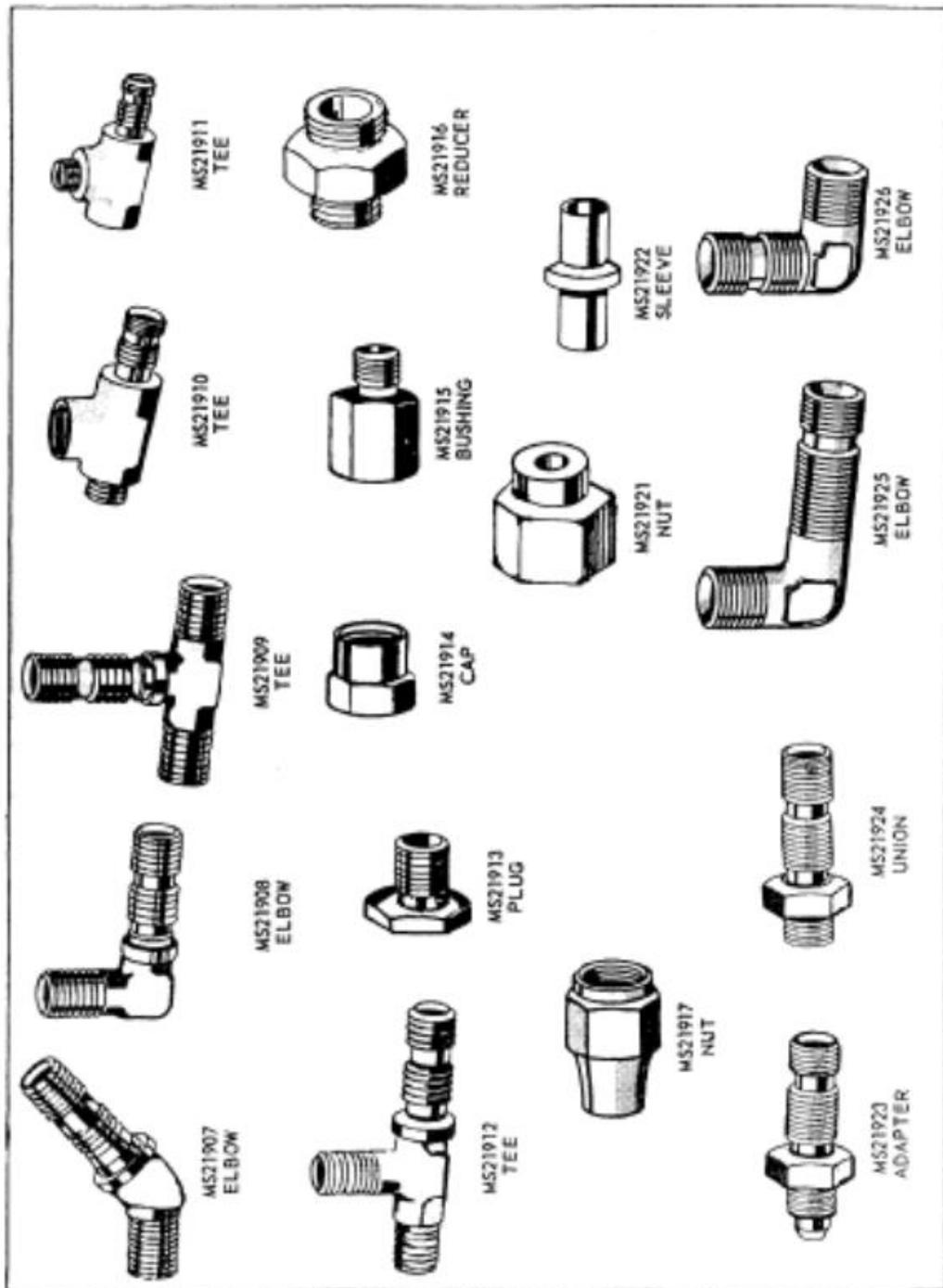


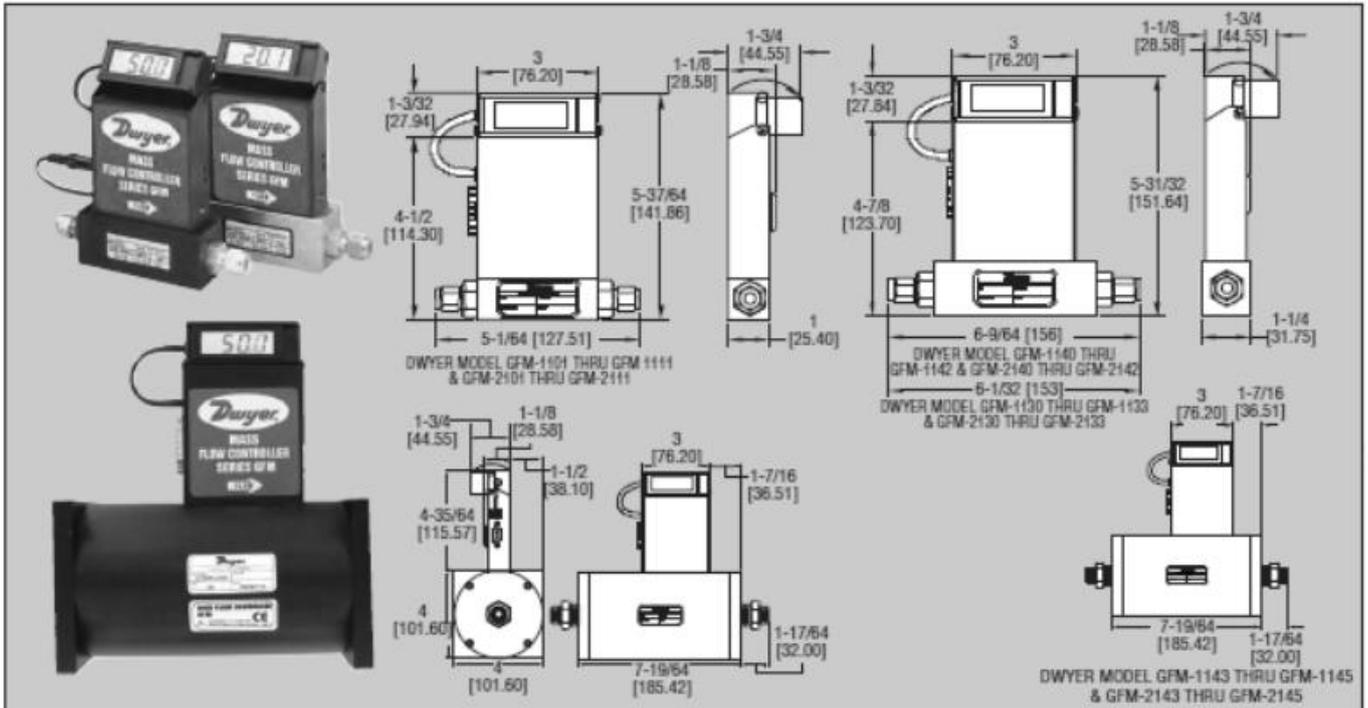
Figure 1-31. Standard MS Flareless Fittings



Series GFM

Gas Mass Flow Meters

Flow Range Up to 1000 L/min, Pressures Up to 500 psi, NIST Traceable



Series GFM Gas Mass Flow Meters combine a straight tube sensor with a restrictor flow element to provide high accuracy and repeatability. Flow rates are virtually unaffected by temperature and pressure variations. Actual gas flow is displayed in engineering units on a 3-digit, 90° tiltable LCD readout. Units can be used with Series GFT Flow Totalizer for applications requiring totalization. Series GFM includes a NIST traceable certificate.

SPECIFICATIONS

Service: Clean gases compatible with wetted parts.

Wetted Materials:

GFM-1XXX: Anodized aluminum, brass, 316 SS and fluoroelastomer O-rings;
GFM-2XXX: 316 SS and fluoroelastomer O-rings.

Accuracy: ±1.5% FS including linearity over 59 to 77°F (5 to 25°C) and 5 to 60 psia (0.35 to 4 bar).

Repeatability: ±0.5% of full-scale.

Response Time: 2 s to within ±2% of actual flow.

Output: Linear 0 to 5 VDC and 4 to 20 mA.

Max. Particulate Size: 5 microns.

Temperature Limits: 32 to 122°F (0 to 50°C).

Power Supply: ±12 VDC.

Process Connections: 1/4" compression fitting for flow rates ≤50 L/min; 3/8" for 100 and 200 L/min; 1/2" for 500 L/min; 3/4" for 1000 L/min.

Pressure Limits: 500 psig (34.5 bar).

Leak Integrity: 1 x 10⁻⁷ sccs of helium.

Display: 90° tiltable, 3-1/2 digit.

Agency Approvals: CE.

ACCESSORIES

For Series GFM Gas Mass Flowmeters

Model GFM-110P, 110V Power Supply

Model GFM-220PE, 220V Power Supply

Model GFM-CBL4, 3' cable for 4 to 20 mA output

Model GFM-CBL5, 3' cable for 0 to 5 VDC output

Flow Range	Model		Process Connector Compression Fitting
	Aluminum	SS	
0-10 mL/min	GFM-1101*	GFM-2101*	1/4"
0-20 mL/min	GFM-1102*	GFM-2102*	1/4"
0-50 mL/min	GFM-1103*	GFM-2103*	1/4"
0-100 mL/min	GFM-1104*	GFM-2104*	1/4"
0-200 mL/min	GFM-1105*	GFM-2105*	1/4"
0-500 mL/min	GFM-1106*	GFM-2106*	1/4"
0-1000 mL/min	GFM-1107*	GFM-2107*	1/4"
0-2 L/min	GFM-1108*	GFM-2108*	1/4"
0-5 L/min	GFM-1109*	GFM-2109*	1/4"
0-15 L/min	GFM-1111*	GFM-2111*	1/4"
0-30 L/min	GFM-1131*	GFM-2131*	1/4"
0-50 L/min	GFM-1133*	GFM-2133*	1/4"
0-100 L/min	GFM-1142*	GFM-2142*	3/8"
0-200 L/min	GFM-1143*	GFM-2143*	3/8"
0-500 L/min	GFM-1144*	GFM-2144*	1/2"
0-1000 L/min	GFM-1145*	GFM-2145*	3/4"

*Specified flow ranges are for an equivalent flow of nitrogen at 70°F (21°C) @ 760 mm Hg.

FLOW

Mass Flowmeters/
Flow Controllers

Anexo IX - Ferramentas especiais

Nome e número da ferramenta	Fabricante da Ferramenta/ Dados técnicos	Utilização
1001246-T500, Protractor	Hamilton Sundstrand (CAGE Code 73030)	Used to measure the valve position for the Operational Test.
1013952T1, Spanner Wrench	Hamilton Sundstrand (CAGE Code 73030)	Used to hold the actuator piston (180).
1013952T2, Seal Installation Tool	Hamilton Sundstrand (CAGE Code 73030)	Used to install the spring ring seal (510).
1013952T280, Inlet/Outlet Caps and Clamps Set	Hamilton Sundstrand (CAGE Code 73030)	Used for the Proof Pressure, Leakage, and Performance Tests.
1013952T4, Threaded Rod	Hamilton Sundstrand (CAGE Code 73030)	Used to aid in the installation of the actuator piston (180).
10X Magnifier	Commercially available	To magnify for visual checks.
Flowmeter	0 to 2.0 lbs/min. ± 0.02 lbs/min. (0 to 0.9 kg/min.) (± 0.13 kg/min.)	To show the outlet or inlet air flow for the Leakage Tests.
Pressure Gauge	0 to 1000 psig ± 5 psig (0 to 6895 kPa) (± 34 kPa)	To show the pressures for the Proof Pressure and Servo Ring Recovery Tests.
Pressure Gauge (2 Necessary)	0 to 50 psig ± 0.25 psig (0 to 345 kPa) (± 1.7 kPa)	To show the inlet and outlet pressures for the Operational Test.
Pressure Regulator	0 to 1000 psig (0 to 6895 kPa)	To regulate the air pressure for the Proof Pressure, leakage and Operational Tests.
Pressure Restrictor	0.026 in. ± 0.001 in. (0.660 mm) ± 0.025 mm)	To restrict the air flow for the Operational Test.
Protractor	180 degrees ± 0.05 degrees	To measure the valve position for the Operational Test.
Timer	0 to 5 minutes ± 2.0 seconds	To time the Proof Pressure Tests.
Pressure Restrictor	0.032 in.(0.813 mm) ± 0.001 in.(± 0.025 mm)	To restrict the air flow for the Operational Test.



CNME2014 – 9º CONGRESSO NACIONAL DE MECÂNICA EXPERIMENTAL

15 a 17 de Outubro de 2014, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal

<http://cnme2014.web.ua.pt/>

Caro Delegados e Autores de Comunicações no CNME2014

É com muito gosto que informamos que o **Programa Final** do 9.º Congresso Nacional de Mecânica Experimental já se encontra online em http://cnme2014.web.ua.pt/?page_id=293

Os melhores cumprimentos,
A Comissão Organizadora

Humberto Varum
Rui Moreira
António Completo
Hugo Rodrigues
Joaquim Silva Gomes
Nuno Lopes
Victor Neto

CNME2014 – 9º CONGRESSO NACIONAL DE MECÂNICA EXPERIMENTAL

Universidade de Aveiro

Campus Universitário de Santiago

3810-193 Aveiro - Portugal

Tel: 234 370 830 / 234 370 049

Fax: 234 370 094

Email: cnme@ua.pt

Site: <http://cnme2014.web.ua.pt/>

M2D2015

6th International Conference on Mechanics and Materials in Design
P. Delgada/Azores/Portugal, 26-30 July 2015

LETTER OF ACCEPTANCE/INVITATION

PAPER REF: 5576

TITLE: SYSTEMATIC INNOVATION AND LEAN APPROACH APPLIED TO PNEUMATIC TESTS OF AIRCRAFT COMPONENTS

Dear Author(s): Diogo Campos, Teresa Morgado, Helena Navas

We take great pleasure in informing you that your paper above has been accepted for presentation in the *M2D2015 – 6th International Conference on Mechanics and Materials in Design*, which will take place in P. Delgada/Azores/Portugal, 26-30 July 2015. The paper has also been approved for publication in the *Conference Proceedings*, which will be submitted to ISI certification.

We are very pleased to announce that the response to our call for papers has been overwhelming, for which we believe that this conference will provide a great *forum* for the exchange of ideas and would form the basis for a major scientific event in engineering. This can be attested to by the quality and the quantity of the different submissions received. Indeed, we have succeeded in attracting renowned first class scientists with significant contributions to the scientific literature from all over the world. We thank you very much for your contribution.

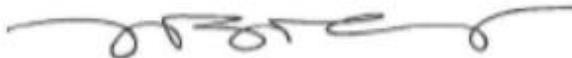
Please note that from the conference webpage at <http://paginas.fe.up.pt/clme/m2d2015/index.htm> you will be directed to the online registration tool. You are kindly invited to attend the conference, and we strongly recommend you to complete your registration as *M2D2015* delegate as soon as possible. It is also important to note that the deadline for early registration at a reduced fee is **31 January 2015**. We urge you to visit regularly the conference main website above for all the necessary information, including the scientific and social programs.

Please do not hesitate to get in touch with us, should you require any additional information. We would love to make this meeting an enjoyable and memorable one for our authors and participants.

We look forward to seeing you in P. Delgada/Azores in July 2015 to what promises to be a great scientific event!

With our warmest regards.

Sincerely,



*Professor Joaquim Silva Gomes
M2D2015 conference Co-Chair*

Organizing Committee:

Professor J.F. Silva Gomes

Faculty of Engineering, University of Porto : Rua Dr. Roberto Frias ; 4200-465 PORTO : PORTUGAL

Tel: +351-91-725 89 50; Email: sg@fe.up.pt; URL: <http://paginas.fe.up.pt/clme/m2d2015/index.htm>

SYSTEMATIC INNOVATION AND LEAN APPROACH APPLIED TO PNEUMATIC TESTS OF AIRCRAFT COMPONENTS

Diogo P. A. Campos¹, Teresa L. M. Morgado^{2,3}, Helena V. G. Navas^{4(*)}

¹ Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial, Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), Universidade Nova de Lisboa (UNL), Lisbon, Portugal

² Engineering Unit, Polytechnic Institute of Tomar, Abrantes, Portugal

³ CeFEMA - Center of Physics and Engineering of Advanced Materials, University of Lisbon, Portugal

⁴ UNIDEMI, Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial, Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), Universidade Nova de Lisboa (UNL), Lisbon, Portugal

(*) *Email*: hvgn@fct.unl.pt

ABSTRACT

A brief description of the classification and typical composition of commercial aircraft pneumatic systems initiates this article which is focused on special Tools and Test Equipment alternatives, in compliance with the original equipment manufacturers or system integrators. Maintenance management philosophies are related to control technologies, safety and operational reliability. The self-assessment methodology regulated is reviewed in the context of selection and use of special or peculiar tools, related to the Capability List of a typical Maintenance Organization based on solid engineering process of major importance in the Value Chain of the Aviation Industry. A case study applied to equivalent pneumatic test restrictors shows experimental results and a calibration practice applicable by qualified technicians.

Keywords: aircraft pneumatic systems, capability, airworthiness regulations, LEAN maintenance.

INTRODUCTION

A pneumatic aircraft system, by the ISO/IEC 15288: 2008, is defined as an "Interactive combination of elements organized to obtain one or more purposes." Pneumatic systems' resources are of paramount importance in aircraft, especially in the environmental control life support in monitoring cooling, renewal, purification and pressurization of the cabin equipment. The ATA 100 No.36, includes conduits, control and distribution valves, anti-ice and reactors start-ups, identical to sensors valves and fittings combine control functions. A operation of control and security lead toward the integration of redundant electronic controllers, such as Air Controllers Management Systems (AMS) and Pneumatic System Health Check (PSHC). Both controllers, AMS and PSHC, get data from pressure, temperature and position sensors, in addition to the continuous recording of local conditions, to assess the evolution of variables and establish modes of operation and safety through the piloting of pneumatic valves. The tests to be performed on various components or aircraft systems correspond to the operation simulation of functional variables with values specified by the manufactures in the applicable maintenance manuals. The first article inspection (FAI) or Unit under Test (UUT), equivalent to the TTE equipment originally specified by the manufacturer, requires the registration of data or any certificate of conformity provide traceability and acceptance of the replacement as an aptitude test performed experimentally.

ARINC 668, 2013 guidelines meet the criteria of equivalence of both agencies (EASE Part 145 / FAA part 145).

Universal testing equipment, or multi-purpose, have a primary function to provide power and control measurable variables, with each setup and fixed or portable instrumentation meeting the compliance requirements for each specified test function. The use of measuring equipment must demonstrate that each instrument is identified, calibrated and additionally needed to serve the requirements of resolution and the corresponding reproducibility or dispersion of repeated measurements under the same conditions accurately. Validation of tests of a pneumatic valve is considered the need to evaluate the functional response that relies on calibrated nozzles that are TTE, with influence on the dynamic response due to the restriction of air flow induced in operational tests. As the air consumption is not a control parameter of the servo and knowing that the tolerances of the holes affect the opening and closing times, the following experimental tests can ensure continuous compliance of the nozzles, this may provide better results than the use of purchased nozzles. Unless otherwise stated, experimental tests were carried out and repeated with continuous stabilized pressure values keeping with the aid of a micrometer needle valve.

RESULTS AND CONCLUSIONS

Given the reference nozzles of smaller diameter than 1mm, direct measurements tolerances of $\pm 0.025\text{mm}$ are particularly difficult to do with only traditional dimensional inspection instruments. Through sensitivity analysis based on the discharge coefficient of each isolated orifice, we conclude that this method of verification offers the necessary accuracy for indirect evaluation of dimensional tolerance of $\pm 25\mu\text{m}$, concluding that a variation of 2 microns is detectable by a flow meter with resolution of only 0.1St.l/min. Any produced test nozzle identified with a throughput outside the upper and lower control limits, should be replaced.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors gratefully acknowledge the partnership with OGMA, S.A.

The authors from FCT-UNL would like to thank the Faculty of Science and Technology of The New University of Lisbon (UNL) and the Portuguese Foundation for Science and Technology (FCT), under grants Strategic Project n^o PEst-OE/EME/UI0667/2011, for the work carried out in the framework of the research centre UNIDEMI.

REFERENCES

ATA 100 e iSpec 2200, 2000.

ARINC, 2013; *Guidance for Tool and Test Equipment (TTE) Equivalency*, ARINC report 668-1, 2013.

USAF TO 00-25-223, *Integrated Pressure Systems and Components, Technical Manual, Change 8, 25 July 2013*.

Dwyer Instruments INC, *Calibration Certificate, Device GFM-2133, 12Dec 2012 & Calibration Certificate, Device GFM-2107, 12Dec 2012*.