

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Lucas Eduardo Silva do Amaral Santos

José Alex da Silva Costa

**MANUTENÇÃO EM TURBINAS AERONÁUTICAS:
APLICAÇÃO DA TU347 NO MOTOR ARRIEL 1D1**

Taubaté – SP

2018

Lucas Eduardo Silva do Amaral Santos

José Alex da Silva Costa

**MANUTENÇÃO EM TURBINAS AERONÁUTICAS:
APLICAÇÃO DA TU347 NO MOTOR ARRIEL 1D1**

Trabalho de Graduação apresentado como parte dos requisitos para conclusão do curso de Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Orientador: Prof. Me. Leandro Maia
Nogueira

Co-Orientador: Prof. Me. Luiz Ricardo
Prieto Hercos

Taubaté - SP

2018

SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNTAU

S237m Santos, Lucas Eduardo Silva do Amaral
Manutenção em Turbinas Aeronáuticas: Aplicação da TU347 no Motor
Anel 1D1 / Lucas Eduardo Silva do Amaral Santos; José Alex da Silva
Costa. - 2018.
40 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de
Engenharia Mecânica e Elétrica, 2018.

Orientação: Prof. Msc. Leandro Maia Nogueira, Departamento de
Engenharia Mecânica.

Cocorientação: Prof. Msc. Luiz Ricardo Piato Hercoz, Departamento de
Engenharia Mecânica.

1. Aviação. 2. Modificação. 3. Motores de Turbina a Gás. I. Título.
II. Costa, José Alex da Silva. III. Graduação em Engenharia Mecânica.

ODD – 629.134353

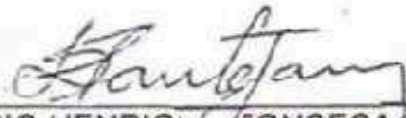
Ficha catalográfica elaborada por Shirlei Righet – CRB-B/6995

LUCAS EDUARDO SILVA DO AMARAL SANTOS
JOSÉ ALEX DA SILVA COSTA

MANUTENÇÃO EM TURBINAS AERONÁUTICAS:
APLICAÇÃO DA TU347 NO MOTOR ARRIEL 1D1

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO APROVADO COMO PARTE DO
REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE "GRADUADO EM ENGENHARIA
MECÂNICA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO COORDENADOR DE CURSO DE
GRADUAÇÃO DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



Prof. Me. FÁBIO HENRIQUE FONSECA SANTEJANI

Coordenador de Trabalho de Graduação

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Me. LEANDRO MAIA NOGUEIRA
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



Prof. Me. LUIZ RICARDO PRIETO HERCOS
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



Prof. Me. IVAIR ALVES DOS SANTOS
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

06 de Dezembro de 2018

Dedicamos este trabalho primeiramente a Deus, que foi nossa maior força nos momentos difíceis, aos nossos familiares que sempre com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que nós chegássemos até essa etapa de nossas vidas, e aos nossos professores que foram tão importantes na nossa vida acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradecemos a Deus, pelo dom da vida e por seu amor infinito, nos dando força e nos permitindo realizar esse sonho.

Aos nossos pais que nos proporcionaram a melhor educação e sempre nos apoiaram e foram a nossa fonte de inspiração.

Aos nossos queridos amigos que lutaram junto conosco todos os dias desde o início, não nos deixando desistir e fraquejar em nenhum momento.

A toda equipe de manutenção da Oficina de Motores do Batalhão de Manutenção e Suprimento de Aviação do Exército, que teve paciência para nos passar todo o conhecimento para poder realizar esse trabalho com a excelência que esse pessoal tem.

À Universidade de Taubaté – UNITAU, por nos proporcionar um excelente ambiente educacional, com profissionais e corpo docente de alta qualidade.

Ao nosso orientador, *Prof. Me. Leandro Maia Nogueira* por compartilhar seus conhecimentos em sala de aula, além de aceitar de bom grado nosso pedido de orientação, mostrando-se atencioso, incentivador, com muita dedicação e boa vontade desde o início deste trabalho de graduação.

Ao nosso coorientador *Prof. Luiz Ricardo Prieto Hercos* que desde o início foi além de um amigo, foi um mestre, nos ajudando e compartilhando todo seu vasto conhecimento, digno de sua profissão.

Ao Professor *Me. Ivair Alves dos Santos* por aceitar compor a banca examinadora.

“O êxito começa no exato momento em que o homem decide o que quer e começa a trabalhar para conseguí-lo.”
(Roberto Flávio C. Silva)

RESUMO

A aviação é algo que muitos admiram, impossível ouvir um som de avião ou de helicóptero e não olhar para o céu para ver o que está passando, e muitos se perguntam, “como é possível algo de tal tamanho voar?”, “imagine a potência do motor”, entre outras perguntas que para admiradores e leigos são um mistério.

O que alguns não sabem é que há uma engenharia complexa por trás disso tudo. Quantos anos de estudos e desenvolvimento de projetos para atingir tal performance e poder colocar uma aeronave no ar. Projetos que sofrem diversas alterações para atingir o ápice de segurança e diminuir custos, e os dois fatores imprescindíveis para materiais de aviação, resistência x leveza, porém como fazer tudo isso com um motor que desenvolve altas potências e atinge temperaturas altíssimas?

Esse estudo mostra a complexidade de um motor, a história de sua criação e desenvolvimento até chegar ao que há de mais moderno, e como os projetos sofrem modificações mesmo após serem lançados na indústria, pois a busca pela perfeição é incessante. Os motores de turbina à gás, amplamente utilizados hoje em dia, exigem uma superioridade no quesito segurança, portanto, as manutenções de seus componentes são rigorosas; componentes rotativos que atingem mais 50.000 RPM e temperaturas de mais de 1000°C, são situações que fazem da engenharia algo formidável.

O foco do estudo é em cima de uma modificação de uma turbina de um motor específico, com intuito de demonstrar o passo a passo da manutenção, e o que pode acarretar pós as alterações do projeto.

O motor Arriel 1 é um dos motores mais usados, por compor um dos helicópteros mais conhecido no mundo todo, o AS 350 Esquilo, um motor criado nos anos 60 e que até hoje é referência devido ao seu tamanho e potência, porém com o passar dos anos modificações foram aplicadas para se manter na indústria atual, e aplicação de uma modificação no seu 2º estágio da turbina do gerador de gases apresentou algumas complicações deixando operadores no mundo todo preocupados, porém o fabricante conseguiu contornar, e a aplicação da TU347 e TU365 por fim foram bem sucedidas.

Palavras Chaves: Aviação. Motores de Turbina à gás. Modificação.

ABSTRACT

The aviation is something that everyone look up to, it is impossible hear the sound of an airplane or an helicopter and don't look to the sky and behold what is passing, and many people ask "how is it possible something of this large flies?", "imagine the potency of this engine", and others questions to enthusiasts and lay people is a mystery.

What they don't know there is a complex engineering behind it all, how many years of studies and development of projects to reach this performance and put an airplane to fly, many projects undergo several changes to achieve the top of security and avoid large costs, and the two essential elements of aviation material is, strength vs lightness, but how do it all with an engine that develops high potency and achieve high temperature?

This case shows the engine complexity, the history of the creation and the development 'til the most modern that this world ever has, and how projects have modifications even after released in the industry, cause the search to the perfection is unceasing. The gas turbine engines are widely used nowadays; they require a superiority security, so, the maintenances of their compounds are stringent; compounds that reach more than 50,000 RPM and temperature above of 1000°C, situations like that make the engineering something formidable.

The focus of this study is about a modification of a specific engine's turbine, in order to demonstrate step-by-step of maintenance and what can happen after the project's alterations.

The arriel 1 engine is one of the most used engine around the world, to make part of one the most known helicopter, the AS 350 Squirrel, an engine created on the 60's that 'til today is a world reference due to his size and potency, but along the years modification have been apply to keep in the actual industry, and the application of one modification on the second stage of the generator gas turbine involve some complications which left operators of all the world worried, however the manufacturer knew fix it, and the application of the TU347 and TU365 finally they were successful.

Keywords: Aviation. Gas turbine engines. Modification.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Eolípila

Figura 2- Macaco de chaminé

Figura 3- Turbina de Jhon Barber

Figura 4- Motor Whittle W1

Figura 5- Motor Whittle W1

Figura 6- Aeronave ME262

Figura 7- Motor JunkersJumo 004

Figura 8- Motor Lycoming T53

Figura 9- Ciclo Brayton ideal – NASA

Figura 10- Motor Arriel 1

Figura 11- Motor Arriel 1- Divisão por módulos para facilitar a manutenção

Figura 12- Diferença entre os estágios antes e após aplicação da modificação

Figura 13- Turbinas pré e pós aplicação da TU347

LISTA DE ABREVIATURAS

HP	Horse Power
Kg	Quilograma
kN	Kilonewton
kW	Kilowatts
Lbf	Libra-força
TU	Temporary Update (Atualização Temporária)
SB	Service Bulletins (Boletim de serviço)
SL	Service Letter
SHP	Shaft Horse Power

INDICE

1. INTRODUÇÃO.....	11
1.2 OBJETIVO DO ESTUDO.....	13
1.2.1 OBJETIVO GERAL.....	13
1.2.2 OBJETIVO ESPECIFICO.....	13
1.3 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	13
1.4 RELEVANCIA DO ESTUDO.....	14
2. REVISAO DE LITERATURA.....	15
2.1 O NASCIMENTO DA TURBINA.....	15
2.1.1 A PRIMEIRA PATENTE.....	16
2.1.2 O DESENVOLVIMENTO.....	18
2.1.3 O INICIO DAS TURBINAS A GAS NA AVIAÇÃO.....	18
2.1.4 PRODUÇÃO EM MASA.....	20
2.2 ARRIEL.....	22
2.3 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMENTO.....	23
2.4 CICLO TERMODINAMICO DE BRAYTON.....	24
2.4.1 CONCEITO GERAL.....	25
2.5 FUNCIONAMENTO DO ARRIEL 1.....	26
2.6 MODIFICAÇÕES.....	28
2.6.1 MODIFICAÇÕES NO ARRIEL 1.....	28
2.6.2 T.U. 347.....	28
3. METODOLOGIA.....	33
4. RESULTADOS E DISCUSOES.....	35
4.1 ANALISES DE MANUTENÇÃO.....	35
4.2 MOTIVO DA APLICAÇÃO DA TU347.....	36
4.3 RESULTADOS.....	36
5 CONCLUSAO.....	37
REFERENCIAS.....	38

1. INTRODUÇÃO

Segundo Maintenance (2018) manutenção é definida, em respeito ao trabalho, como “O trabalho necessário para manter uma rodovia, construções, máquinas, etc, em boas condições” ou ainda, sobre continuação da existência, “Uma situação a qual algo continua a existir ou não é permitido se tornar menos”.

Essa segunda definição expressa um entendimento maior sobre manutenção aeronáutica, o fato de não ser permitido se tornar menos, devido à segurança envolvida na manutenção de uma aeronave, as inspeções são feitas de forma rotineira, atento sempre a qualquer anomalia e desgaste.

Segundo Oliveira (2015), desde que os irmãos Wright começaram a estudar a invenção de um avião, designou algumas funções de mecânica a Charles Edward Taylor, com o método de tentativa e erro, a ideia era criar um protótipo voador usando madeira e tecido.

Segundo a Associação de Técnicos Mecânicos de Aeronaves dos Estados Unidos, Charles E. Taylor começou com um bloco sólido de metal e ferramentas básicas como uma furadeira, um torno e algumas ferramentas manuais básicas, Charlie construiu o primeiro motor aeronáutico e tudo isso com um simples desenho feito em um guardanapo. Os irmãos Wright determinaram que precisava-se de um motor que não pesasse mais que 180 libras (81,65kg), e tinha que entregar 8-9 HP. Com habilidade, conhecimento e integridade que Charlie possuía, providenciou um motor de quatro cilindros com 4 polegadas de diâmetro e 4 polegadas de curso que pesava 150 libras (68,04kg) e entregada 13HP no freio. Tudo isso foi feito em 6 semanas, esse motor era capaz de carregar um peso de 625 libras (283,50kg). (MACTIERNAN; CONSTANZA; KLIPPEL, [200-?]).

Com essa atitude Charles foi o precursor da manutenção aeronáutica, desenvolvendo um motor com uma boa potência e pouco peso, e é exatamente o principal fundamento pregado no que diz respeito na aviação, alto desempenho com baixo peso, todos os critérios empregados dependem desse denominador, buscando assim a segurança e principalmente diminuição de gastos, sabendo que quanto mais pesada é uma aeronave, maior terá que ser sua potência, e maior será seu consumo.

Tendo em vista esse objetivo, o projeto final sofre várias alterações durante todo o seu tempo de vida gerando assim as chamadas modificações. Essas modificações podem ter algumas classificações, de acordo com o fabricante, podendo ser mandatórias ou recomendadas, previstas nas diretrizes de aeronavegabilidade.

1.2 Objetivos do Estudo

1.2.1 Objetivo Geral

A manutenção em motores aeronáuticos e de forma geral tem como objetivo manter a confiabilidade, qualidade e segurança física e ambiental de todo o sistema, pensando em melhorias a cada processo.

Esse trabalho irá mostrar como isso acontece na prática, demonstrando a aplicação de uma modificação e sua manutenção antes e depois, fazendo um comparativo com a segurança e viabilidade financeira para os operadores.

1.2.2 Objetivos Específicos

Este estudo tem os seguintes objetivos específicos a serem atingidos:

- Entender a importância da manutenção;
- Demonstrar as relevâncias das ordens de trabalho de um manual;
- Trabalhar de forma ordenada e com atenção;
- Seguir as metodologias pertinentes à manutenção aeronáutica;
- Garantir a eficiência da manutenção.

1.3 Delimitação do Estudo

A indústria aeronáutica está sempre pensando em melhorias, seja de eficiência de seu produto, segurança, e economia. Contudo, nem sempre o resultado é o esperado e pode levar a uma catástrofe. O esforço para evitar esse acontecimento é elevado, pois “voar não é perigoso, perigoso é cair”. O estudo abrange uma modificação específica e a busca de informações se limita ao fabricante, manuais de manutenção, boletins de serviço e técnicos especializados. As dificuldades em compreender os resultados são devido à confidencialidade de informações devido a segredos industriais.

1.4 Relevância do Estudo

O conceito básico para manutenção aeronáutica é manter as funcionalidades de todos os componentes, prezando a segurança de voo, seguindo as diretivas de aeronavegabilidade, essas diretivas são segmentadas por:

- Definição de cada modo de controle de tempo de vida, como calendária, horária ou OnCondition;
- A frequência de manutenção em cada componente;
- A limitação do tempo de vida quando calendária ou horária;
- Definir as atitudes nas manutenções programadas ou não programadas.

As limitações de aeronavegabilidade são baseadas em análises que confiam na operação e manutenção realizada de acordo com os tópicos descritos no manual do operador e manual de manutenção, não exposta a sobrelimites e seguindo as inspeções determinadas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O nascimento da turbina

Desde o início dos tempos o homem vem criando meios para facilitar seu trabalho, aumentar produção, gerar energia, de se movimentar de um lugar para outro de forma mais rápida, etc.

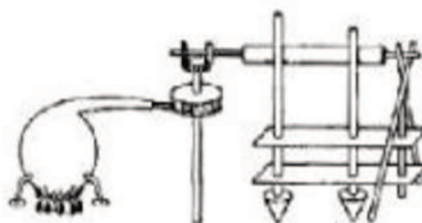
Figura 1 – Eolípila



Fonte: EOLÍPILA, 2018

Segundo Escobar (2006), um inventor grego, no século I d.C. construiu o primeiro dispositivo que funcionava pelo vapor produzido do aquecimento da água. Esse vapor colocava em rotação uma esfera de metal que estava acoplada à máquina de Heron, conhecido como Eolípila, ilustrado na Figura 1, porém não foi utilizado para fins técnicos ou comerciais.

Figura 2 – Macaco de chaminé



Fonte: MARTINELLI JUNIOR, 2002

Porém com isso perceberam que o vapor produzido por uma fonte de calor, era possível realizar trabalho, e por volta do ano de 1500, Leonardo da Vinci desenhou um esboço de um dispositivo, o “macaco de chaminé”, de acordo com a Figura 2, que girava pelo efeito dos gases quentes subindo a chaminé. Ele criou um dispositivo que usava o ar quente para girar um espeto de torrefação, o calor proveniente do fogo, passa por um rotor com pás dentro de uma chaminé, essas pás fazem girar uma série de engrenagens para girar um espeto.

Em 1629, Giovanni Branca, um italiano engenheiro, inventou uma turbina por impulso. Sua invenção era uma máquina de estampagem, a energia era gerada por uma turbina a vapor. Um bocal direciona o vapor a uma roda de turbina, qual gira uma série de engrenagens que operava sua máquina.

Em 1687, um senhor chamado Isaac Newton anunciou suas três leis de movimento. Essas leis tiveram um impacto significativo nas futuras invenções incluindo o desenvolvimento da turbina a gás, principalmente a terceira que diz que para toda ação existe uma reação igual e de sentido contrário.

Ainda em 1687, Newton inventou um vagão a vapor, uma caldeira que gera um vapor, que é direcionado para um bocal que dá propulsão para o vagão. Embora a teoria fosse bonita no papel, o veículo não funcionava devido à baixa potência gerada pelo bocal.

E então em 1791, John Barber patenteou a primeira turbina a gás, seu projeto tinha como objetivo mover uma carruagem sem cavalos, seu design usou ciclos da termodinâmica familiar as turbinas modernas, com compressores, câmara de combustão e uma turbina. (ESCOBAR, 2006)

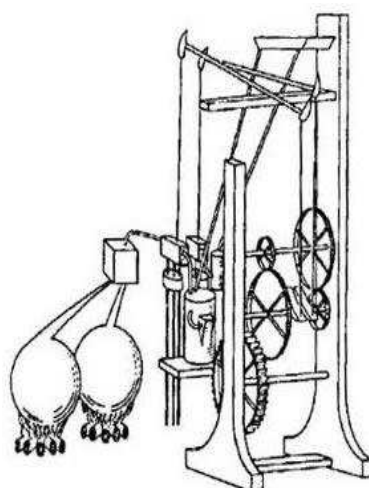
2.1.1 A primeira patente

Segundo Famous Inventors, [201-?], John Barber, foi um inventor inglês do século XVIII, é um desses homens, ficou conhecido por inventar a turbina a gás, porém não se conhece muito sobre sua vida particular. Algumas fontes dizem que ele nasceu em 1734, enquanto outras que foi pouco antes disso, em 1725, e foi batizado na Igreja St. Nicholas Parish, porém o que se sabe ao certo é que Barber viveu em Nottinghamshire e se mudou para Warwickshire em 1760, sua profissão era mestre de carvão e costumava gerenciar colecionadores.

Barber inventou a turbina a gás com um motor de movimento rotativo por gás obtido da queima de madeira, carvão, óleo e outras substâncias combustíveis, conforme a Figura 3. Este gás então era direcionado para outro reservatório chamado de receptor e resfriador. A mistura de ar e gás era bombeada para cilindros e inflamada. Adicionava água a mistura de gás quente e o efeito de resfriamento produzia vapor, que tinha força o bastante para mover uma turbina. A data exata dessa invenção é desconhecida, mas é sabido que ele deteve várias patentes entre 1766 a 1792.

Sua primeira patente foi obtida em 1766, intitulada “Patente Nº 865 – Obtenção de força motriz, aplicável em mineração e outras operações”. Era um novo método de extrair água de minas e embarcações, e para suprir água para as cidades. Também era útil para levantar cargas pesadas, como carvão das minas. Porém, em 1767, ele sofreu uma perda financeira substancial de mais de £5000 quando um eixo afundou na área de Stockinford devido a um mau funcionamento das bombas.

Figura 3 – Turbina de John Barber



Fonte: FAMOUS INVENTORS, [201-?]

Sua maior invenção então, a turbina a gás, veio no final de sua vida. A patente Nº 1833 foi concedida em 30 de novembro de 1791, “Obtenção e Aplicação da Força Motriz”. A turbina a gás era um método de usar gás inflamável para produzir movimento. Garantiu o nome de John Barber na história como um dos

pioneiros de motores automotivos, embora suas invenções fossem mecanicamente barulhentas, muitas delas falharam devido à falta de tecnologia disponível para sustentá-las e a baixa qualidade dos metais e outros materiais da época. (FAMOUS INVENTORS, [201-?])

2.1.2 O desenvolvimento

Segundo Meyer (1939), em 1872, Dr. Stolze desenvolveu então o que pode ser chamado de o verdadeiro primeiro motor de turbina a gás, o motor consistia em seções de múltiplos estágios de turbinas a reação e compressores de fluxo axial, porém não funcionou muito bem após testes realizados em Berlim entre 1900 e 1904.

Segundo Meher-Homji (2000), em 1903, enquanto os irmãos Wright estavam a caminho de realizar o primeiro voo, Aegidius Elling da Noruega começou a construir a primeira turbina a gás bem sucedida usando compressores e turbinas, a primeira construída gerava 11hp de potência, já a segunda 44hp.

Escobar (2006) disse que, em 1918, a General Electric iniciou uma divisão de gás a turbina. O Dr. Stamford A. Moss desenvolveu o GE turbocompressor durante a 1ª Grande Guerra, usava os gases de exaustão de um motor a pistão para girar um roda de turbina. O conjunto girava um compressor centrífugo usado como um super alimentador.

2.1.3 O início das turbinas a gás na aviação

Segundo Escobar (2006), um inglês Comodoro do Ar da Força Aérea Real (RAF), Sr. Frank Whittle, foi um oficial engenheiro que criou a patente de turbina a gás para motores de propulsão a jato, isso em janeiro de 1930, seu motor consistia de um único estágio de compressor radial acoplado a dois estágios de turbina, o teste de bancada realizado em 1937 foi um sucesso, porém ele dividiu o crédito com o alemão, Dr. Hans von Ohain.

Em 1939, o ministério do ar concedeu a Power Jets LTD.(Empresa a qual Whittle era associado), um contrato para desenvolver um motor para voar. Em Maio de 1941, o motor WHITTLE W1, ilustrado na Figura 4, foi montado em uma

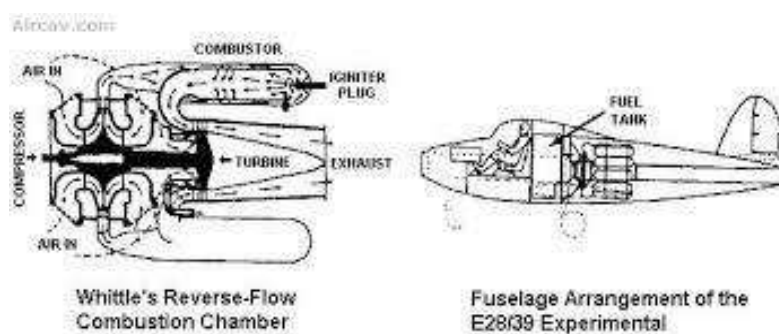
aeronave Gloster modelo E28/39, como mostra na Figura 5. Essa aeronave alcançou uma velocidade de 370mph com empuxo de 1000lbs.

Figura 4 – Motor Whittle W1



Fonte: NATIONAL AIR AND SPACE MUSEUM, 2018

Figura 5: Motor Whittle W1



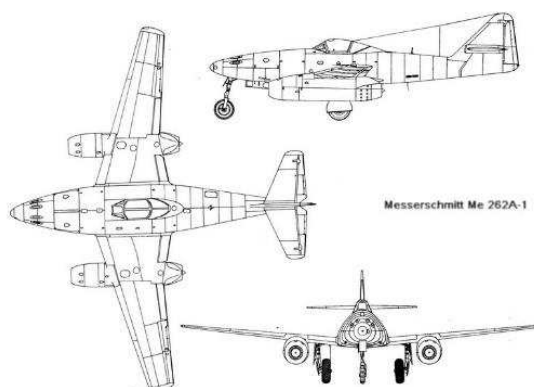
Fonte: BAI, 2018

Enquanto Whittle estava trabalhando em seu motor, os alemães Hans von Ohain e Max Hahn patentearam um motor de propulsão a jato em 1936. A Ernst Heinkel Aircraft Company adaptou as suas ideias e fez voar o segundo motor de aeronaves de seu desenvolvimento em uma aeronave HE-178 em 27 de agosto de 1939, o que seria a primeira verdadeira aeronave com propulsão a jato.

O motor Heinkel desenvolveu 1100lbs de empuxo e passou de 400mph. O motor usava um compressor centrífugo, e com o desenvolvimento das turbinas passaram a usar compressores axiais desenvolvida pelo cientista alemão Dr.

Anselm Franz. Essa turbina foi usada no caça ME262, mostrado na Figura 6, que alcançou 500mph. Essas aeronaves foram apresentadas no final da Segunda Guerra Mundial. Algumas características de uma turbina moderna foram apresentadas na aeronave ME262, incluindo resfriamento de pás, prevenção de gelo e área variável do tubo de exaustão.

Figura 6 – Aeronave ME 262

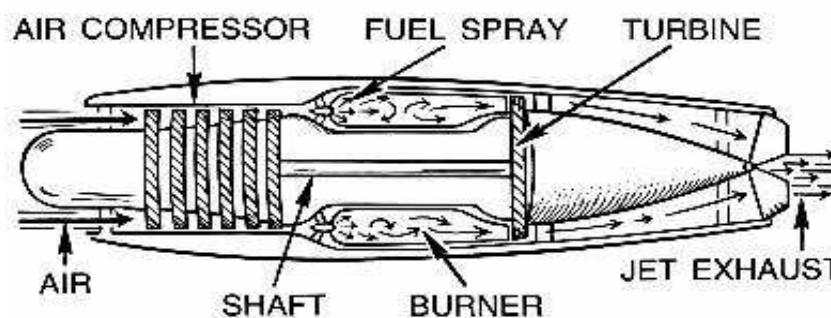


Fonte: AVIÕES MILITARES, 2015

2.1.4 Produção em massa

Segundo o Site “aviation-history.com” (2016), em 15 de março de 1942, um protótipo Junkers Jumo 004, ilustrado na Figura 7, foi testado em uma aeronave MesserschmittBf 110, tornando o primeiro motor turbojato de fluxo axial de sucesso.

Figura 7 - Motor Junkers Jumo 004



Fonte: AVIATION HISTORY ONLINE MUSEUM, 2015

A produção inicial começou com um pedido de 80 motores 004A, porém para serem usados apenas para testes, pois não eram adequados para voar devido ao seu peso (850kg) e também usava muitos materiais estratégicos, como níquel, cobalto, molibdênio, etc. Já no 004B, a maioria dos metais das partes quentes foi mudado para aço macio com uma proteção de alumínio. O peso foi reduzido e os materiais estratégicos usados foram menos da metade da série A. O 004B também foi produzido na concepção modular para facilitar a produção.

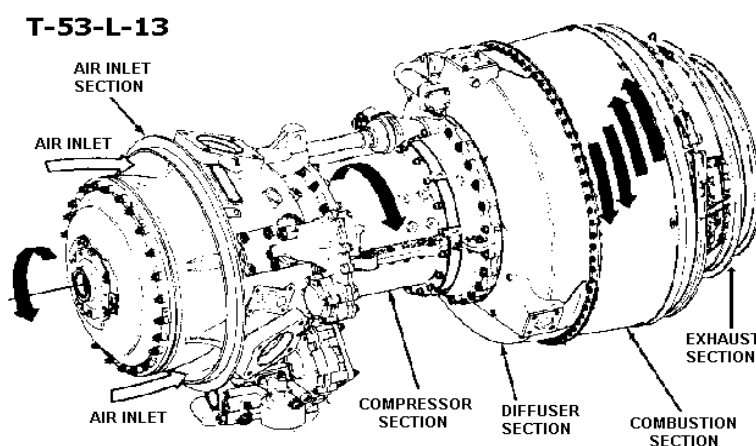
O 004B-1 passou a produzir um empuxo de 2000lbf(8,9kN) e funcionava inicialmente com diesel. A gasolina era usada para o motor de partida e na partida do motor. Uma mistura de gasolina e diesel era usada logo após a partida e passava a funcionar somente com diesel. As entregas começaram em junho de 1943, mas algumas partes começaram a aparecer devido a ressonância de vibração na velocidade máxima. O problema foi resolvido pelo aumento da frequência natural da palheta aumentando a sua conicidade e diminuindo a rotação de 9000rpm para 8700rpm. A produção total não foi alcançada até antes de 1944, a qual atrasou a introdução a aeronave Messerschmitt Me 262.

O modelo 004E foi o primeiro turbojato equipado com um pós-combustor (afterburner), um combustível extra é injetado pouco antes do distribuidor da turbina e a temperatura de exaustão chega a 870°C e o empuxo aumenta de 2200lbf (9,8kN) para 2640lbf(11,75kN). Foi para produção em 1945.

Mais de cinco mil motores Jumo 004 foram produzidos antes do fim da guerra. Após a guerra, o Dr. Anselm Franz foi trabalhar para a empresa Lycoming e desenvolveu os motores turboeixo T53 e T55 (MEHER-HOMJI, 2000).

O Lycoming T53 é um motor turboeixo usado primeiramente em helicópteros, porém também foi utilizado em aeronaves turboélice. Foi desenvolvido de acordo com um pedido da força aérea americana de um motor turboélice de 500 a 700 shp (373 a 522kW). A Lycoming é conhecida pela produção em série de motores de 4 a 6 cilindros para aeronaves leves. O T53 deu a empresa um começo nos negócios de aeronaves com turbinas a gás. (AVIATION HISTORY ONLINE MUSEUM, 2016)

Figura 8 - Motor Lycoming T53



Fonte: AIRCAV, 2013

O T53, como mostra a figura 8, foi considerado o primeiro motor a usar o perfil de turbina livre na América no ano de 1959, porém o primeiro a nível mundial foi o motor Bristol Theseus a adotar esse conceito em janeiro de 1947 (FLIGHT, 1947; FLIGHT, 1949; FLIGHT, 1959; AVIATION HISTORY ONLINE MUSEUM, 2016).

Esses motores tem o perfil que é adotado até hoje, seção de compressores, axiais e centrífugos, câmara de combustão, seção de turbinas, e exaustão.

O T53 tinha um eixo concêntrico que transmitia a rotação para uma tomada de potência dianteira, tinha 5 estágios de compressores axial e mais um de compressor centrífugo, o ar comprimido então seguia para um combustor de fluxo reverso, e então a expansão dos gases devido ao calor girava dois ou quatro

estágios de turbina, dependendo da versão. (AVIATION HISTORY ONLINE MUSEUM, 2016)

2.2 Arriel

Segundo o site da SAFRAN, o primeiro Arriel foi desenvolvido em 1969 pelo Gottlieb Sporer e seu primeiro giro no solo, com 600 SHP, aconteceu em 1973. Os primeiros modelos foram o Arriel 1A para a aeronave Pantera e Arriel 1B para a aeronave Esquilo, foram certificados em junho de 1977. (SAFRAN HELICOPTER ENGINES, 2014)

A família do motor Arriel tem uma gama de motores de 590 a 1000 SHP. É o motor mais vendido pela Safran Helicopters Engine, com mais de 30 variantes desenvolvidas e certificadas, instalado em mais de 40 tipos de aeronaves, produzido mais de 12.000 motores e acumulado mais de 46 milhões de horas de voo até hoje.

A família arriel está dividida em duas linhas de produção, Arriel 1 e Arriel 2, suas potências podem ser, respectivamente, de 590 a 750 SHP e 830 a 990 SHP. (SAFRAN HELICOPTER ENGINES, [2018?])

2.3 Princípios de funcionamento

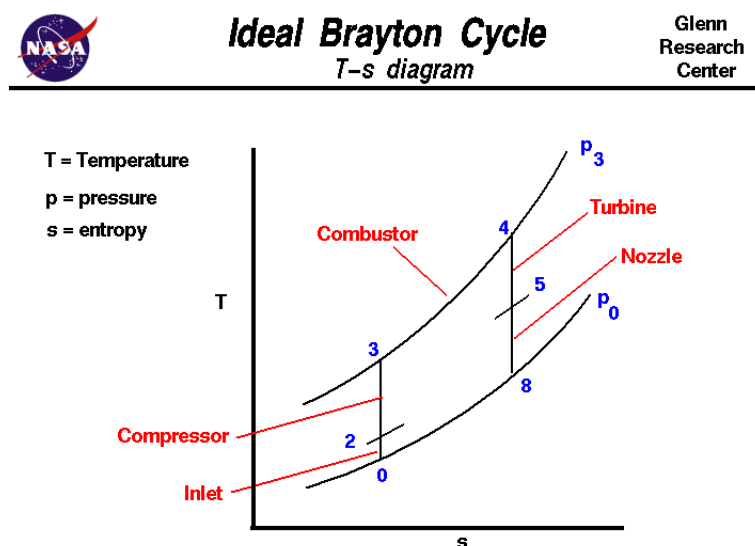
Segundo Nasa (2005), para mover uma aeronave pelo ar, é necessário usar algum tipo de sistema de propulsão para gerar empuxo. O mais, amplamente, conhecido modelo de sistema de propulsão das aeronaves modernas são os motores de turbina a gás. Motores a turbina aparecem de diversas formas, como turbojatos, turbofans e turbopropulsores, porém todos esses tipos de motores têm algo em comum. Todos esses motores a turbina tem compressores, seção de combustão, e turbina de potência, a qual traciona os compressores.

Para entender como o sistema de propulsão funciona, devemos saber a termodinâmica básica dos gases. Os gases tem várias propriedades que podemos observar, como pressão “P”, temperatura “T”, volume “V” e massa. Uma observação científica determina como essas variáveis estão relacionadas uma a outra, e os valores dessas propriedades determinam o estado do gás. Um processo

termodinâmico, como aquecer ou comprimir o gás, muda os valores do estado variável de uma maneira que é descrita pelas leis da termodinâmica. O trabalho feito por um gás e o calor transferido para ele depende de seu estado inicial e final e o processo usado para transformá-lo. É possível realizar uma série de processos, o qual o estado é alterado a cada um deles, mas o gás, eventualmente, retorna ao seu estado original. Como uma série de processos é chamada ciclo, é a forma base para entender a operação de um motor. (NASA, 2005)

2.4 Ciclo Termodinâmico de Brayton

Figura 9 – Ciclo de Brayton ideal



Fonte: NASA (2005)

O Ciclo Termodinâmico de Brayton, apresentado na Figura 9, é usado em todos os motores de turbina a gás. A figura 9 mostra o Ciclo de Brayton. Usando um sistema numérico de estação para um motor a turbina, inicia com as condições do fluxo livre na estação 0 (zero). Em voo de cruzeiro, a entrada de ar diminui o fluxo de ar assim que se chega na entrada do compressor na estação 2. O ar em condição ambiente passa pelo compressor, onde por compressão adiabática (não há troca de calor) e isotrópica (independe de direção) ocorre o aumento de temperatura e conseqüente aumento de entalpia (quantidade de energia dada pela reação da pressão e calor) na estação 3. O ar é direcionado à câmara de combustão, da estação 3 até estação 4, onde é misturado ao combustível

possibilitando sua queima e seu aquecimento tendo sua pressão constante. Ao sair da câmara de combustão, os gases, à alta pressão e temperatura, se expandem conforme passam pela turbina do gerador de gases. Na medida em que o fluido fornece o trabalho sobre as palhetas, reduzem-se a pressão e temperatura dos seus gases, gerando-se potência mecânica. A potência extraída através do eixo da turbina é usada para acionar o compressor. A quarta etapa representa a transferência de calor do fluido para o ambiente em que se encontra. Desta forma, mesmo se tratando de um ciclo aberto, parte da energia gerada pela combustão é eliminada por forma de calor nos gases quentes fluindo como escape. A rejeição de calor é um limite físico, intrínseco ao funcionamento de Ciclo termodinâmico, mesmo nos casos ideais, como define a Segunda lei da termodinâmica ("A quantidade de entropia de qualquer sistema isolado termodinamicamente tende a incrementar-se com o tempo, até alcançar um valor máximo".) (NASA, 2005)

2.4.1 Conceito Geral

De forma geral, o fluxo de ar é admitido para a seção de compressores, podendo ter apenas um estágio ou múltiplos estágios de fluxo axial e um estágio de fluxo centrífugo, o estágio é composto de um componente rotativo e outro estator, denominado de difusor, podendo ter o perfil fixo ou variado, o perfil variado auxilia num fluxo mais eficiente melhorando a aceleração, segundo a lei de bernoulli, que diz que um fluido escoando num perfil divergente há um aumento da pressão e a velocidade do fluxo de ar diminui.

Uma sangria de ar entre os compressores axiais e o compressor centrífugo normalmente é instalada devido à eficiência diferenciada de cada compressor, na partida do motor o compressor axial tem uma maior facilidade no fluxo de massa de ar que o compressor centrífugo, então com o aumento de pressão e um fluxo de massa maior que o compressor centrífugo pode suportar, acontece um fenômeno chamada estol de compressor, que segundo Dutra (1979) é a condição que ocorre num compressor rotativo de ar, quando alguma pá encontra o fluxo de ar num ângulo tal que sucede reversão de fluxo, geralmente levando à extinção de chama, porém outras sangrias podem ser instaladas para uso da aeronave, como por exemplo, para o sistema de ar condicionado e ventilação para a tripulação.

A câmara de combustão é onde ocorre a mistura ar/combustível e calor, gerando uma expansão dos gases, esses gases são direcionados para os estágios de turbinas, que depende do projeto, pode haver um ou mais estágios de turbinas do gerador de gases, o estágio é composto de um estator, chamado de distribuidor, e uma turbina. Geralmente essa turbina do gerador de gases direciona esse ar para outra turbina que é conhecida como turbina livre ou turbina de potência, pois não há ligação mecânica com o conjunto gerador de gases, da mesma forma que a turbina do gerador de gases, pode ser de um único estágio ou múltiplos estágios, seguindo com a mesma ordem, um distribuidor e um disco rotativo. A turbina livre, por sua vez transmite essa rotação para um eixo que pode estar ligado a uma caixa de redução que vai transmitir essa potência para girar um rotor, no caso de helicópteros, ou podendo estar ligado a um eixo concêntrico que transmite essa potência para uma tomada dianteira, normalmente usado nos motores de aviões turboeixo, e até mesmo girar um fan, como os motores turbofan, usados normalmente em aviões comerciais. (GAS..., 2009)

2.5 Funcionamento do Arriel1

Figura 10: Motor Arriel 1



Fonte: SAFRAN HELICOPTER ENGINES [201-?]

O motor Arriel, ilustrado na figura 10, tem uma característica muito importante no que se refere à estratégia de manutenção: conjunto modular. A

possibilidade de um conjunto de motores de uma frota, com as mesmas características, realizarem o intercâmbio de módulos, gerando um resultado satisfatório na parada do equipamento. Quando existe baixa disponibilidade entre módulos de motores diferentes, o administrador pode, após análise, realizar a troca entre motores.

Esse trabalho possibilita ao operador agrupar um conjunto de módulos com baixa disponibilidade e assim diminuir o número de aeronaves paradas por serviço de motor.

Composto por dois estágio de compressores, sendo um axial e um radial, Câmara de Combustão tipo Anular, dois estágios de turbina do gerador de gases, uma turbina livre, uma caixa de redução, e um eixo de potência também ligado a caixa de acessórios que garante o controle e suporte dos demais sistemas como sistema de lubrificação, elétrico, de indicação, e combustível por meio de uma unidade controladora de combustível (FCU) acoplado. Para compreender melhor o motor Arriel é dividido em cinco módulos, como mostra a figura 11:

Módulo 01 – Eixo de potencia e Caixa de acessórios;

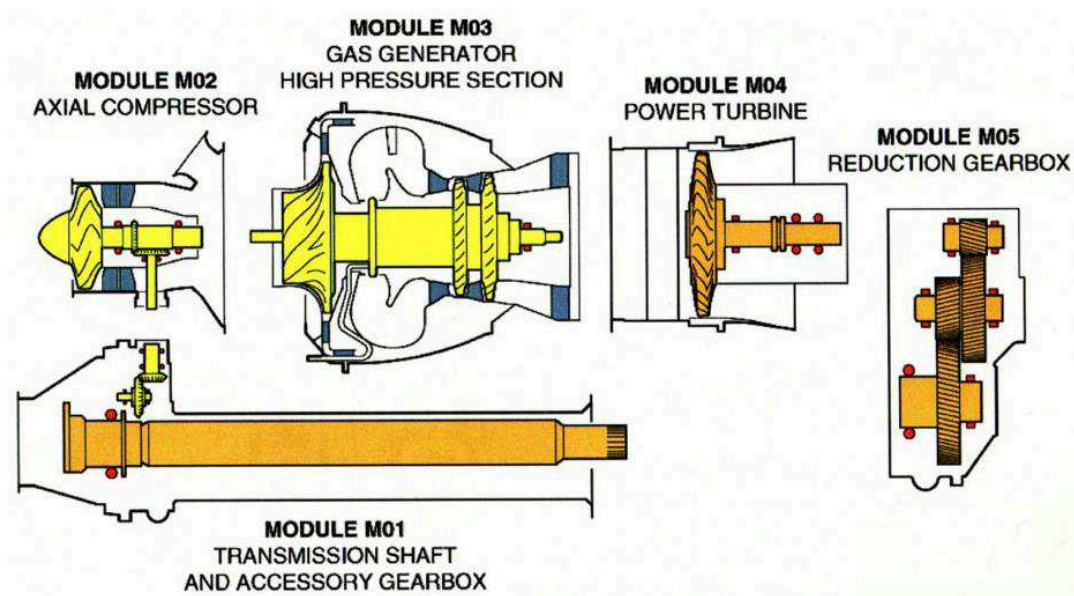
Módulo 02 – Compressor Axial;

Módulo 03 – Conjunto Gerador de Gás;

Módulo 04 – Turbina de Potência ou Turbina Livre, e

Módulo 05 – Caixa de Redução.

Figura 11 - Motor Arriel 1 - divisão por módulos para facilitar a manutenção



Fonte: HUGHES & MURRAY, 2009, p. 12

2.6 Modificações

É notável que com o passar dos anos houve diversas modificações para melhoria de projetos, cada inventor, engenheiro, cientista foi aperfeiçoando seu desenho e chegaram ao que temos hoje. As concepções de motores de turbina a gás não divergem muito um do outro, porém há um estudo em melhoria de eficiência e segurança ininterrupto.

Dentro da aviação exige-se um coeficiente de segurança relativamente alto, em padrões de materiais, técnicas de manutenção, e controle de componentes, que ainda sofrem modificações constantemente, independente de seu tempo de uso, os chamados boletins de serviço trazem essas informações, segundo a ANAC (BRASIL, 2009), define-se boletim de serviço como documento que pode ser emitido pela organização fabricante do produto aeronáutico (aeronave, motor, hélice, equipamento e componente), com o objetivo de corrigir falha ou mau funcionamento deste produto ou nele introduzir modificações/ou aperfeiçoamento, ou ainda visando à implantação de ação de manutenção ou manutenção preventiva

aditiva às que são previstas no programa de manutenção básico do fabricante (BRASIL, 2009).

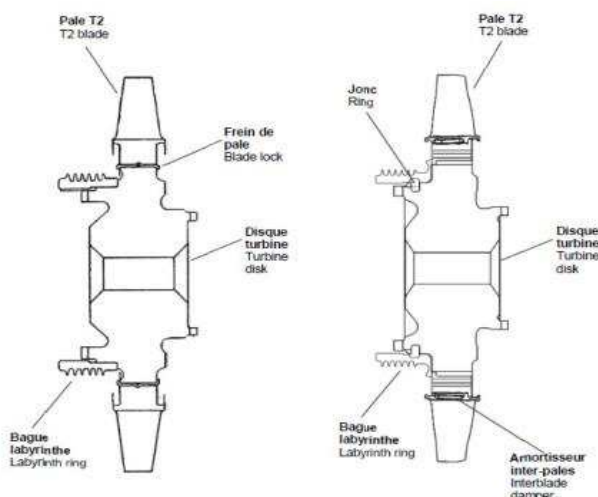
2.6.1 Modificações no Arriel1

O motor Arriel1 sofreu diversas modificações desde a sua criação, o fabricante denomina essas modificações como TU (Temporary Update), as TU's podem ser recomendadas, ou seja, o operador não tem a obrigação de aplicá-la; ou mandatória, a qual o operador deve obedecer o SB (Boletim de Serviço) que determina a aplicação da modificação.

2.6.2 T.U. 347

A aplicação da TU347 determina a substituição do disco do 2º estágio da turbina do gerador de gás do motor Arriel 1D1, motor que equipa a aeronave AS350 (Esquilo), as modificações descritas no boletim de serviço SB A292 72 0347 são novas palhetas, eliminação das travas das palhetas, aplicação de amortecedores entre palhetas sob as plataformas, novo anel labirinto e adição de um anel para bloqueio axial do anel labirinto; com essas modificações eliminou-se algumas inspeções, com o intuito de facilitar a manutenção, a figura 12 e figura 13, demonstram as diferenças físicas entre as turbinas pré TU 347 e pós TU347.

Figura 12 - diferença entre os estágios antes e após aplicação da modificação



Fonte: Manual de Manutenção, 2018

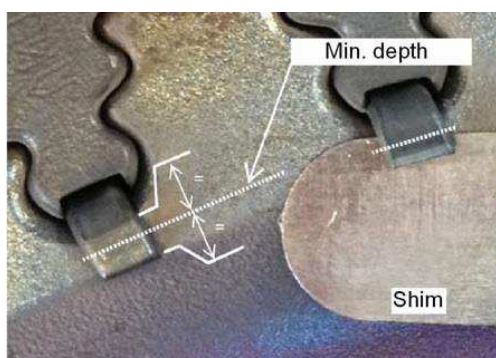
Figura 13: Turbinas pré e pós aplicação da TU 347



Fonte: O Autor, 2018

Uma das inspeções que foi eliminada foi a medida da folga da trava das palhetas, ilustrada na Figura 14, inspeção que necessita da desmodulação do motor e a desmontagem do módulo, ou seja, um nível de manutenção profundo para poder ser realizada, e segundo o manual de manutenção, se a folga for maior que 0,15 mm, é necessário enviar a turbina para o fabricante.

Figura 14: Medida da folga das travas

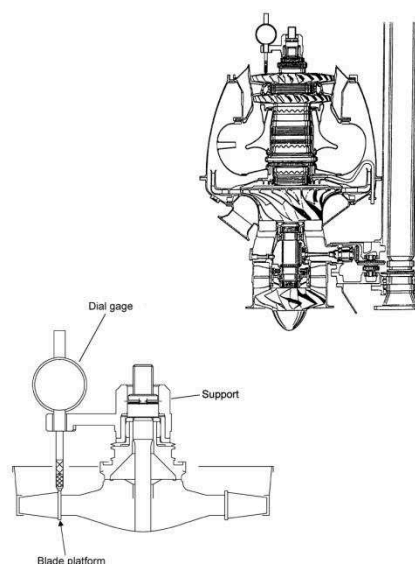


Fonte: Manual de Manutenção

Outra inspeção que foi eliminada, foi a medida da altura das palhetas da turbina do segundo estágio, como mostra a Figura 15 e Figura 16, segundo o

manual de manutenção, a inspeção necessita a desmodulação do motor, e que se a diferença das medidas forem maior que 0,40mm, exige a troca da turbina.

Figura 15 - Medida da altura das palhetas de T2



Fonte: Manual de Manutenção

Figura 16 - Medida da altura das palhetas de T2



Fonte: O Autor, 2018

O SB A292 72 0347 não determina um prazo para aplicação dessa modificação, porém ele informa que é em conformidade com o SB A292 72 0807, e que juntamente é necessária a aplicação da SB No. 292 72 0355.

O SB No. 292 72 0355 informa que para aplicação da TU347, é necessário medir o diâmetro do Distribuidor de gás, de acordo com a medida, é necessário substituir por outra com diâmetro compatível com a nova turbina.

O SB A292 72 0807 determina a aplicação da TU 347, e limitando a pré TU 347 em 1200 horas ou 3500 ciclos desde novo, porém nesse caso esse SB exige que a inspeção de medida de altura das palhetas da turbina T2 seja realizada a cada 150 horas de voo, e ainda define que se o módulo 3 ou o motor, como um todo, for enviado por qualquer motivo para o centro de reparo com mais de 900 horas desde novo, será obrigatório a aplicação da TU347.

Porém um SB 292 72 0849 foi expedido tempos depois devido a três ocorrências prevendo a substituição de um lote de turbina devido a não conformidades durante a fabricação das turbinas da TU347, gerando a TU365.

Não foi fornecidas informações pelo fabricante sobre as três ocorrências que ocasionaram a gerar a nova TU, de acordo com a SL 2771/10/ARRIEL1, informa que foi detectado desintegração metalúrgica e restringe o número de ciclos de vida da turbina.

O SB A292 72 0831 informa que foi realizado uma inspeção em algumas turbinas por Corrente Foucault (uma corrente elétrica é induzida em um material condutor com intuito de identificar trincas e falhas do material, conhecido também como EddyCurrent), e limita as turbinas que realizaram a inspeção por Corrente Foucault e as que não realizaram, no caso das que realizaram devem ser substituídas pela TU365 antes de 6.500 ciclos e as que não realizaram devem ser substituídas antes de 4.000 ciclos.

3. Metodologia

Este capítulo descreve como foi realizada a pesquisa exploratória a respeito do tema, os meios utilizados para a coleta de dados, o local de coleta de informações e os participantes no processo de obtenção de material para análise.

A pesquisa exploratória envolve um levantamento da bibliografia, entrevistas com pessoas que tenha conhecimento amplo do assunto, pesquisas de campo e análise de exemplos que facilitam a compreensão do tema.

O estudo de caso possui uma abordagem qualitativa e foi realizada na oficina de motores do Batalhão de Manutenção e Suprimento de Aviação do Exército, na cidade de Taubaté, estado de SP. A oficina de motores é uma seção onde são feitas as manutenções em motores aeronáuticos da Aviação do Exército. O contexto no qual foi realizada a pesquisa dos dados e, predominantemente, um ambiente de manutenção aeronáutica, no qual são realizadas inspeções em propulsores utilizados em helicópteros da força terrestre, local este em que estes motores são desmodulados e é feita a análise e a respectiva intervenção para o correto funcionamento em suas diversas partes.

A pesquisa realizada na oficina utilizou como base o motor aeronáutico ARRIEL 1D1, no qual foram analisados e pesquisados os manuais e documentos utilizados na manutenção deste propulsor. Estes manuais de manutenção seguem um padrão internacional de organização chamado ATA 100, no qual cada volume do manual é direcionado para uma parte específica do motor. Os integrantes da oficina de motores nos auxiliaram com informações técnicas e suporte para a realização das diversas etapas de coleta de dados, fornecendo manuais para pesquisa e vasta documentação inerente ao estudo de caso que nos propusemos a realizar.

Foi realizada pesquisas na documentação referente a TU 347 e usou-se como ferramenta de estudo a observação da aplicação dessa modificação nos motores da frota da AVEX. Por meio de entrevistas com o militar responsável pelo contato entre a empresa externa representante da SAFRAM no Brasil e o Batalhão de Manutenção e Suprimento de Aviação do Exército, o qual forneceu dados a respeito dos percentuais de economia em recursos gerados pela implementação dessa modificação no âmbito da AVEX.

O objetivo do estudo de caso é analisar se a modificação foi segura e bem sucedida para o funcionamento do motor e, além disso, verificar se essa modificação foi mais econômica para a manutenção dos motores ou se após essa intervenção a instituição teria gasto mais recursos com outras manutenções que fossem geradas após a aplicação da TU347. Verificou-se também que a aplicação dessa modificação gerou a posterior aplicação de outra modificação para sanar alguns problemas em um lote de peças que foram disponibilizadas para a instalação em motores ao redor do mundo, e que essa segunda intervenção foi aplicada em todos os motores em que teriam sido aplicadas a primeira modificação, aquela que leva o nome de nosso estudo de caso.

Ao utilizar a documentação técnica do fabricante do motor como meio de consulta, foi tomado especial cuidado ao correto entendimento dos métodos de manutenção para que ficasse o mais claro possível os nossos resultados, e estes de acordo com a orientação do fabricante.

Buscou-se, em todas as etapas da coleta de dados, discutir e debater sobre os resultados como meio de minimizar possíveis erros de interpretação de manuais ou dos resultados propriamente ditos depois de realizado o estudo de caso.

Outro aspecto no qual se teve muito atenção durante todo o procedimento de coleta de dados foi com os períodos de manutenção e seus respectivos cumprimentos, os quais são orientados, no caso da AVEX, por rígidos critérios de controle e que são perfeitamente cumpridos dentro desses prazos. Estes procedimentos são de uma grande importância e nos ajudaram a compreender de uma forma mais efetiva a relevância da manutenção, não só no meio aeronáutico, mas também numa fábrica por exemplo.

Por fim houve um grande esforço para buscar resultados satisfatórios aos nossos questionamentos no que diz respeito à economia gerada por essa modificação, aplicada ao motor ARRIEL 1D1, o que era, desde o início, um dos mais importantes objetivos.

4 Resultados e Discussões

4.1 Análises de Manutenção

Com base no Manual de Manutenção do Motor Arriel 1D1, verificou-se todas as manutenções no que diz respeito ao 2º estágio da turbina do gerador de gases antes da aplicação da TU 347, inspeções que dependiam de um acompanhamento contínuo, no caso de medida de altura das palhetas da T2, quando a diferença era superior a 0,40 mm era necessário substituir e com o SB 292 72 0807 determina que essa inspeção deva ser feita a cada 150 horas de voo. Outra inspeção era a medida de folga das travas das palhetas, se a folga fosse maior que 0,15mm, o manual determina que a turbina seja enviada para o fabricante, inspeções essas que pós a aplicação de TU347 foram extintas, porém houve outra modificação, a TU365 devido a desintegração metalúrgica de alguns lotes da TU347, e também uma diminuição do tempo de vida que antes das TU's era 10.000 ciclos e passou a ser após as TU's, 6.500 ciclos.

Com isso, houve uma análise dos custos de manutenção pré e pós aplicação da TU347 para verificar a viabilidade financeira. De acordo com o fabricante o custo para desmodular o motor é em torno de U\$200.000,00 (Duzentos Mil Dólares), sem contar as inspeções necessárias e a troca de componentes sistemáticos, como porcas, arruelas, parafusos, O'rings, entre outros, elevando os custos para essa manutenção.

Foi feita uma negociação entre exército e Safran para a substituição das turbinas da TU347, as turbinas pré TU347 que estavam em bom estado, foi feito um cálculo com o tempo de vida ainda sobressalente e descontado no valor da nova turbina, pois o exército tem capacidade e qualificação para realizar uma manutenção profunda. Já os operadores civis dependem da mão de obra do fabricante para realizar essa modificação, acarretando em custos mais elevados.

Com os imprevistos da TU347 que gerou a TU365, as turbinas pós TU347 que realizaram a inspeção por Corrente Foucault teve seu ciclo de vida mantido de 6500 ciclos, sem prejuízos para os operadores, porém as que não realizaram tiveram que ser substituídas a 4000 ciclos, ocasionando prejuízo para os operadores.

O fabricante não pôde passar informações relativas à desempenho dessa nova turbina, e nem o que foi alterado entre a TU347 para a TU365, o que se nota é uma alteração da coloração entre elas, tendo a TU365 tons azulados.

4.2 Motivo da aplicação da TU347

De acordo com os relatos de militares da Seção de Motores da Aviação do Exército, as turbinas pré TU347 raramente atingiam o tempo de vida de 10.000 ciclos, pois as inspeções realizadas de medida de altura das palhetas de T2 e as medidas de folga das travas aconteciam frequentemente, com isso era enviado ao fabricante, para a possível troca do conjunto de palhetas, porém quando realizava outras inspeções mais profundas, detectava anomalias no disco devido ao excesso de vibração das palhetas, ocasionando no descarte da turbina e a necessária aquisição de uma nova.

4.3 Resultados

Somente os relatos dos técnicos nos faz compreender que no final se obteve vantagens. O operador civil, que depende diretamente do fabricante para realizar as manutenções tiveram maiores benefícios, mesmo com a falha da TU347 e a geração da TU365, com a eliminação de inspeções das medidas de folga das travas das palhetas da T2 e as medidas da altura das palhetas de T2, que eram as principais causas de troca da turbina, e demandavam maiores custos para o operador, agora o operador consegue manter o motor operando por maior tempo consecutivo, com menos paradas para manutenção, e mesmo para os operadores militares, que tem uma oficina com capacidade técnica de realizar essas manutenções pré TU's, obtiveram a vantagem de não ter que parar o motor para essas manutenções.

5. CONCLUSÃO

A realização deste estudo de caso é de grande importância para a compreensão, aplicação e desenvolvimento de métodos e supervisão em atividades de manutenção, processos estes que estão relacionados às matérias estudadas durante a graduação. A análise de manuais técnicos e boletins de serviço proporcionou um maior conhecimento dos níveis de manutenção adotados, das atividades envolvidas e que são necessárias na instalação de uma modificação em um componente muito complexo, que é o caso de uma turbina aeronáutica de grande performance.

A modificação de qualquer projeto geralmente é por necessidade, em busca de melhorar algo, e houve um embate quando uma modificação aplicável diminuiu o tempo de vida do componente, o questionamento em cima dessa modificação é, por que eu (operador) tenho que aderir essa modificação se essa diminui o tempo de vida do componente que antes era 10.000 ciclos e agora 6.500 ciclos?

E este estudo mostrou exatamente as vantagens obtidas, o que pareceu que poderia ocasionar prejuízo para os operadores inicialmente, se demonstrou uma vantagem de evitar gastos com manutenção.

Devido as restrições do fabricante que não pôde fornecer maiores informações, referente a performance e até mesmo custos, não se pode mensurar em valores as reais vantagens desse estudo.

REFERÊNCIAS

- AIRCAV. **T-53-L-13 Gas Turbine Engine**, 2013. Disponível em: <<http://www.aircav.com/huey/T53-13.html>> .Acesso em 20 nov. 2018.
- AVIATION HISTORY ONLINE MUSEUM. **Jumo 004**, 2015. Disponível em: <<http://www.aviation-history.com/engines/jumo004.html>>. Acesso em 31 out. 2018.
- _____. **Lycoming T53**, 2016. Disponível em: <<http://www.aviation-history.com/engines/t53.html>>. Acesso em 30 out. 2018.
- AVIÕES MILITARES. **Messerschmitt Me 262 Schwalbe / Sturmvogel**, 2015. Disponível em: <<http://asasdeferro.blogspot.com/2015/07/messerschmitt-me-262-schwalbesturmvogel.html>>. Acessado em 19 nov. 2018.
- BAI, X. S. **Lecture 11. Turbulent Combustion in Gas Turbine Engines**. 2018. Disponível em: <http://www.lth.se/fileadmin/fm/Education/Courses/Combustion/Lect11_gasturbine.pdf>. Acesso em 22 nov. 2018.
- BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil. **Instrução Suplementar 145.109-001**. Publicações técnicas: obtenção, controle e emprego nas empresas de transporte aéreo e de manutenção aeronáutica. Brasília, 2009.
- DUTRA, Luiz Costa e Silva. **Glossário aerotécnico**: inglês-português. São Paulo: Traço, 1979.
- EOLÍPILA. In: **Wikipédia**: a enciclopédia livre. 2018. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Eolípila>>. Acesso em: 12 nov. 2018.
- ESCOBAR, J. Turbine Engine History. **AviationPros**, 2006. Disponível em: <<https://www.aviationpros.com/article/10383708/turbine-engine-history>>. Acesso em 14 out. 2018.
- FAMOUS INVENTORS. **John Barber**: Biography, inventions and facts, [201-?]. Disponível em: <www.famousinventors.org/john-barber>. Acesso em 26 set. 2018.
- FLIGHT. **Theseus... first to pass type test!**, 17 abr. 1947. Disponível em: <<https://www.flightglobal.com/pdfarchive/view/1947/1947%20-%200602.html>>. Acesso em 24 nov. 2018.
- _____. **Bristol Theseus**, 8 set. 1949, p. 313. Disponível em: <<https://www.flightglobal.com/pdfarchive/view/1949/1949%20-%201549.html?search=first%20free%20turbine>>. Acesso em 24 nov. 2018.
- _____. Lycoming T55. **AERO ENGINES 1959**, 20 mar. 1959, p. 406. Disponível em: <<https://www.flightglobal.com/pdfarchive/view/1959/1959%20-%200813.html?search=T55>>. Acesso em 24 nov. 2018.

GAS Turbine Engine. In: **RitchieWiki**. Ritchie Bros. Auctioneers, 2009. Disponível em: <http://www.ritchiewiki.com/wiki/index.php/Gas_Turbine_Engine>. Acesso em: 9 nov. 2018.

HUGHES, J.; MURRAY, L.. **Final Report: Accident to (Aerospatiale) Eurocopter AS 350B1, EI-IHL**. AAIU Formal Report No: 2009-006, 2009. Disponível em: <http://www.aaiu.ie/sites/default/files/report-attachments/12816-REPORT_2009_006-0_0.pdf>. Acesso em 23 nov. 2018.

MACTIERNAN, K.; COSTANZA, L.; KLIPPEL, A. **The Aircraft Maintenance Technicians Association**. [200-?]. Disponível em: <<http://www.amtausa.com>>. Acesso em 19 nov. 2018.

MAINTENANCE. In: **Cambridge Dictionary**. Cambridge University Press, 2018. Disponível em: <<https://dictionary.cambridge.org/pt/dicionario/ingles/maintenance>>. Acesso em: 26 nov. 2018.

MARTINELLI JUNIOR, L. C. Maquinas termicas 2. **Ebah**, 2002. Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAABbfcAH/maquinas-termicas-2?part=3>>. Acesso em 20 nov. 2018.

MEHER-HOMJI, C. B. The Historical Evolution Of Turbomachinery. In: **Proceedings of the 29th Turbomachinery Symposium**. Texas A&M University. Turbomachinery Laboratories, 2000.

MEYER, A. The Combustion Gas Turbine: Its History, Development, and Prospects. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers**, v. 141, n. 1, p. 197–222, 1939.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION – NASA. Glenn Research Center. **Turbine Engine Thermodynamic Cycle**. NASA Oficial, 2005. Disponível em: <www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/brayton.html>. Acesso em 24 out. 2018.

NATIONAL AIR AND SPACE MUSEUM. **Whittle W.1X Engine**, 2018. Disponível em: <<https://airandspace.si.edu/collection-objects/whittle-w1x-turbojet-engine>>. Acesso em 22 nov. 2018.

OLIVEIRA, R. B. A história do Mecânico de Aeronaves. **Piloto Policial**, 2015. Disponível em: <<https://www.pilotopolicial.com.br/historia-mecanico-de-aeronaves/>>. Acesso em 26 out. 2018.

SAFRAN HELICOPTER ENGINES. **Turbomeca marks 40th anniversary of Arriel's first flight**. 2014. Disponível em: <<https://www.safran-helicopter-engines.com/media/turbomeca-marks-40th-anniversary-arriels-first-flight-20141207>>. Acesso em 07 nov. 2018.

_____. **Arriel 1D1 / 1E2**. [2018?]. Disponível em: <<https://www.safran-helicopter-engines.com/helicopter-engines/lower-1000-shp/arriel/arriel-1d1/1e2>>. Acesso em 07 nov. 2018.