

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Karla Andrade Rufino
Raissa de Moura Cursino Campos

**Análise de corrosão no parafuso de fixação da
deriva da Aeronave AS365K(Pantera)**

Taubaté - SP
2018

**Karla Andrade Rufino
Raissa de Moura Cursino Campos**

**Análise de corrosão no parafuso de fixação da
deriva da Aeronave AS365K(Pantera)**

Trabalho de Graduação apresentado para
obtenção do Certificado de Graduação do
curso de engenharia mecânica do
Departamento de Engenharia Mecânica
da Universidade de Taubaté.

Orientador: Prof. Pedro Augusto Silva
Alves

**Taubaté – SP
2018**

SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU

C198a Campos, Raíssa de Moura Cursino
Análise de corrosão no parafuso de fixação da deriva da Aeronave
AS365K(Pantera) / Raíssa de Moura Cursino Campos; Karla Andrade Rufino.
-- 2018.
62 f. : il.

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

Orientação: Prof. Pedro Augusto Alves, Departamento de Engenharia
Mecânica.

1. Aeronave. 2. Corrosão. 3. Vibração. I. Título. II. Rufino, Karla
Andrade. III. Graduação em Engenharia Mecânica.

CDD – 620.11223

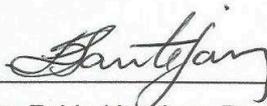
Ficha catalográfica elaborada por Shirlei Righeti – CRB-8/6995

**Karla Andrade Rufino
Raissa de Moura Cursino Campos**

**Análise de corrosão no parafuso de fixação da deriva da Aeronave
AS365K(Pantera)**

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

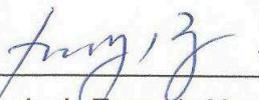


Prof. Me. Fabio Henrique Fonseca Santejani
Coordenador de Trabalho de Graduação

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Pedro Augusto Silva Alves
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



Prof. Me. Paulo de Tarso de Moraes Lobo
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

23/10/2018

Dedicamos este trabalho a Deus, a nossa Família e amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus que me concedeu saúde, força e disposição para cursar a faculdade e concluir este trabalho.

À minha família, minha Mãe Maria, meu Pai José Carlos, minha irmã Kalindy e meu irmão João por sempre acreditarem na minha capacidade e sempre estarem ao meu lado me dando apoio em todos os momentos da minha vida. Sem vocês nada disso seria possível, vocês são meu alicerce, minha razão de viver.

Ao meu esposo Douglas por me dar todo apoio necessário, por me compreender nos momentos difíceis, por sempre me acalmar e me dizer que vai dar tudo certo, e graças a Deus estamos quase no fim dessa caminhada, afinal a vitória não é só minha é dele também.

À minha amiga Raissa de Moura Cursino Campos pelo companheirismo neste trabalho de graduação, pela dedicação durante as pesquisas fazendo com que este trabalho fosse concluído com êxito.

Aos meus amigos por compreenderem meus momentos de ausência e sempre torcerem por mim.

Aos meus professores e em especial ao meu orientador Prof. Pedro Augusto Silva Alves que deu todo apoio necessário para que este trabalho fosse concluído.

*Karla Andrade Rufino
Setembro 2018*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade de Taubaté por proporcionar as ferramentas necessárias para a realização do meu sonho de graduação em engenharia.

Agradeço ao nosso orientador, Prof. Pedro Augusto Silva Alves por nos incentivar e apoiar durante a realização deste trabalho.

Agradeço à minha amiga e companheira de trabalho de graduação, Karla Andrade Rufino cujas ideias eram semelhantes as minhas e a nossa dedicação transformou este projeto em algo realmente satisfatório de executar.

Agradeço à minha noiva, Betina Mariotto pela paciência, apoio e amor a mim dispensados sem os quais a conclusão desta graduação e trabalho não seria possível.

*Raissa de Moura Cursino Campos
Setembro 2018*

“Uma vez que você tenha experimentado voar, você
andarรก pela terra com seus olhos voltados para c茅u,
pois lรก vocę esteve e para lรก vocę desejarรก voltar.”
(LEONARDO DA VINCI)

RESUMO

Corrosão é um processo de degradação inverso ao metalúrgico onde o metal tende a espontaneamente retornar a sua condição de origem sendo o produto da corrosão semelhante ao seu minério. Na manutenção de aeronaves a corrosão afeta diretamente a segurança de voo. Contudo, neste trabalho de dissertação, observa-se a ocorrência da corrosão no parafuso de fixação da deriva vertical da aeronave AS 365K durante suas inspeções periódicas de 600 horas de voo ou 24 meses. Então, analisando as características do metal e as condições operacionais da aeronave foram levantadas prováveis causas para a deterioração do parafuso. Assim, foi realizado um teste de vibração em uma aeronave modelo e os resultados foram estudados com o intuito de confirmar a teoria inicial proveniente do conhecimento dos mecânicos da aeronave. A metodologia utilizada no trabalho foi baseada em uma pesquisa exploratória de um caso específico, levantando hipóteses e relacionando-as com pesquisas bibliográficas. Depois da aplicação do teste de vibração foi possível realizar uma comparação dos níveis vibratórios aceitáveis determinados pelo fabricante da aeronave em questão com a teoria existente sobre corrosão por atrito e assim sugerir a implementação de melhorias que levem ao controle do processo de corrosão analisado auxiliando a manutenção e contribuindo para a segurança de voo.

Palavras-chave: Corrosão. Aeronave. Vibração.

ABSTRACT

Corrosion is a process of degradation inverse to the metallurgical where the metal tends to spontaneously return to its original condition being the product of corrosion similar to its ore. In aircraft maintenance the corrosion affects directly flight safety. However, in this dissertation work, it is observed the occurrence of corrosion on the vertical fin fixing bolt of the AS 365K aircraft during its periodic inspections of 600 flight hours or 24 months. So, analyzing the metal characteristics and the aircraft operational conditions probable causes to the bolt deterioration have been raised. Thus, a vibration test was performed on a model aircraft and the results were studied with the purpose of confirming the initial theory from the knowledge of the aircraft mechanics. The methodology used on this work was based on an exploratory research on a specific case, raising hypotheses and relating them with bibliographic research. After the application of the vibration test was possible to perform a comparison of acceptable vibratory levels determined by the manufacturer of the aircraft in question with the existent theory about fretting corrosion and so suggest the implementation of improvements that lead to the control of corrosion process analyzed assisting the maintenance and contributing to the flight safety.

Keywords: Corrosion. Aircraft. Vibration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dimensões da Anv AS365K.....	17
Figura 2 - Empenagem da Anv AS365K	18
Figura 3 - Procedimento de remoção da Deriva.....	19
Figura 4 - Algumas formas de corrosão	22
Figura 5 - Parafusos da junção da deriva da Aeronave AS365K	25
Figura 6 - Acelerômetro instalado na cabine de passageiros (A), Acelerômetro instalado na cabine do copiloto (B)	28
Figura 7 - Acelerômetro instalado na caixa de transmissão traseira	29
Figura 8 - Acelerômetro instalado na deriva.....	30
Figura 9 - Pick-up magnético instalado no mastro do rotor	31
Figura 10 - Spectrum da deriva vertical.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição de acordo com o PN.....	26
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/T	Alpha/ Tango
Anv	Aeronave
BLAR	Baixa Liga Alta Resistência
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
IPS	<i>Inch per square</i>
MET	Manual de manutenção
NACE	<i>National Association of Corrosion Engineers</i>
MIL-PRF	<i>Military Performance Specification</i>
RPM	Rotações por minuto

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	HELICOPTERO	16
2.1.1	Definição.....	16
2.1.2	Principais partes do helicóptero AS 365K e suas funções.....	17
2.1.3	Inspeção	18
2.2	CORROSÃO.....	20
2.2.1	Conceito e importância	20
2.2.2	Tipos de corrosão	21
2.2.3	Deteccção.....	22
3	METODOLOGIA	24
4	DESENVOLVIMENTO	25
4.1	ANÁLISE DE VIBRAÇÃO	27
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
6	CONCLUSÃO	35
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	36
	REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

Corrosão é um processo de deterioração do material que pode resultar em falhas por fadiga, desgaste, perda de resistência mecânica, sendo considerado um fator de alto risco em indústrias de ramos automobilístico, ferroviário, naval e principalmente aeronáutico.

Como citado na publicação de Gentil:

“A indústria aeronáutica tem grande preocupação com a manutenção de aviões e helicópteros para evitar, ou minimizar, processos de deterioração que poderiam causar custos diretos elevados e a perda da vida humana. Pode-se citar o caso de três aviões Comet que, em, 1952, se desintegraram em pleno voo, devido à fadiga de materiais, e de um Boeing-737-200, da Aloha Airlines, que em 1988, perdeu parte de sua fuselagem, também em pleno voo, causando a morte de um tripulante, mas com o piloto conseguindo, milagrosamente, aterrissar esse avião em uma ilha do Havaí sem maiores danos para os passageiros. Nesse último caso ocorreu a ação combinada de tensões cíclicas e corrosão atmosférica em meio semitropical” (GENTIL, 1996, p. 2).

A corrosão é um problema relativamente novo, ou seja, recém-descoberto e recém-considerado nos diversos setores. O primeiro congresso realizado sobre corrosão metálica ocorreu na Inglaterra em 1961 e desde então é repetido a cada três anos. A finalidade de se estudar as diversas formas de corrosão e ambientes de propagação se faz devido ao alto custo que a corrosão trás para a indústria sendo ela de qualquer setor e também a questão da segurança. Particularmente na indústria aeronáutica vale ressaltar a segurança de voo, item que deve ser abordado periodicamente nas organizações e levado em consideração em qualquer inspeção de manutenção para que sejam evitados acidentes aéreos.

Geralmente os fabricantes de aeronave ao entregarem uma aeronave nova entregam manuais diversos e dentre eles um específico sobre corrosão referente aquela aeronave se este existir. Caso este não seja o caso, as organizações regulamentadoras da atividade aérea de cada país possuem normas a serem seguidas com o intuito de investigar, minimizar e tratar processos de corrosão. Por exemplo, a FAA (Agência Americana de Aviação) possui uma norma circular datada

de 1991 que busca orientar os operadores quanto à identificação e tratamento do ataque corrosivo em estruturas aeronáuticas e matérias do motor.

Este trabalho tem por objetivo estudar os parafusos da junção da deriva da Aeronave AS365K (Pantera) que são fabricados a partir de uma liga metálica. Eles são conectados na deriva unindo a estrutura superior (deriva vertical) na inferior (Fenestron) através de orifícios com buchas metálicas e são presos por porcas com contra pinos.

Durante a manutenção programada da aeronave remove-se a deriva para inspeção, sendo o intuito da mesma procurar por trincas, mossas, descolamentos, corrosão na parte interna do conjunto Deriva/Fenestron e avaliar o estado dos componentes de fixação. O parafuso de fixação quando removido é constante a presença de corrosão sendo muitas vezes impossível o retrabalho ocasionando na perda do parafuso e troca por um novo. A ideia de abordar este tema veio da experiência dos mecânicos que constataram um problema recorrente apresentado durante a manutenção da aeronave Pantera.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 HELICOPTERO

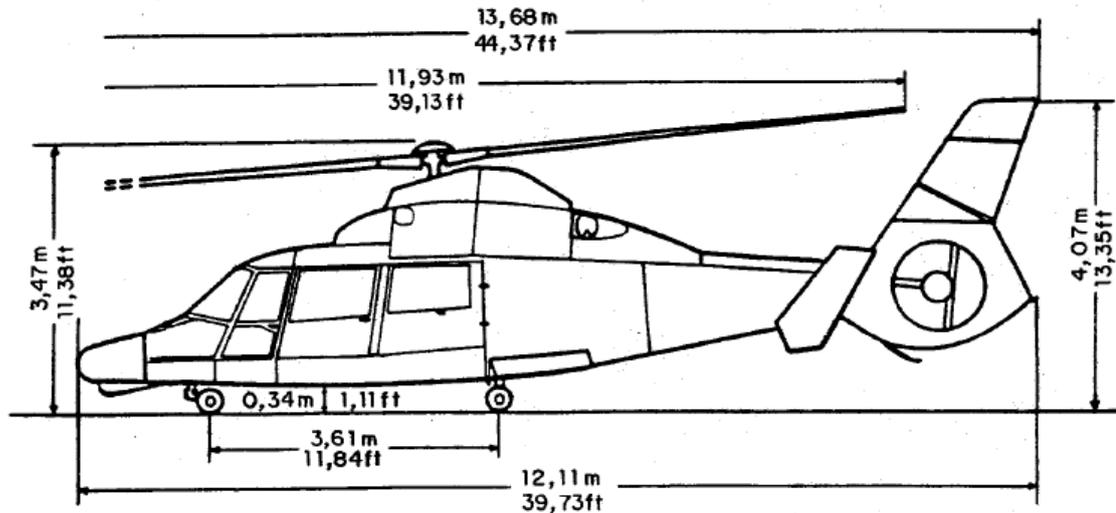
2.1.1 Definição

Uma das diferenças entre um helicóptero e uma aeronave de asas fixas é a principal fonte de sustentação. A aeronave de asa fixa deduz sua sustentação da superfície de um aerofólio (corpo de formato aerodinâmico capaz de gerar sustentação e não criar arrasto excessivo quando atravessa o ar) fixo, enquanto um helicóptero deriva sustentação de um aerofólio rotativo, denominado rotor. A palavra helicóptero vem de uma palavra grega, significando “asa rotativa” (IAC, 2002).

O helicóptero é um meio de transporte de passageiros e de carga com capacidades muito diferentes de um avião convencional por ter a habilidade de executar o chamado voo pairado e sendo assim não necessitar de uma pista para sua decolagem e pouso (IAC,2002).

O helicóptero abordado nesta monografia será o AS 365K (Pantera) que realiza funções de transporte de passageiros, reconhecimento e de busca e salvamento. Suas dimensões, especificadas no THM da aeronave, podem ser vistas na Figura 1, sendo que neste estudo a dimensão de maior importância é a altura. Pantera no solo possui 4,07 m de altura, medida esta entre suas rodas e o ponto mais alto: sua deriva superior (HELIBRÁS, 2012).

Figura 1 - Dimensões da Anv AS365K

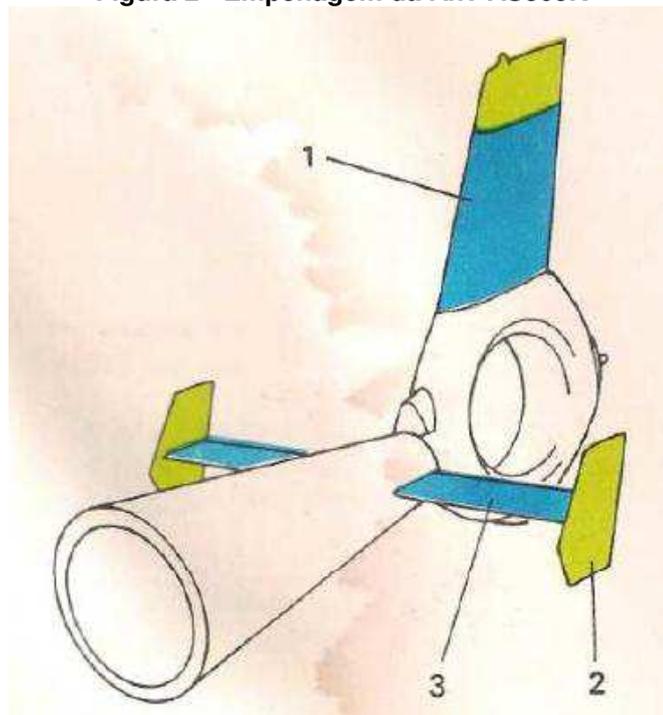


Fonte: Helibrás (2012)

2.1.2 Principais partes do helicóptero AS 365K e suas funções

O rotor traseiro é do tipo “Fenestron” ou seja, rotor carenado, sua função é equilibrar o torque proveniente do rotor principal e controlar a aeronave em torno do seu eixo de guinada. O rotor principal é composto pelo mastro, cabeça do rotor e quatro pás cuja função é gerar a sustentação necessária ao voo (HELIBRÁS, 2012).

A empenagem é constituída por: uma deriva superior, item 1 figura 2, um estabilizador horizontal fixo, item 3 figura 2, e duas derivas laterais, item 2 figura 2, presas ao estabilizador horizontal. Estas superfícies submetidas ao vento relativo tendem à se opor as mudanças de atitude da aeronave e trazer a aeronave a atitude original quando dela se afastar. A deriva superior pode ser dobrada a fim de reduzir sua altura (HELIBRÁS, 2012).

Figura 2 - Empenagem da Anv AS365K

Fonte: Helibrás (2012)

2.1.3 Inspeção

Segundo definição do dicionário Michaelis (2002) inspeção é a ação de ver, de olhar, de examinar, de verificar: inspeção realizada para detectar problemas.

Durante a vida útil de um helicóptero são realizadas várias inspeções, elas podem ser horárias que levam em consideração o número de horas/ciclos de voo ou calendárias contadas em meses. A ABNT NBR 5462 (1994) define manutenção como sendo um conjunto de ações técnicas destinadas a recolocar um item em uma condição em que possa executar uma função requerida. Manutenção pode ser classificada em:

- a) corretivas: realizadas após a falha do componente;
- b) preventivas: É uma intervenção programada realizada em intervalos pré-determinados ou de acordo com critérios prescritos destinados a reduzir a probabilidade de falha;
- c) "preditivas: "Manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de

análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva”. NBR 5462 (1994)

O fabricante da aeronave AS365K tem um manual de manutenções recomendadas e previstas que devem ser realizadas conforme uma periodicidade (HELIBRÁS, 2012).

A inspeção da deriva superior do AS365K é realizada em toda A/T (nome dado a inspeção quando sua periodicidade é de 500 horas ou 24 meses). A primeira parte da inspeção consiste na remoção da deriva e para realizar esse procedimento o mecânico de manutenção aeronáutica segue o manual de manutenção (MET) do fabricante, antiga Eurocopter atual AIRBUS. Um extrato do procedimento de remoção da deriva superior pode ser visto na Figura 3 (HELIBRÁS, 1992).

Figura 3 - Procedimento de remoção da Deriva

F. Procedimento

Figura 401

(1) Remover o conjunto da deriva superior PRÉ MOD 0754B40. (Figura 401)



**FERRAGENS DOBRÁVEIS NÃO PODEM SER
INSTALADAS COM FERRAGENS FIXAS.**

- (a) Remover as barras de fechamento dianteira (1) e traseira (5): parafusos (2) e arruelas (3) (DETALHE A).
 - (b) De acordo com o eixo de travamento (Y) (DETALHE A), remover:
 - 1 parafuso rosqueado (10) nas ferragens dianteiras (15): contrapino (13), porca (12) e arruela (11).
 - 2 parafuso rosqueado (6) nas ferragens traseiras (14): contrapino (9), porca (8) e arruela (7).
 - (c) Sucatear os contrapinos (9) e (13).
 - (d) Inclinar o conjunto da deriva superior (4) para a direita (eixo de articulação Y’).
 - (e) Desacoplar o conector elétrico (19) da luz anticolisão.
 - (f) Desacoplar a trança de metalização (16): parafuso (17) e arruela (18).
 - (g) Soltar o conjunto da deriva superior (4) da carenagem (20) de acordo com o eixo de articulação (Y’) (DETALHE A):
 - 1 parafuso rosqueado (10) na ferragem dianteira (15): contrapino (13), porca (12) e arruela (11),
 - 2 parafuso rosqueado (6) na ferragem traseira (14): contrapino (9), porca (8) e arruela (7),
 - 3 sucatear os contrapinos (13) e (9).
- (2) Remoção do conjunto da deriva superior PÓS MOD 0754B40. (Figura 402)

NOTA

O conjunto da deriva superior (7) deve ser removido em seus pontos de fixação no lado da carenagem do fenestron (8) (DETALHE B).

- (a) Remover as barras de fechamento dianteira (1) e traseira (2) (DETALHE A):

Fonte: Helibrás (1992) – adaptado pelo autor

Após a remoção é que se inicia a inspeção real do componente, também seguindo o manual de manutenção da aeronave AS365K. O manual delimita as áreas nas quais o mecânico deve realizar uma inspeção visual e verificar se as ferragens de fixação da deriva e o respectivo parafuso não possuem trincas, deformações e corrosão (HELIBRÁS, 2012).

2.2 CORROSÃO

2.2.1 Conceito e importância

Corrosão pode ser definida como um processo de degradação total, parcial, superficial ou estrutural de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica devido ao meio em que ele se encontra, podendo ou não estar aliada a esforços mecânicos. A degradação causada pela corrosão pode trazer consequências para o material em questão afetando sua durabilidade e confiabilidade tornando-o inadequado para uso, como por exemplo, desgaste, fadiga e modificação de propriedades mecânicas (GENTIL, 1996).

De acordo com Gentil (1996) a corrosão é em geral um processo espontâneo, se não for utilizado um mecanismo protetor, com o tempo ocorrerá a destruição do material de modo que a durabilidade e desempenho do mesmo deixará de satisfazer o fim para que foi destinado.

Com exceção de alguns metais nobres, como o ouro, que podem ocorrer no estado elementar, os metais são geralmente encontrados na natureza em forma de compostos, sendo comuns as ocorrências de óxidos e sulfetos metálicos. Os compostos que possuem conteúdo energético inferior aos dos metais são relativamente estáveis. Sendo assim, os metais têm tendência a reagir espontaneamente com os líquidos ou gases do meio ambiente em que são colocados. Por exemplo, o ferro se “enferruja” quando exposto ao ar e na água (GENTIL, 1996).

Segundo Gentil (1996), podemos também relacionar a corrosão como o processo inverso ao metalúrgico. O processo metalúrgico tem a função de extrair o

metal a partir de seus minérios e outros compostos, já o processo de corrosão tende a restaurar o metal a sua configuração inicial sendo o produto da corrosão bem semelhante ao seu minério original.

Historicamente o assunto corrosão é relativamente novo, a associação mais conhecida mundialmente a *NACE (National Association of Corrosion Engineers)* foi fundada em 1944, a primeira conferência na qual o tema corrosão foi abordado aconteceu em 1949 onde foi apresentada uma estimativa do custo da corrosão nos Estados Unidos de cerca de 5,5 bilhões de dólares por ano (GENTIL, 1996).

A corrosão é um problema frequente em diversas áreas: automobilística, aeronáutica, naval, transportes ferroviários, construção civil, telecomunicações, odontologia, medicina dentre outros. Não é um problema único e exclusivo de metais, também pode acontecer espontaneamente em polímeros e estruturas de concreto armado (GENTIL, 1996).

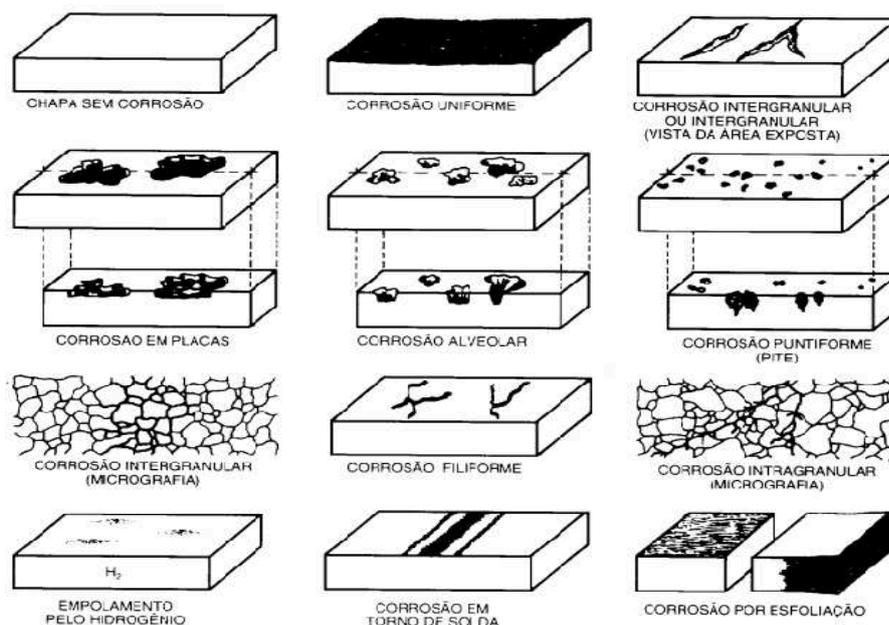
2.2.2 Tipos de corrosão

Segundo Gentil (1996), os processos de corrosão são reações químicas heterogêneas ou eletroquímicas que se passam geralmente na superfície entre o metal e o meio corrosivo, logo a corrosão pode ocorrer de diferentes formas.

A classificação do tipo (forma) de corrosão pode ser feita levando em consideração vários aspectos: aparência ou forma de ataque, suas causas e mecanismos. É convencional classificar a corrosão pela forma como ela se manifesta em tipos básicos e únicos que podem ou não se relacionar entre si (GENTIL,1996).

A Figura 4 ilustra algumas formas de corrosão:

Figura 4 - Algumas formas de corrosão



Fonte: Gentil, (1996).

2.2.3 Detecção

De acordo com Gentil (1996) para estudar os processos corrosivos é necessário levar em consideração as variáveis dependentes do material metálico, do meio corrosivo e das condições operacionais, pois o estudo conjunto dessas variáveis permitirá indicar o material mais adequado para ser utilizado.

Analisando o meio corrosivo como variável e levando em consideração o ramo aeronáutico, frequentemente a corrosão ocorre estando relacionada aos seguintes meios: atmosfera, águas naturais (GENTIL, 1996).

Para Gentil (1996) a corrosão atmosférica depende de fatores como: umidade relativa do ar, temperatura, direção dos ventos, substâncias poluentes particuladas e gases dentre outros. A corrosão por águas naturais abrange os poluentes presentes na água, gases dissolvidos, sais dissolvidos, bactérias, limos e sólidos suspensos.

Neste caso, onde é considerado somente o meio corrosivo, existe uma acentuada perda de massa do material corroído. Se houver uma associação do meio com solicitações mecânicas a corrosão pode ocorrer de maneira acelerada sem perda de massa e sim ocasionando fraturas (GENTIL, 1996).

Deve-se distinguir os casos onde a corrosão por solicitação mecânica é de natureza dinâmica, denominada corrosão por fadiga, dos casos de natureza estática, denominada corrosão sob tensão (FONTANA, 1987).

Segundo Fontana (1987), fadiga é definida como a tendência do metal de fraturar sobre estresse cíclico repetitivo. Geralmente as falhas por fadiga ocorrem em um nível de estresse abaixo de ponto limite no gráfico Tensão x Deformação onde a curva deixa de ser elástica e passa a ser plástica e após muitas aplicações cíclicas de estresse. A corrosão por fadiga é definida como redução da resistência a fadiga devido a presença de um meio corrosivo.

A tensão pode ser causada por sobrecarga interna ou externa. Tensão interna é produzida por uma deformação não uniforme durante o trabalho frio, pelo resfriamento desigual de temperaturas elevadas e pela realocação da estrutura interna envolvendo mudança de volume (FAA, 1991).

3 METODOLOGIA

Uma pesquisa pode ser definida como um procedimento racional e sistemático que tem por objetivo possibilitar soluções a problemas apresentados. Um trabalho científico tem início quando não possuímos informações relevantes para resolver o problema e precisamos levanta-las, ou quando essas informações existem, mas precisam ser organizadas antes de levantadas (GIL, 1991).

Toda classificação é feita mediante algum critério, o critério utilizado geralmente na classificação de pesquisa é o de objetivos gerais. Sendo assim, as pesquisas são classificadas como: exploratórias, descritivas e explicativas.

Segundo Gil (1991) as pesquisas exploratórias têm a intenção de se familiarizar com o problema para torna-lo mais explícito, ou construir hipóteses, aprimorando ideias e intuições. Tem normalmente um planejamento bastante flexível e na maioria dos casos assume as formas de: pesquisa bibliográfica e estudo de caso.

As pesquisas descritivas têm por objetivo relacionar variáveis de um determinado problema. Vários estudos podem se enquadrar nesse tipo de pesquisa, porém, uma de suas características mais presentes está na utilização de técnicas padronizadas de coleta de dados (GIL, 1991).

As pesquisas explicativas preocupam-se em identificar fatores que contribuem para a ocorrência de determinado fenômeno. Este é o tipo de pesquisa que mais se assemelha da realidade por explicar a razão das coisas, o que a torna bem complexa e delicada. As pesquisas explicativas valem-se bastante do método experimental (GIL, 1991).

Segundo Gil (1991) o método experimental de pesquisa consiste em: determinar o objeto de estudo, analisar as variáveis que o influenciam, definir formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

Um tipo de pesquisa também muito comum é a pesquisa bibliográfica desenvolvida a partir de material já elaborado, ou seja, livros e artigos científicos. Pesquisa sobre ideologia e sobre diversas posições acerca de um problema. (GIL, 1991)

4 DESENVOLVIMENTO

Neste trabalho foi realizado o estudo da possível causa de corrosão dos parafusos da junção da deriva da aeronave AS365K (Pantera) conforme Figura 5.

Figura 5 - Parafusos da junção da deriva da Aeronave AS365K



Fonte: Próprio autor.

O *Part Number* do parafuso é 22731BE120060M e de acordo com essa numeração utilizada pelo fabricante para identifica-lo foi obtida a Tabela 1 que informa qual sua principal composição.

Tabela 1 – Composição de acordo com o PN

MATERIALS	CODE	SURFACE TREATMENT	CODE
Steel 35 NC 6	BC	Cadmium plating except for ground areas to be protected from cadmium plating and protected from corrosion by neutral oil	M
Steel 30 NCD 16	BE		
Titanium alloy TA6V	TK	Treatment against fretting corrosion	X

PROCUREMENT	
Every standard part shall be identified by its reference only	
Example	<p>22731 BC 100 032 M</p> <p>Material code Surface treatment code</p> <p>Diameter in 0.1 mm Length in mm</p> <p>Manufacturer NATO code F0111</p>

Fonte: Helibrás (1992).

O parafuso possui o código 30NCD16, designação francesa para um aço liga Ni-Cr-Mo de aplicação aeronáutica.

Segundo Bottrel Coutinho (1992), aços estruturais de melhor qualidade contem níquel, cromo e molibdênio, chegando até 6% a soma dos teores destes elementos, conhecidos como aços BLAR (baixa liga e alta resistência) têm ampla variedade de propriedades mecânicas.

Há muitos tipos de aços BLAR, levando em conta o custo, a resistência à corrosão e a tenacidade. Em aços com níquel o cromo é geralmente adicionado em pequenos teores para melhorar a resistência a corrosão. Em aços baseados em níquel e cromo um pequeno teor de molibdênio é adicionado com o fim de diminuir a tendência à fragilidade do revenimento. (Bottrel Coutinho, 1992)

Durante a pesquisa desta monografia a ideia inicial foi realizar dois testes para identificar a possível causa da corrosão no parafuso analisado, o primeiro teste seria submeter o parafuso a uma corrosão induzida, porém devido a problemas que tangem o espaço adequado para a análise, o composto no qual o parafuso seria submergido e o tempo de espera até que algum resultado significativo fosse obtido foi impraticável a realização do mesmo, visto que o parafuso em questão voa em atmosfera úmida e salina. Ao ser instalado o parafuso é revestido com a graxa AIR 4210B ou MIL-PRF-23827 cuja falta de informações sobre a composição também dificultou o processo de pesquisa.

O segundo teste foi realizado com sucesso, tal teste consistiu em analisar a vibração no ponto em que o parafuso se encontra instalada no helicóptero.

4.1 ANÁLISE DE VIBRAÇÃO

Após executar uma manutenção calendária e/ou horária ou até mesmo substituir um componente de grande porte qualquer aeronave deve passar por testes de manutenção em solo e em voo para que a mesma possa ser liberada e voltar a realizar suas atividades aéreas sem riscos.

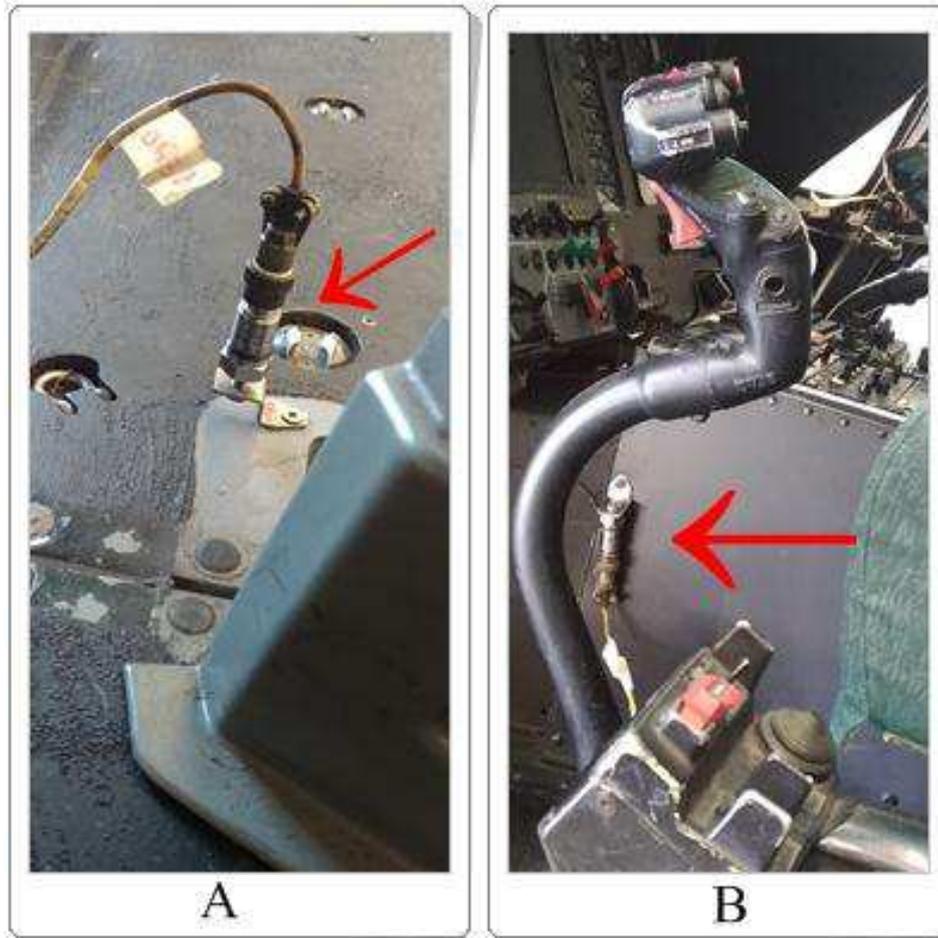
Uma das variáveis analisadas será a vibração. Vibração é o movimento físico ou oscilação de uma peça mecânica sobre uma posição de referência, sendo esta a principal causa de falha prematura de um componente. Para realização do teste selecionamos uma aeronave modelo, após manutenção A/T e troca de componentes de grande porte.

A análise de vibração é feita utilizando as seguintes ferramentas:

- a) uma maleta Aces 2020 que transmite a informação da vibração em polegadas por segundos dentro de uma fase horária;
- b) acelerômetros: sensores que conectados em partes específicas da aeronave medem seu nível de vibração, através da relação variação de velocidade x período de tempo;
- c) *pick-up* magnético: mede a rotação do rotor em rotações por minuto;
- d) cablagens: Fazem a conexão e transmissão dos acelerômetros e *pick-up* para a maleta de análise.

Em casos normais a orientação do fabricante é analisar a vibração lateral do helicóptero em solo e voo pairado, posicionado um acelerômetro do lado direito da caverna frontal da cabine de passageiros (Figura 6a). E durante voo em potência máxima contínua (PMC) analisa-se a vibração vertical do helicóptero posicionando um acelerômetro no console central ao lado do pedal do copiloto (Figura 6b).

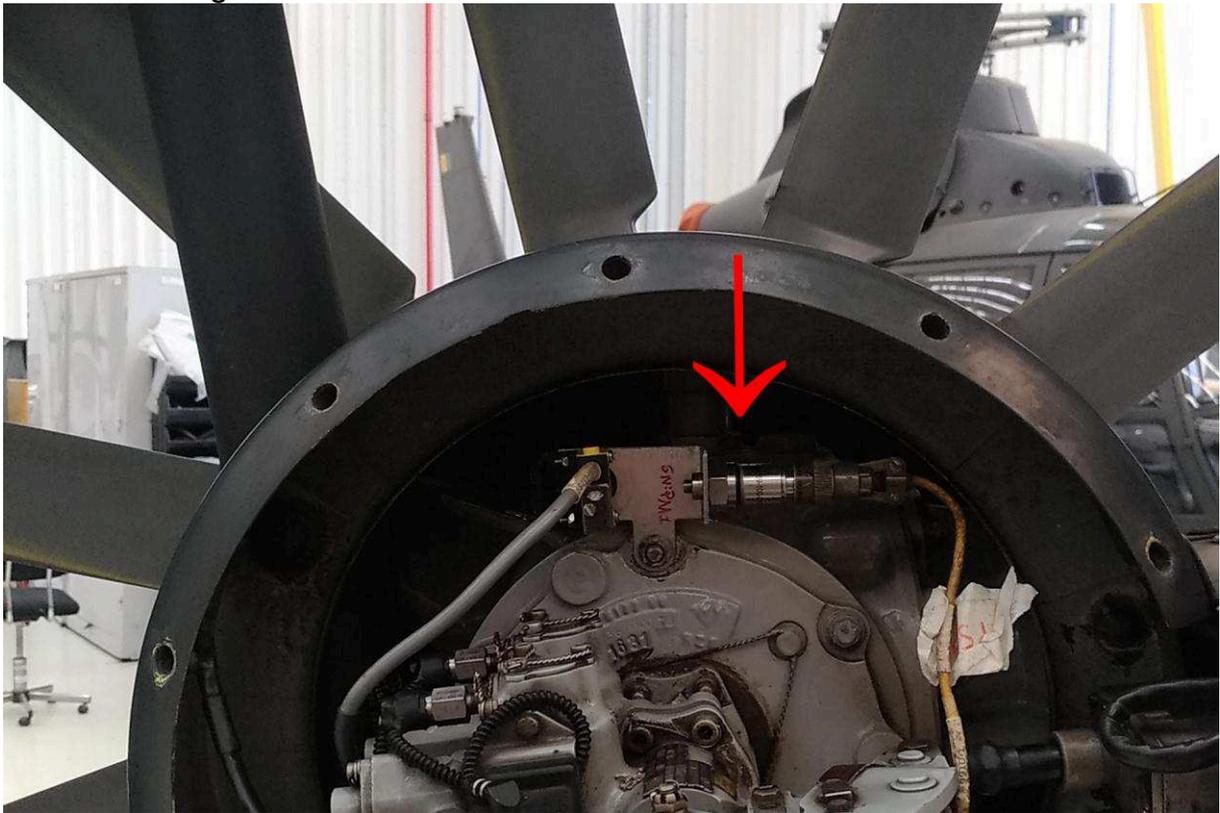
Figura 6 - Acelerômetro instalado na cabine de passageiros (A), Acelerômetro instalado na cabine do copiloto (B)



Fonte: Próprio autor.

Uma tomada do rotor de cauda também é realizada, posicionando o acelerômetro na caixa de transmissão traseira (Figura 7).

Figura 7 - Acelerômetro instalado na caixa de transmissão traseira

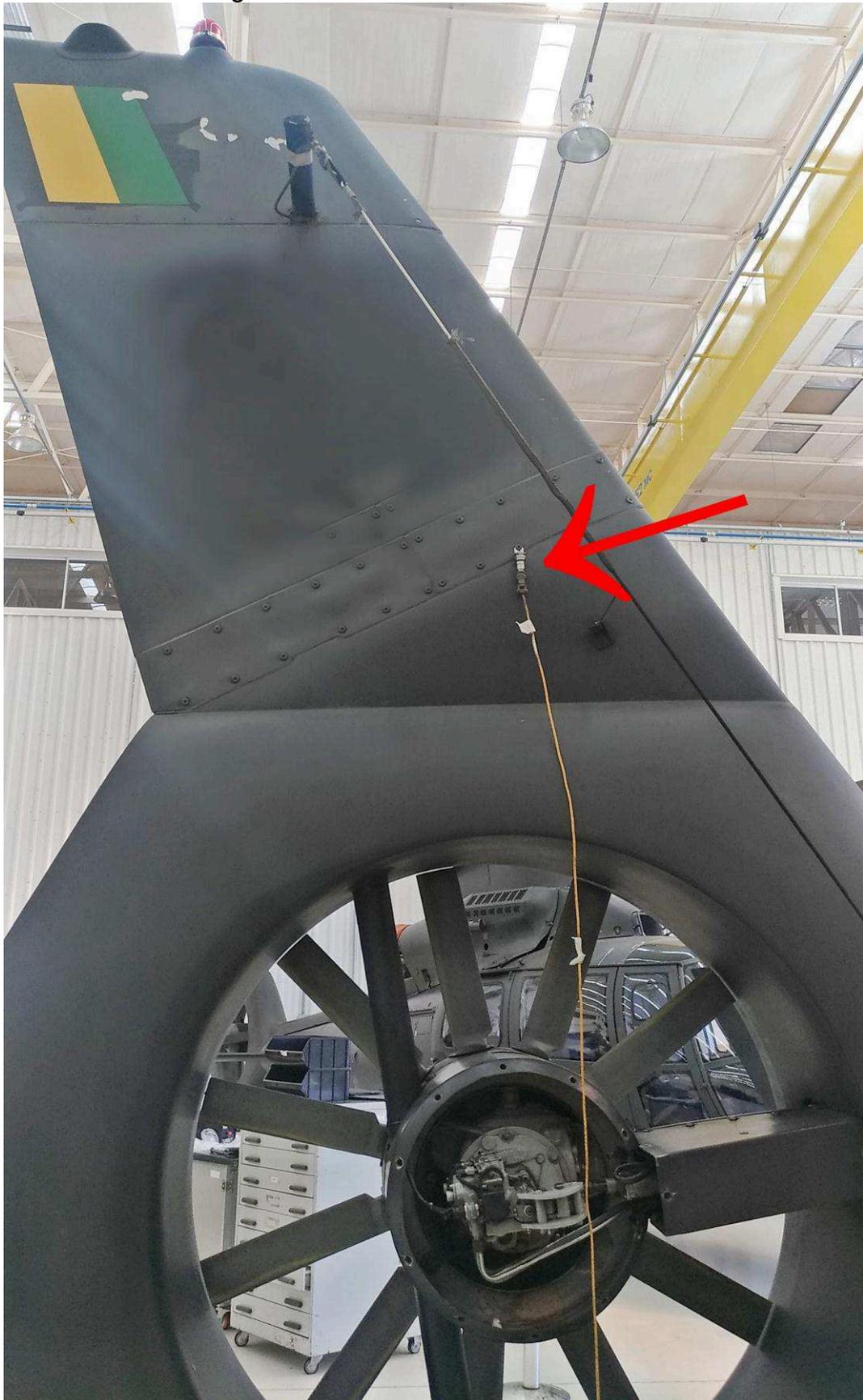


Fonte: Próprio autor.

Quando a aeronave modelo já estava com níveis aceitáveis de vibração, igual ou inferior a 0,20 IPS em todos os envelopes (padrão exigido pelo fabricante), realizamos o teste para efeitos de pesquisa.

Durante o teste instalamos um acelerômetro na deriva vertical da aeronave próximo à posição de trabalho do parafuso (Figura 8).

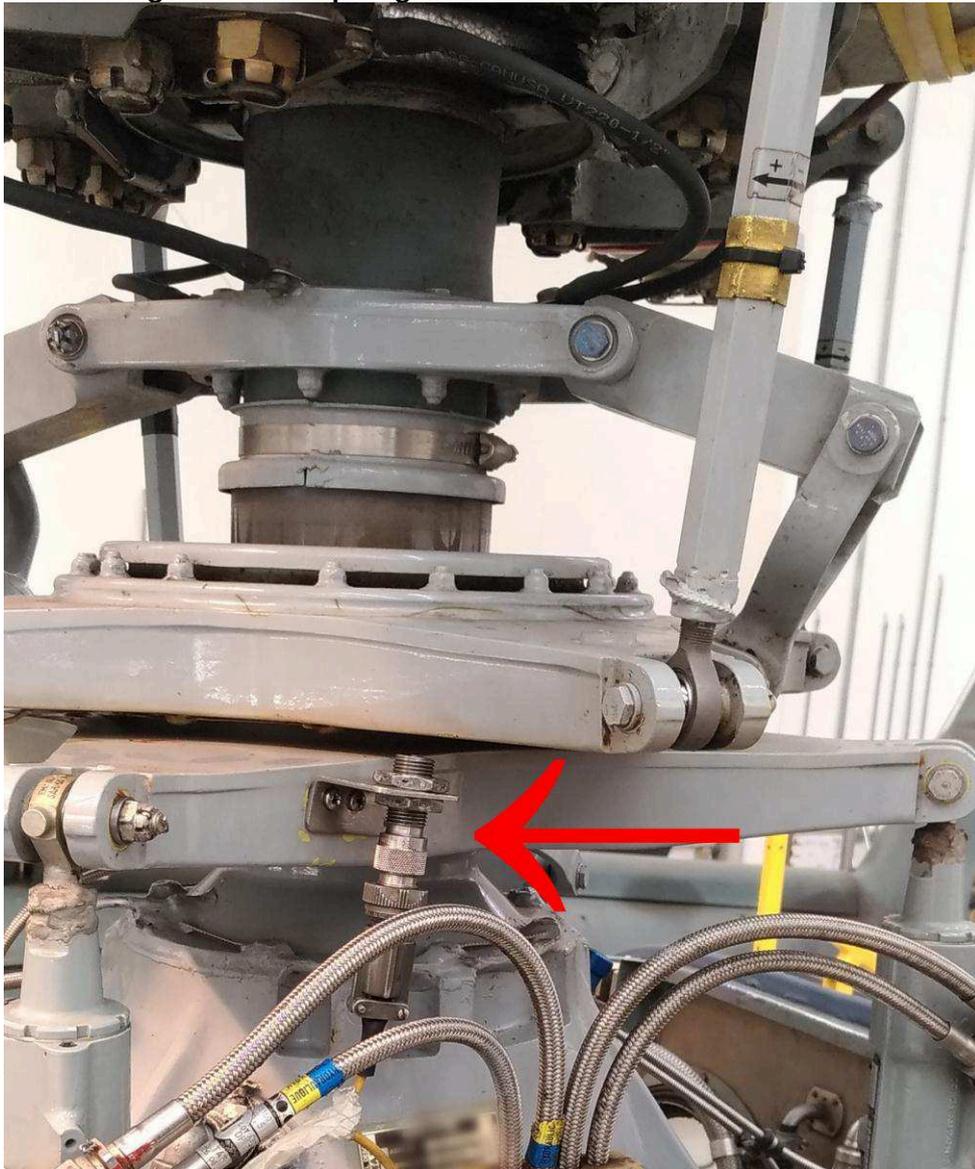
Figura 8 - Acelerômetro instalado na deriva



Fonte: Próprio autor.

Vale ressaltar que todas as análises necessitam do valor de velocidade fornecida por um *pick-up* magnético (Figura 9). A maleta aces utilizada recebe as informações dos acelerômetros e *pick-up* e converte em dados de fácil leitura e interpretação, ou seja, gráficos senoidais que indicam a vibração de maneira a ser avaliada pela equipe de manutenção.

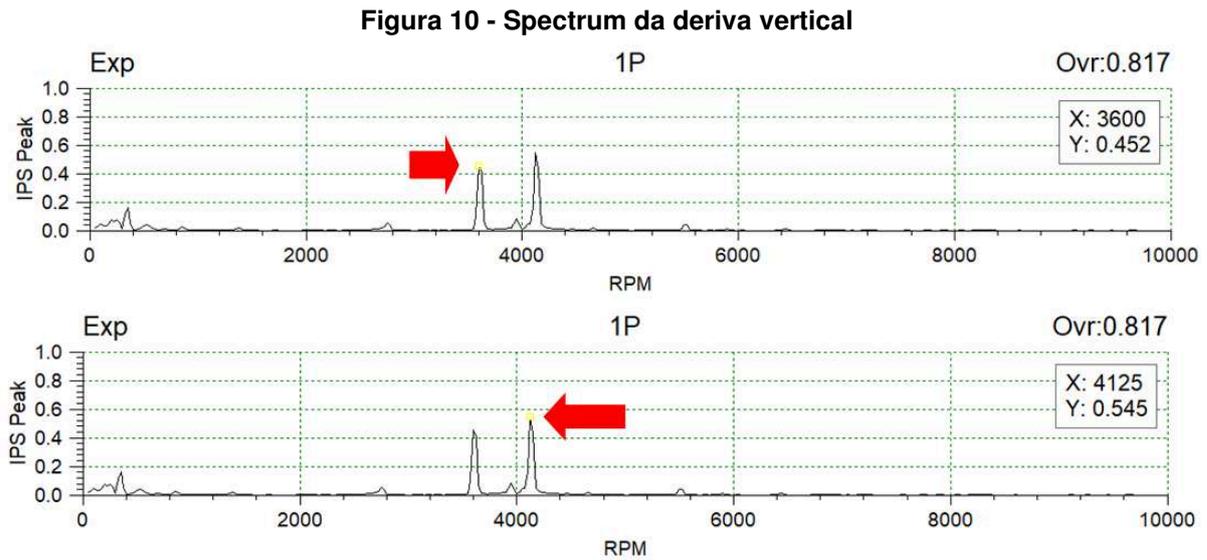
Figura 9 - Pick-up magnético instalado no mastro do rotor



Fonte: Próprio autor.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise de vibração da deriva do helicóptero Pantera apresentou os resultados da Figura 10:



Fonte: Próprio autor.

Ao observar o gráfico de vibração é possível perceber dois picos significativos, o primeiro a uma velocidade de 3600 RPM que registra 0,452 IPS e o segundo a 4125 RPM com 0,545 IPS.

Não existem dados comparativos de uma análise prévia de vibração da deriva do Pantera, porém, como o nível aceitável pelo fabricante é 0,20 IPS em todos os envelopes consideramos os valores apresentados altos, o que nos leva a crer que o excesso de vibração no local pode causar uma corrosão por *fretting*.

A corrosão de atrito (*fretting corrosion*) ocorre quando um metal desliza sobre outro causando um dano mecânico a um dos dois. O deslizamento é geralmente resultante de vibração (Bottrel Coutinho, 1992).

Deve-se considerar também a corrosão sob fadiga, sendo esta uma forma especial de corrosão sob tensão. Falhas por fadiga ocorrem na ausência de meios corrosivos e são causadas por um carregamento cíclico mais ou menos prolongado,

são comuns em estruturas sujeitas a vibrações por longos períodos (Bottrel Coutinho, 1992).

Segundo Bottrel Coutinho, existem métodos específicos para se reduzir ou inibir a corrosão em suas várias formas:

- a) isolar o metal do meio agressivo através do uso de revestimentos;
- b) inibição da reação catódica ou anódica através de agentes inibidores que reagem com os produtos da corrosão e formam camadas impermeáveis nas superfícies dos eletrodos;
- c) métodos elétricos (proteção catódica e proteção anódica).

De acordo com o código do fabricante, o parafuso possui tratamento superficial de cádmio, o que indica a tentativa de isolar o metal do meio agressivo. Ao ser instalado deve ser lubrificado com a graxa AIR 4210B ou MIL-PRF-23827, o que indica a tentativa de utilização de agentes inibidores.

Contudo devido a presença constante de corrosão encontrada durante as inspeções programadas de manutenção e a correlação feita entre o alto nível vibratório da deriva e o tipo de corrosão conhecido como *fretting* é possível perceber a necessidade de outros meios de controle de corrosão.

Considerando-se o projeto, uma maneira de resolver o problema seria modificar o tratamento superficial para um combate mais efetivo contra a corrosão por atrito. Quanto ao agente inibidor, a falta de informação no que concerne sua composição levanta a possibilidade de troca do mesmo por uma graxa também capaz de inibir a corrosão por atrito.

Alterar a periodicidade da inspeção também seria uma maneira válida de avaliar melhor com quanto tempo a corrosão começa a aparecer, estreitando assim os fatores que possam estar envolvidos no processo.

É sempre válido ressaltar os princípios básicos de prevenção da corrosão. Segundo a FAA, a prevenção da corrosão na estrutura de uma aeronave depende de um cuidadoso plano de controle implementado desde o início da operação com a aeronave, contendo:

- a) adequado treinamento de pessoal;

- b) seguir uma rotina de inspeções programadas;
- c) limpeza, inspeção, lubrificação e preservação em intervalos prescritos;
- d) imediato tratamento da superfície após a detecção da corrosão;
- e) manter drenos e passagens abertas e funcionais;
- f) trocas *gaskets* e selantes deteriorados ou danificados;
- g) minimizar a exposição da aeronave a ambientes adversos, tais como hangarar fora em atmosfera salina;
- h) manter detalhadas anotações e fazer reportes ao fabricante em caso de material ou *design* deficiente;
- i) uso de materiais adequados, equipamentos e publicações técnicas.

6 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente trabalho possibilitou um conhecimento amplo do processo de corrosão, alguns dos itens abordados sendo: os motivos que o causam, o impacto que uma degradação por corrosão tem sobre a manutenção e quantos custos são associados, seus tipos e formas, maneiras de detecção, métodos de prevenção e principalmente sua importância no setor aeronáutico.

Ao abranger um caso específico de corrosão na aeronave AS365K o estudo possibilitou relacionar algumas inspeções realizadas no helicóptero quando em manutenção, identificar propriedades de um material aeronáutico muito resistente e a influência de seus elementos de liga, abordar a corrosão já identificada no parafuso de maneira a levantar hipóteses prováveis inerentes ao seu meio e condição de operação.

Uma vez considerada a vibração associada à corrosão conseguimos realizar testes na aeronave com o intuito de comprovar a hipótese de corrosão por *fretting*. Constatamos um alto nível vibratório no local de análise fazendo assim um paralelo com a teoria de corrosão por fadiga.

Logo, tendo identificado o problema, sua possível causa e o que isto acarreta para a manutenção conseguimos sugerir algumas maneiras de prevenção da corrosão no caso estudado e até mesmo algumas modificações que caso fossem implementadas resolveriam tal desgaste.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se para trabalhos futuros, partindo do princípio de controle da corrosão, da preocupação necessária com a segurança de voo e utilizando os resultados obtidos nesse trabalho as seguintes medidas:

- a) reduzir a periodicidade da inspeção de 600 horas para XXX horas a fim de verificar o estado do parafuso de fixação da deriva;
- b) consultar o fabricante do helicóptero para obter uma referência de nível de vibração da deriva;
- c) realizar a cada ciclo A/T de manutenção uma análise de vibração da deriva com o intuito de coleta de dados para comparação entre aeronaves.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Confiabilidade e Manutenibilidade: NBR-5462/nov-1994. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

COUTINHO, C. B. Materiais Metálicos para Engenharia. 1ª edição. Belo Horizonte, Fundação Christiano Ottoni, 1992.

FAA. ADVISORY CIRCULAR. Corrosion Control for Aircraft, 1991.

FONTANA, G. M. Corrosion Engineering. 3ª edition. Singapore: McGral Hill Book 1987.

GENTIL. V. Corrosão. 3ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

GIL, A. C., Como elaborar projetos de pesquisa. 3ª edição, São Paulo. Editora Atlas, 1991.

HELIBRÁS. Manual de manutenção aeronave (MMA): AS365K . Itajubá. Gráfica Helibrás, 1992.

HELIBRÁS. Manual de aprovisionamento (ICA): Aeronave AS365K. Itajubá. Gráfica Helibrás, 1992.

HELIBRÁS. Teoria de Habilitação a Manutenção – THM para mecânicos AS365K. Itajubá, 2012.

MECÂNICO DE MANUTENÇÃO AERONÁUTICA, Matérias Básicas – Instituto de Aviação Civil, 2002.

MICHAELIS. Dicionário escolar da língua portuguesa. São Paulo, Editora Melhoramentos, 2002.

O PENSADOR. Frases de Leonardo da Vinci. Disponível em:

<https://www.pensador.com/frases_de_leonardo_da_vinci/>. Acesso em 04/09/2018