

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ  
HEBRAN DE SOUZA MOREIRA  
JEFFERSON LUCAS SILVA**

**ANÁLISE DA CAIXA DE TRANSMISSÃO PRINCIPAL  
DA AERONAVE AIRBUS AS550 (FENNEC)**

**Taubaté - SP  
2018**

**HEBRAN DE SOUZA MOREIRA  
JEFFERSON LUCAS SILVA**

**ANÁLISE DA CAIXA DE TRANSMISSÃO PRINCIPAL DA  
AERONAVE AIRBUS AS550 (FENNEC)**

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. Me. Carlos Evany Pinto

Coorientador: Prof. José Gildenys Charll dos Santos

**Taubaté – SP  
2018**

**SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU**

S586a Silva, Jefferson Lucas  
Análise da caixa de transmissão principal da aeronave AIRBUS AS550  
(FENNEC) / Jefferson Lucas Silva; Hebran de Souza Moreira. -- 2018.  
43 f. : il.

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

Orientação: Prof. Me. Carlos Evany Pinto, Departamento de Engenharia  
Mecânica.

Coorientação: Prof. José Gildenys Charll dos Santos

1. Engrenagem. 2. Helicóptero. 3. Inspeção. I. Título. II. Moreira,  
Hebran de Souza. III. Graduação em Engenharia Mecânica.

CDD – 629.133352

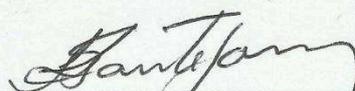
Ficha catalográfica elaborada por Shirlei Righeti – CRB-8/6995

HEBRAN DE SOUZA MOREIRA  
JEFFERSON LUCAS SILVA

ANÁLISE DA CAIXA DE TRANSMISSÃO PRINCIPAL DA AERONAVE AIRBUS  
AS550 (FENNEC)

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

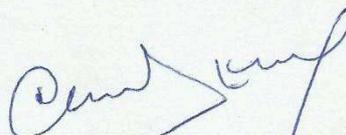
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO COORDENADOR DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



Prof. Me. FÁBIO HENRIQUE FONSECA SANTEJANI

Coordenador de Trabalho de Graduação

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Me. CARLOS EVANY PINTO  
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



Prof. Me. IVAIR ALVES DOS SANTOS  
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

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 que apesar das dificuldades enfrentadas, 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, dando o suporte necessário para chegarmos até aqui.

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

Ao nosso orientador, *Prof. Me. Carlos Evany Pinto* 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 e supervisor de estágio *Prof. José Gildenys Charll dos Santos* que desde o nosso primeiro ano além de um amigo foi um mestre, nos ajudando e compartilhando todo seu vasto conhecimento, mostrando um elevado nível de companheirismo e camaradagem, digno de sua profissão.

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

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

(JOSÉ DE ALENCAR)

## RESUMO

Considerado uma das obras da engenharia mais revolucionária o helicóptero desde sua criação encanta o mundo, e o estudo aprofundado dessa máquina se torna muito atraente para estudantes de engenharia, que conseguem identificar diversos assuntos da sua grade acadêmica utilizadas em uma série de itens do helicóptero. A caixa de transmissão principal é um conjunto de engrenagens que tem a função de transmitir o torque do motor para o rotor principal que através de suas pás geram a sustentação necessária para o voo. É considerado um dos mais importantes e complexos conjuntos da aeronave, sua engenharia fica explícita em todos seus componentes, principalmente nas engrenagens internas que são responsáveis pela redução do alto torque proveniente do motor e sua mudança de direção. Por sua complexidade a caixa de transmissão principal pode ser analisada em diversos aspectos e este trabalho de graduação tem como objetivo analisar suas engrenagens, seu modo de funcionamento, os cálculos de transmissão e os demais itens que a compõe, demonstrando a grande importância de uma inspeção e manutenção bem realizadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Engrenagem. Helicóptero. Inspeção.

## **ABSTRACT**

Considered one of the most revolutionary engineering works the helicopter since its inception enchants the world, and the in-depth study of this machine becomes very attractive to engineering students who can identify various subjects of their academic grade used in a series of helicopter items. The main gearbox is a set of gears that has the function of transmitting the torque of the motor to the main rotor which through its blades generate the necessary support for the flight. It is considered one of the most important and complex aircraft sets, its engineering is explicit in all its components, mainly in the internal gears that are responsible for the reduction of the high torque coming from the engine and its change of direction. Due to its complexity, the main transmission box can be analyzed in several aspects and this graduation work has the objective of analyzing its gears, its operation mode, the transmission calculations and the other items that compose it, demonstrating the great importance of an inspection.

**KEYWORDS:** Gear. Helicopter. Inspection.

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Projeto “autogiro” de Leonardo da Vinci .....                        | 13 |
| Figura 2 - Projeto Carruagem aérea de Sir George Cayley .....                   | 14 |
| Figura 3 - Gyroplano I de Breguet-Richet .....                                  | 15 |
| Figura 4 - Helicóptero de Paul Cornu.....                                       | 16 |
| Figura 5 - VS-300 de Igor Sikorsky .....  | 17 |
| Figura 6 - Helicóptero e seus componentes básicos .....                         | 18 |
| Figura 7 - Helicóptero AS550.....   | 19 |
| Figura 8 - Caixa de transmissão principal.....                                  | 21 |
| Figura 9 - Engrenagens cilíndricas de dentes retos.....                         | 22 |
| Figura 10 - Engrenagens cônicas de dentes retos.....                            | 22 |
| Figura 11 - Helicoide de involuta.....  | 23 |
| Figura 12 - Engrenagens sem-fim.....  | 23 |
| Figura 13 - Nomenclatura para dentes de engrenagens cilíndricas de dentes retos | 24 |
| Figura 14 - Redutor Cônico.....   | 25 |
| Figura 15 - Ilustração dos componentes do conjunto epicicloidal .....           | 26 |
| Figura 16 - Bomba de óleo .....   | 27 |
| Figura 17 - Corrosão generalizada .....   | 29 |
| Figura 18 - Corrosão por “ <i>pitting</i> ” .....                               | 30 |
| Figura 19 - Coroa cônica com as pistas externas do rolamento e roda cônica..... | 36 |
| Figura 20 - Conjunto epicicloidal.....  | 36 |
| Figura 21 - Engrenagem anel e junta de papel.....                               | 39 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|      |                                    |
|------|------------------------------------|
| ASM  | Air-to-surface missile             |
| ASW  | Anti-submarine warfare             |
| CTP  | Caixa de Transmissão Principal     |
| HP   | Horse Power                        |
| km/h | Quilômetros por hora               |
| MET  | Manual de Manutenção               |
| MSM  | Master Service Maintenance         |
| MTC  | Manual de Técnicas Correntes       |
| rpm  | Rotações por Minuto                |
| SAR  | Salvamento, Apoio e Resgate        |
| THM  | Manual de Instrução para Mecânicos |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO.....                                    | 11 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....                         | 13 |
| 2.1 HISTÓRIA DO HELICÓPTERO.....                     | 13 |
| 2.2 HELICÓPTERO.....                                 | 17 |
| 2.3 HELICÓPTERO AS550 (FENNEC).....                  | 18 |
| 2.4 CAIXA DE TRANSMISSÃO PRINCIPAL (CTP).....        | 20 |
| 2.5 ENGRENAGENS.....                                 | 21 |
| 2.5.1 Conjunto cônico.....                           | 24 |
| 2.5.2 Conjunto epicicloidal.....                     | 25 |
| 2.5.3 Bomba de lubrificação.....                     | 26 |
| 2.6 INSPEÇÃO.....                                    | 27 |
| 2.7 CORROSÃO.....                                    | 28 |
| 2.7.1 Corrosão Uniforme.....                         | 28 |
| 2.7.2 Corrosão puntiforme (pitting).....             | 29 |
| 3 METODOLOGIA.....                                   | 31 |
| 3.1 CLASSIFICAÇÃO DOS MÉTODOS DE PESQUISA.....       | 31 |
| 3.1.1 De acordo com a abordagem.....                 | 31 |
| 3.1.2 De acordo com o objetivo.....                  | 32 |
| 3.1.3 De acordo com os procedimentos técnicos.....   | 32 |
| 4 DESENVOLVIMENTO.....                               | 34 |
| 4.1 INSPEÇÃO DA CAIXA DE TRANSMISSÃO PRINCIPAL.....  | 34 |
| 4.2 INSPEÇÃO DAS ENGRENAGENS DOS MÓDULOS DA CTP..... | 35 |
| 4.3 INSPEÇÃO DA BOMBA DE ÓLEO.....                   | 37 |
| 4.4 CÁLCULOS DE TRANSMISSÃO.....                     | 38 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....                       | 39 |
| 6 CONCLUSÃO.....                                     | 40 |
| REFERÊNCIAS.....                                     | 41 |

## 1 INTRODUÇÃO

O helicóptero é um tipo de aeronave, cuja característica principal é o sistema de asa rotativa, que obtêm sustentação e tração do torque proveniente de um ou mais rotores, gerando o movimento relativo entre a massa de ar e o aerofólio de sustentação para que assim o helicóptero, uma aeronave mais pesada que o ar possa ter a capacidade de ascender e deslocar-se. Com uma característica única de ficar imóvel no ar em voo pairado e de pousar e decolar verticalmente, é capaz de chegar a lugares e realizar diversas missões que nenhuma aeronave convencional de asa fixa conseguiria chegar ou realizar (DA SILVA, 2010).

Dentre os vários tipos de helicópteros existentes no mundo, o helicóptero Airbus AS550 (FENNEC) é um dos mais utilizados, por possuir sistemas relativamente simples e de baixo custo em relação a outros modelos, além de desempenhar diversas funções como: transporte de passageiros; transporte de cargas internas e externas; salvamento; ambulância; policiamento; treinamento; turismo; taxiamento; dentre outras. Composto por diversos conjuntos que possibilitam o voo e o controle, o helicóptero se divide basicamente em: estrutura; grupo motopropulsor; sistemas elétricos e sistemas dinâmicos. Dentre os sistemas dinâmicos do helicóptero, a caixa de transmissão principal (CTP) recebe através dos eixos de transmissão o torque proveniente do grupo motopropulsor, que por meio de um conjunto de engrenagens mudam o sentido e reduzem a rotação a fim de transmitir o torque necessário para o rotor principal gerar sustentação e tração para o voo. Atualmente o uso do helicóptero tem aumentado de maneira ampla, e com essa tendência o desenvolvimento tecnológico deve ser compatível, assim como o conhecimento dos pilotos e mecânicos (HELIBRAS, 2016).

Acompanhando o aprimoramento do conhecimento humano e a tendência da evolução das máquinas, este trabalho tem como finalidade analisar o funcionamento e inspeção da CTP, dando ênfase nas engrenagens, visando explicar a importância da inspeção e do bom funcionamento deste conjunto.

Para se chegar ao objetivo do trabalho tem-se:

- no Capítulo 2 - “Revisão bibliográfica”, uma explanação inicial sobre a história e descrição geral do helicóptero, apresentação do modelo AS550 (FENNEC), conceito de inspeção, conceito de uma caixa de transmissão principal e engrenagens.
- no Capítulo 3 - “Metodologia”, onde serão abordadas algumas metodologias, classificações e tipos.
- no Capítulo 4 - “Desenvolvimento”, etapas onde serão demonstradas as inspeções no item a ser analisado e cálculos referentes à transmissão e engrenagens.
- no Capítulo 5 - “Resultados e discussão”, será discutido os resultados obtidos.
- no Capítulo 6 - “Conclusão”, onde mediante aos resultados obtidos será realizada uma análise final do projeto.
- e por fim as Referências Bibliográficas.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 HISTÓRIA DO HELICÓPTERO

A palavra “helicóptero” foi criada pelo francês Visconde Gustave de Ponton d’Amecourt em 1863, oriunda das palavras gregas “hélix” (espiral) e “pteron” (asa). Tendo seus primeiros indícios de conceito na China no século IV, onde um objeto feito de vareta com penas nas suas extremidades ao ser friccionado com as mãos era capaz de realizar um voo durante um curto tempo (JOHNSON, 1994; CORDEIRO, DIAS, 2002).

Como por trás de toda grande descoberta há um estudioso, Leonardo da Vinci no século XV idealizou um protótipo chamado de “autogiro” cuja característica era uma grande asa giratória com formato de parafuso presa a uma plataforma como ilustrado na Figura 1, porém esse projeto só foi encontrado após 4 séculos, e apresentava o que seria os princípios e os conceitos básicos do voo e do helicóptero. Este projeto não obteve sucesso e acabou se tornando apenas uma peça de museu (CORDEIRO, DIAS, 2002).

**Figura 1 - Projeto “autogiro” de Leonardo da Vinci**

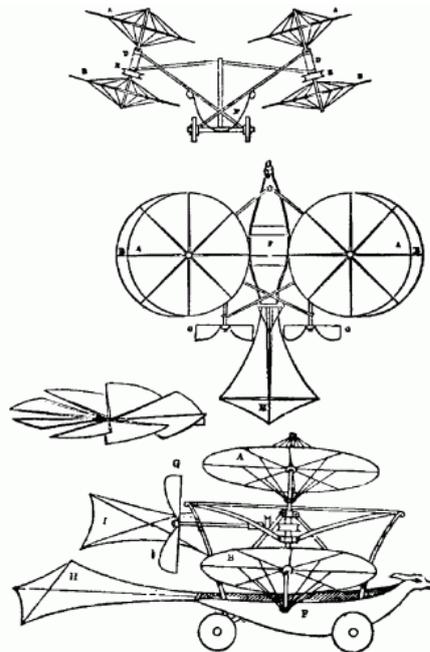


**Fonte: VILA (2018)**

Foi a partir do século XVIII que inventores de diversas partes do mundo começaram a desenvolver projetos a fim de tentar construir uma máquina voadora, porém nenhum obteve sucesso. Diversos fatores barravam o desenvolvimento inicial das aeronaves de asas rotativas, dentre eles os três grandes problemas eram: desenvolver um meio de propulsão leve e confiável; desenvolver uma estrutura resistente e leve para suportar o rotor, cabeça do rotor e pás, mantendo uma boa eficiência aerodinâmica; e por fim entender e desenvolver meios capazes de controlar o helicóptero, incluindo o balanceamento do rotor (ALTMAN, 2013).

Em meados do século XIX continuavam os estudos e projetos, porém os problemas também, tentando utilizar o motor a vapor baseado em outras máquinas como trens e navios, o inglês W.H. Phillips em 1842 foi um dos que não obteve sucesso, pois o motor a vapor se apresentava muito pesado para o voo. Também neste século o Sir. George Cayley considerado pai da aviação britânica, projetou a “carruagem aérea” que continha 4 rotores distribuídos em pares de forma coaxial como mostrado na Figura 2, entretanto não encontrou um motor adequado fazendo com que esse projeto não saísse do papel (JOHNSON, 1994).

**Figura 2 - Projeto Carruagem aérea de Sir George Cayley**

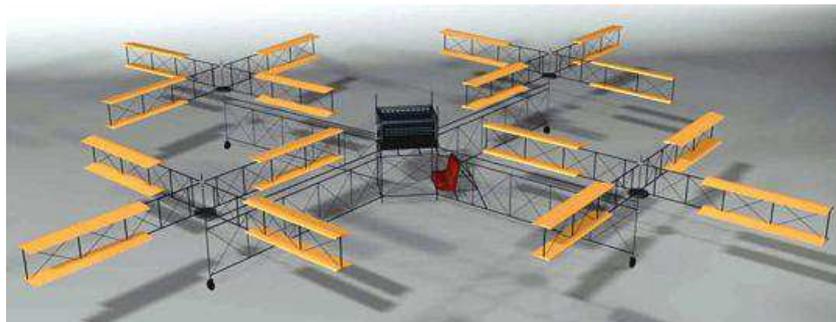


Fonte: AUTOENTUSIASTAS (2017)

Thomas Edison conhecido mundialmente pela invenção da lâmpada se arriscou nos projetos aeronáuticos, realizando experiências com pequenos modelos com motor elétrico, todavia também não se alcançou a potência necessária para o sucesso dos seus projetos, descobrindo que era necessário rotores com reduzidas áreas e grandes diâmetros das pás para conseguir uma boa eficiência (CORDEIRO, DIAS, 2002).

Em 1900 os projetos ganharam novas perspectivas com a invenção do motor a combustão interna, onde em 1907 os irmãos franceses Jacques e Louís Breguet criaram o “gyroplano I” de quatro rotores com quatro braços com pás, ilustrados na Figura 3, porém só foi capaz de se manter no ar por poucos segundos e atingir uma pequena elevação, em vista de não ser controlável e estabilizável (CHANT, 2002).

**Figura 3 - Gyroplano I de Breguet-Richet**



**Fonte: CTIE (2002)**

Somente em 13 de novembro de 1907, na cidade de Coquainvilliers, na Normandia o francês Paul Cornu realizou o que é considerado o primeiro voo livre de um helicóptero, atingindo uma altura de 1,5 metros e ficou aproximadamente 30 segundos no ar. A Figura 4 mostra o desenho do helicóptero criado por Paul Cornu (ALTMAN, 2013).

**Figura 4 - Helicóptero de Paul Cornu**



**Fonte: OOCITIES (2009)**

Foi durante e após a Primeira Guerra Mundial que o desenvolvimento foi acelerado, de modo a utilizar esses projetos para apoio, reconhecimento e combate nos campos de guerra. Porém os projetos não foram finalizados a tempo para sua utilização (CARRASCO, 2017).

Foi em 1923 que o engenheiro espanhol Juan de La Cierva Codorniu desenvolveu e patenteou o “autogiro” aeronave com asas rotativas que diferente dos helicópteros convencionais tem seu rotor principal girando livremente do motor, em auto-rotação, para que mesmo com a falta do motor o helicóptero se mantenha no ar. Três dias após o primeiro voo o motor sofreu uma pane durante outro teste e como Juan tinha projetado o piloto conseguiu manter o controle e estabilidade até o pouso, demonstrando assim o alto nível de segurança desta aeronave, que ficou marcado na evolução dos helicópteros. Juan analisou que a sustentação era gerada apenas em metade de uma volta das hélices, e então criou um rotor articulado que mudava o ângulo das pás para assim ganhar sustentação em toda sua volta. Por diversas características o autogiro é considerado uma das aeronaves mais seguras do mundo, e ficou marcada pela inovação pelo rotor articulado, dando um grande impulso para a criação do helicóptero, mesmo não podendo decolar e pousar verticalmente (CARRASCO, 2017).

Outro nome de grande importância é o Russo Igor Ivanovich Sikorsky, que durante a primeira guerra mundial produziu aviões para as forças armadas russas e em 1941 já nos Estados Unidos construiu sua companhia e criou o VS-300, Figura 5, helicóptero de rotor simples com três pás e um pequeno rotor de cauda considerado a configuração básica da aeronave de asa rotativa. O VS-300 tinha controle lateral e

longitudinal pelo comando cíclico do rotor principal e controle direcional pelo rotor de cauda, sendo o primeiro helicóptero “moderno” da história. Seus projetos ao longo do tempo só foram se aperfeiçoando e obtiveram grande sucesso, batendo recordes de velocidade, altitude e capacidade de carga, ganhando reconhecimento e fama em todo mundo aeronáutico (DA SILVA, 2010; BIOGRAFIAS, 2014).

**Figura 5 - VS-300 de Igor Sikorsky**



**Fonte: CONSERVADORISMO DO BRASIL (2017)**

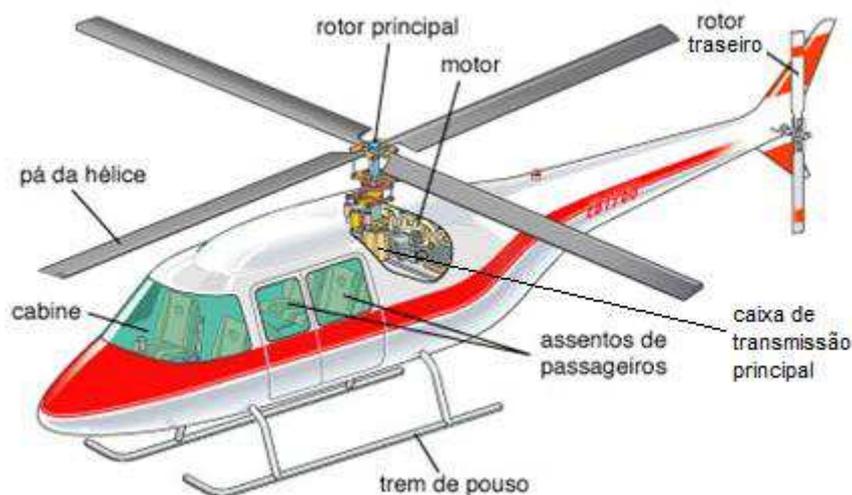
O helicóptero, diferente dos aviões, teve seu desenvolvimento acelerado pela busca de alcançar longas distâncias intercontinentais, e durante muito tempo teve grandes dificuldades para seu crescimento tecnológico, e somente entre as Grandes Guerras conseguiu-se uma evolução notória. Apesar disso, sua utilização para fins militares só ocorreu nos anos 50 durante a guerra da Coreia onde pela primeira vez foi realizado voos com intuitos de apoio militar, reconhecimento, transporte e ataques (CORDEIRO, DIAS, 2002).

## 2.2 HELICÓPTERO

O modelo básico de um helicóptero é composto pelos seguintes sistemas: fuselagem; trem de pouso; grupo motopropulsor; rotor principal; rotor de cauda e pás dos rotores, ilustrados na Figura 6, além de sistemas elétricos; sistemas de transmissão principal e traseiro. Seu funcionamento inicia-se pelo motor, que gera a

potência para os sistemas de transmissão principal e traseiro, alimentando o rotor principal e o traseiro respectivamente, essa potência ao chegar à caixa de transmissão principal muda de sentido e sofre redução, pois a potência chega com valores elevados, passando para o rotor principal, onde através das pás geram a sustentação necessária para o voo. Como o rotor principal do helicóptero gira em uma direção, a fuselagem tende a girar na direção oposta, tendência essa que denominamos de torque. Uma vez que o efeito do torque sobre a fuselagem é o resultado direto da potência do motor suprida para o rotor principal, qualquer mudança de potência causará uma mudança correspondente de efeito torque. A força que compensa o torque e proporciona controle direcional é produzido pelo rotor traseiro, que recebe a potência por meio do sistema de transmissão traseiro e é instalado em uma posição que produz um empuxo na direção contrária ao sentido de rotação do rotor principal realizando o anti-torque (HELIBRAS, 1992).

**Figura 6 - Helicóptero e seus componentes básicos**



**Fonte: BRITANNICA ESCOLA (2010)**

### 2.3 HELICÓPTERO AS550 (FENNEC)

O helicóptero AS550 (Fennec), mostrado na Figura 7, atualmente é um dos modelos mais comercializados no mundo tanto no ramo civil como militar, sendo uma aeronave leve e polivalente que teve seu projeto baseado em três pilares: nível de ruído; vibrações e preço.

**Figura 7 - Helicóptero AS550 (FENNEC)**

**Fonte: Autoria própria**

Seu primeiro exemplar realizou voo em 27 de junho de 1974, pelo piloto de testes Daniel Bernard Certain Bauchart, inicialmente equipado com uma turbina Lycoming Avco LTS -101. Já em fevereiro de 1975 uma nova célula foi a voo equipada com uma turbina da empresa francesa Turbomeca, Arriel 1A (COSTA, 2017).

Sua história tem início pela empresa *Aerospatiale* nos anos 70, que desenvolveu e deu vida para o projeto. Em 1992 foi criado o *Grupo Eurocopter* proveniente da união entre a francesa *Aerospatiale* com a alemã *Deutsche Aerospace*, já em 2014 a empresa foi renomeada para *Airbus Helicopters*. Atualmente é produzido no Brasil pela sua filial *Helibras*, única fabricante brasileira de helicópteros responsável pela venda, pós-venda e produção, localizada em Itajubá, Minas Gerais, onde já foram produzidos e entregues cerca de 750 helicópteros para o mercado nacional (HELIBRAS, 2016).

Esse helicóptero multiuso tem capacidade de 6 tripulantes, atinge uma velocidade de cruzeiro próximo de 245 km/h, uma autonomia de 4,1 horas e chegando a um teto máximo de 15100 pés (aproximadamente 4602 metros), mantendo sempre um ótimo desempenho e razão de consumo, sendo capaz de trabalhar em altas temperaturas e elevadas altitudes. O seu modelo militar foi adaptado para diversas operações como: ataque leve, combate SAR, patrulha, guerra ASM e ASW. Sendo adicionado um reforço de estrutura, blindagens, painel de voo adequado a missões de combate, sistema de imageamento diurno e noturno,

óculos de visão noturna, e um motor agora com uma potência de 847 HP, nomeado de Turbomeca Arriel 2B, além de ser equipado com lançadores de foguetes ou casulos de metralhadoras, gancho e diversos equipamentos visando à operacionalidade (COSTA, 2017; HELIBRAS, 2016).

Por sua versatilidade, desempenho e muitos outros aspectos, esse helicóptero já tem cerca de 5000 exemplares espalhados por mais de 100 países, e é considerado um dos melhores helicópteros do mundo (HELIBRAS, 2016).

#### 2.4 CAIXA DE TRANSMISSÃO PRINCIPAL (CTP)

A caixa de transmissão principal, Figura 8, é considerada um dos itens mais importantes para o helicóptero, com concepção modular cuja caixa de engrenagens tem como função receber o torque através do eixo de transmissão principal proveniente do motor e distribuir para o rotor principal, por intermédio de seu cárter. Esse torque entra com um valor de 6125 rpm e a partir do primeiro estágio um redutor cônico reduz para 1706 rpm além de mudar o sentido do torque em um ângulo de 90°, no segundo estágio um redutor epicicloidal reduz para o valor final que sai para o rotor principal com 394 rpm (HELIBRAS, 1992).

A CTP é composta por 3 módulos intercambiáveis: um redutor epicicloidal; um redutor cônico que é localizado no cárter principal, que suporta a tomada de movimento e no cárter inferior que assegura a fixação da CTP na suspensão flexível; e uma bomba de lubrificação fixada no cárter inferior. Além de possuir em sua estrutura o freio rotor instalado na tomada de movimento da CTP, cuja função é imobilizar rapidamente o rotor após a parada do motor, e impedir a rotação do rotor pela ação do vento quando o helicóptero estiver estacionado (HELIBRAS, 1992).

**Figura 8 - Caixa de transmissão principal**



**Fonte: Autoria própria**

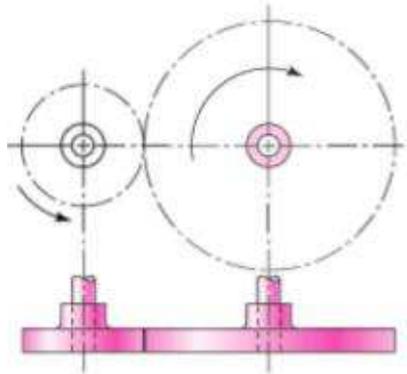
Outros equipamentos são vinculados com a CTP para fornecer parâmetros de lubrificação, pressão, limpeza e inspeção, como: filtro de óleo; manocontator (pressão de óleo); tampa de inspeção; visor de nível do óleo; contator termométrico (temperatura do óleo); bujão magnético de dreno e válvula de alívio (saída da bomba de óleo) (HELIBRAS, 1992).

## 2.5 ENGRENAGENS

Segundo Filho (1973), as engrenagens são rodas dentadas que tem a função de transmitir movimento e força entre dois eixos, podendo ser construídas desde ferro e aço até madeira e couro. A transmissão se dá através do contato entre os dentes das engrenagens. São classificadas em: cilíndricas; cônicas; helicoidais; parafuso coroa sem fim.

As engrenagens cilíndricas, Figura 9, possuem dentes paralelos ao eixo de rotação e são utilizadas para transmitir movimento entre dois eixos paralelos. Em relação aos demais tipos, essa engrenagem é considerada a mais simples, e admitem grandes relações de transmissão (BUDYNAS E NISBETT, 2011).

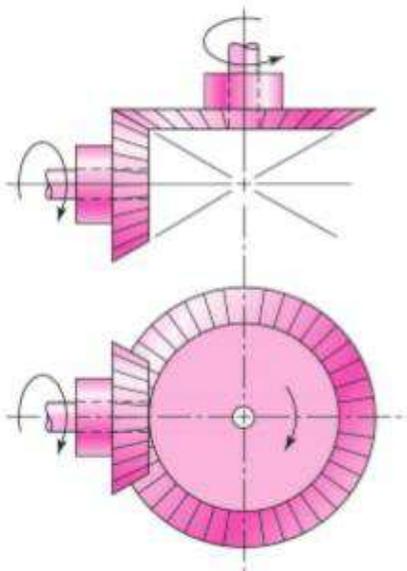
**Figura 9 - Engrenagens cilíndricas de dentes retos**



Fonte: BUDYNAS E NISBETT (2011)

As engrenagens cônicas, Figura 10, possuem dentes formados em superfícies cônicas e são utilizados onde se necessita de movimento entre eixos que se interceptam, sua transmissão exige precisão na montagem além de ter uma relação limitada (BUDYNAS E NISBETT, 2011).

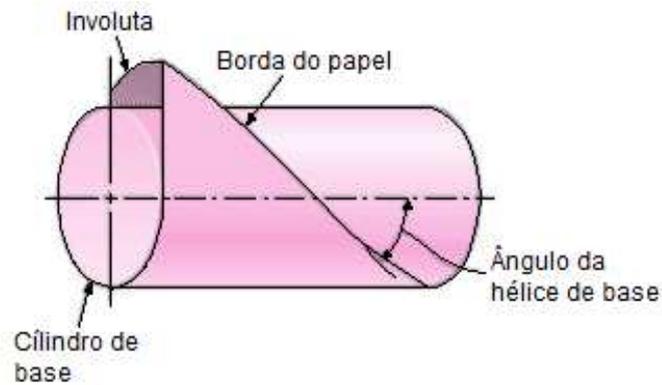
**Figura 10 - Engrenagens cônicas de dentes retos**



Fonte: BUDYNAS E NISBETT (2011)

Já as engrenagens helicoidais têm dentes inclinados em relação ao eixo de rotação, como na Figura 11, podendo ser utilizadas nas mesmas aplicações que as engrenagens de dentes retos, com a melhoria de não fazer tanto ruído devido ao engrenamento mais gradual dos seus dentes, utilizada geralmente para fazer mudança de direção de movimento (BUDYNAS E NISBETT, 2011).

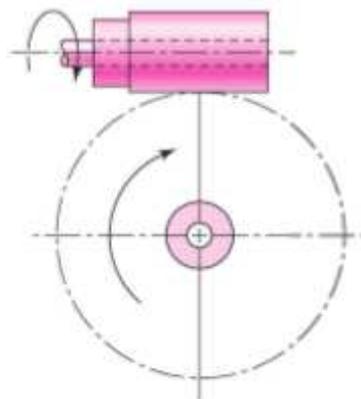
**Figura 11 - Helicoide de involuta**



Fonte: BUDYNAS E NISBETT (2011)

O conjunto coroa-parafuso-sem-fim também chamada de roda sem-fim, tem função de transmitir potência, controle do movimento, e principalmente como redutor de velocidade. Ilustrado na Figura 12, são montados de modo que os dentes de pelo menos um, ou de ambos cubram-se parcialmente um ao outro. Possui um rendimento baixo, porém sua capacidade de amortecimento de vibrações é superior aos demais tipos de engrenagens (BUDYNAS E NISBETT, 2011).

**Figura 12 - Engrenagens sem-fim**

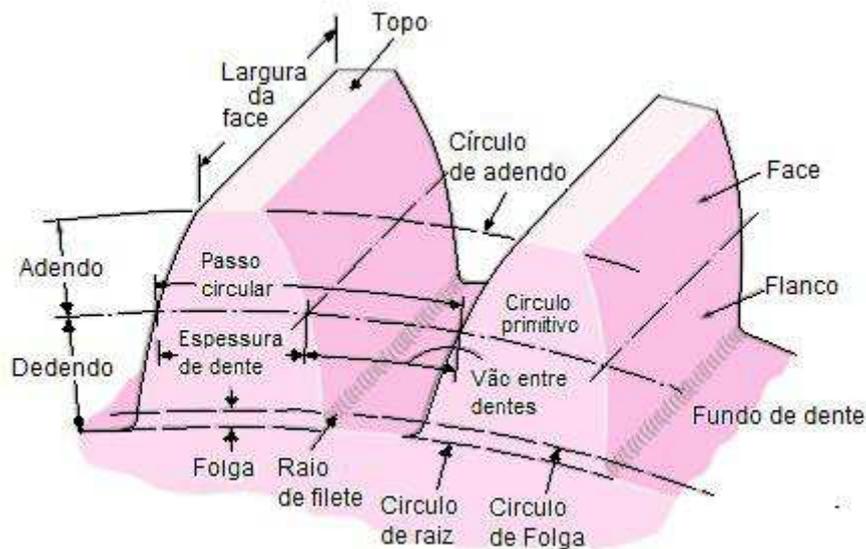


Fonte: BUDYNAS E NISBETT (2011)

Basicamente todos os tipos são construídos em pares de engrenagens cuja qual tiver o menor número de dentes é chamada de *pinhão* e quem possuir o maior número de dentes, de *coroa*. Na Figura 13 temos a terminologia de dentes de engrenagens retos, onde o *círculo primitivo* ou *de passo* é um círculo teórico sobre qual geralmente todos os cálculos se baseiam. O passo circular  $p$  é a distância,

medida no círculo primitivo, do ponto de um dente ao correspondente ponto no dente adjacente. Sendo assim o passo circular é igual à soma da espessura de dente com a largura de espaçamento (BUDYNAS E NISBETT, 2011).

**Figura 13 - Nomenclatura para dentes de engrenagens cilíndricas de dentes retos**



**Fonte: BUDYNAS E NISBETT (2011)**

Na caixa de transmissão principal (CTP) do helicóptero AS550 (FENNEC), encontram-se dois tipos de engrenagens: engrenagens cilíndricas com dentes retos e engrenagens cônicas com dentes espirais, que são comentadas abaixo (HELIBRAS, 1992).

### 2.5.1 Conjunto cônico

O conjunto cônico, ilustrado na Figura 14, é onde o primeiro estágio de redução é realizado, cuja potência proveniente do motor chega através do eixo de transmissão e a partir de um pinhão cônico com engrenagem de dente espiral engrazado em uma coroa, transmite a potência e muda o ângulo em 90° (HELIBRAS, 1992).

**Figura 14 - Redutor Cônico**

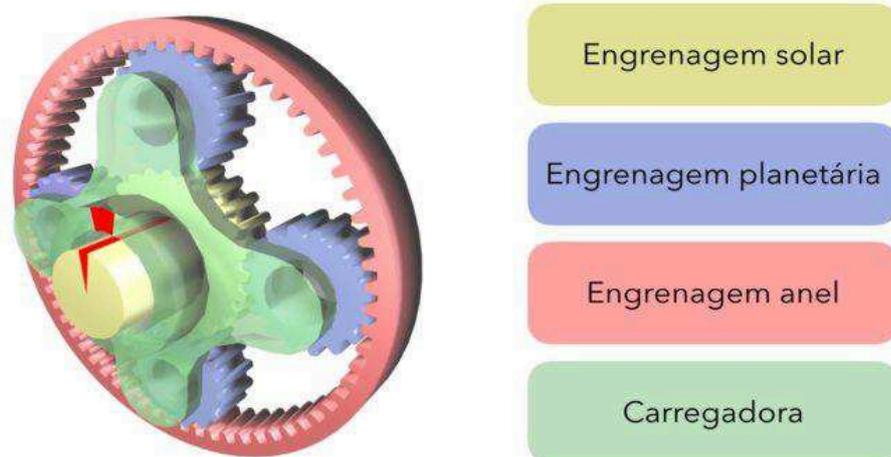
Fonte: CARRASCO (2017)

### 2.5.2 Conjunto epicicloidal

Este conjunto é o segundo estágio de redução, onde a diminuição de potência irá ocorrer por meio de um conjunto de engrenagens, formada por um pinhão (solar) engrenagem cilíndrica com dentes retos, cuja potência é proveniente do primeiro estágio e se conecta a cinco engrenagens cilíndricas com dentes retos (planetárias) instaladas de forma epicicloidal que são engrazadas em uma coroa fixa com dentes internos capaz de reduzir a potência até o valor necessário que irá ser fornecido para o rotor principal (HELIBRAS, 1992).

Estas engrenagens e pinhão recebem o nome de planetária e solar respectivamente, pela sua disposição ser similar ao sistema solar. Esse sistema gira no interior de uma engrenagem estacionária que é chamada de coroa dentada ou “engrenagem anel”. As engrenagens planetárias são conectadas por uma “carregadora”, que conecta a CTP ao mastro do rotor principal, conjunto este representado na Figura 15 (CARRASCO, 2017).

**Figura 15 - Ilustração dos componentes do conjunto epicicloidal**



Fonte: CARRASCO (2017)

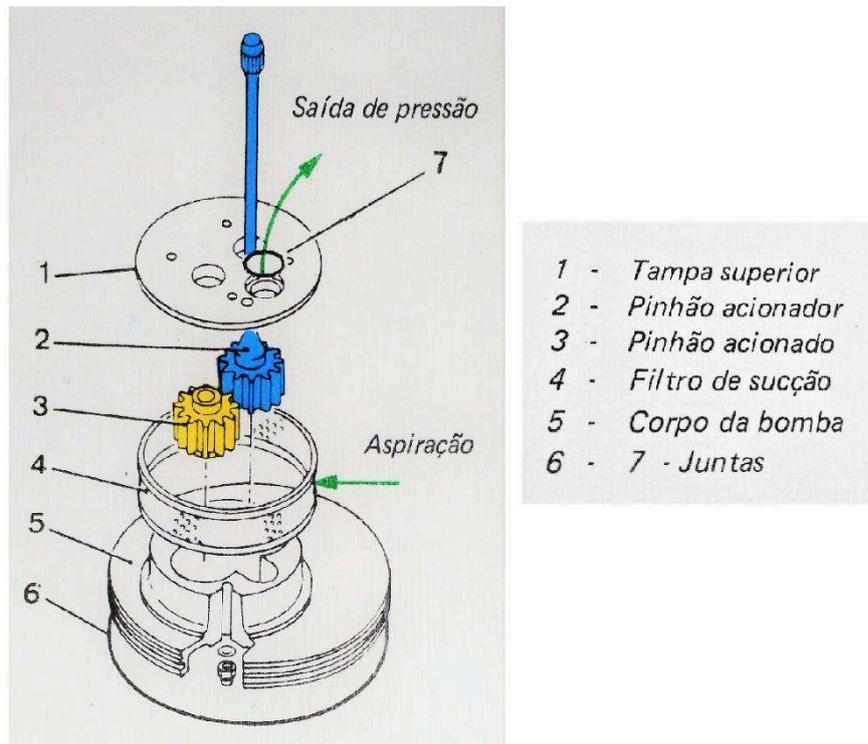
O conjunto cônico e o epicicloidal apesar de possuírem engrenagens de aço com ligas especiais estão propícios ao desgaste e corrosão, sendo necessário sofrer inspeções periódicas a fim de evitar um estado irreversível do componente.

### 2.5.3 Bomba de lubrificação

Uma bomba do tipo engrenagens é fixada no cárter inferior da CTP e pesando apenas 1,140 kg tem um papel fundamental para o conjunto, pois ela que gera a lubrificação necessária das engrenagens e dos rolamentos da CTP e do mastro do rotor principal. Seu mau funcionamento significa a perda da CTP em um prazo que varia de acordo com a utilização no momento da sua perda. A ausência de lubrificação nas engrenagens acarreta a um aumento dos esforços sobre as engrenagens, rolos, esferas e pistas de rolamento que sofrem fadiga anormal pelo atrito direto, em consequência ocorre um aumento de temperatura de funcionamento que pode provocar em curto prazo um engripamento (HELIBRAS, 1992).

Seu funcionamento se inicia pela aspiração do óleo do fundo da CTP, transferência para o radiador, que após refrigerar o óleo passa através de um filtro tipo tela antes de entrar na CTP e no cárter do mastro do rotor onde os giclês lubrificam os rolamentos e pinhões. Por fim pela força da gravidade esse óleo retorna para o fundo da caixa iniciando um novo ciclo. A Figura 16 mostra os itens e seu conjunto (HELIBRAS, 1992).

**Figura 16 - Bomba de óleo**



- 1 - Tampa superior
- 2 - Pinhão acionador
- 3 - Pinhão acionado
- 4 - Filtro de sucção
- 5 - Corpo da bomba
- 6 - 7 - Juntas

Fonte: HELIBRAS (1992)

## 2.6 INSPEÇÃO

As inspeções são exames, visuais e manuais, para determinar a condição de um componente em um helicóptero. No caso do item a ser analisado ela pode se estender desde uma simples inspeção visual até uma desmontagem completa (APOSTILA ANAC, 2002).

Para uma inspeção é necessário o conhecimento dos tipos que são utilizados no helicóptero, dentre eles a mais comum são as inspeções programadas (preventivas) que visam a melhor condição possível de funcionamento dos itens, reduzindo as falhas operacionais e defeitos do equipamento, podendo detectar e corrigir os defeitos o quanto antes. Os intervalos dessas inspeções são determinados pelo fabricante do helicóptero e incluídos no manual MSM, podendo ser aplicadas pelo sistema de horas de voo dos componentes (inspeção horária) ou tempo (inspeção calendária) (BLOG SESMT, 2015).

A manutenção preventiva é uma ação prevista e sistemática para revisão, monitoramento e controle dos itens, visando a detecção de um possível dano antes de seu surgimento, para assim reduzir a probabilidade da falha. Sua realização é

efetuada normalmente por um cronograma baseado em históricos e recomendações do fabricante (CIMM, 2018).

A manutenção preditiva é outro tipo de inspeção que visa por meio de equipamentos auxiliares monitorarem o funcionamento e as condições dos itens, para antecipar futuros problemas, acompanhando o dano até o momento que seja necessário uma inspeção corretiva (MANUTENÇÃO PREDITIVA, 2016).

A manutenção corretiva é considerada a mais indesejada, pois é utilizada quando o problema já ocorreu e precisa de solução, corrigindo e restaurando o item, além de ter um maior custo de operação, colocando seu componente em baixa em uma data não programada, o que não é desejado para quem possui um helicóptero (APOSTILA ANAC, 2002).

Na caixa de transmissão principal, item tema deste trabalho, a manutenção preventiva (inspeção horária e calendária) com a manutenção preditiva (contator termométrico, manocontator, detector de limalhas, etc.) geram uma união de processos e procedimentos que objetivam a não utilização da manutenção corretiva para manter sempre uma aeronavegabilidade desejável. Dentro dessas manutenções a CTP tem uma peculiaridade, por possuir várias engrenagens, o surgimento de corrosão nos seus dentes é ocorrente, necessitando de uma análise detalhada e o conhecimento sobre a corrosão e seus diversos tipos.

## 2.7 CORROSÃO

É considerada uma reação química ou eletroquímica em um determinado material, geralmente metálico, que causa deterioração do material pela interação físico-química entre o material e o meio operacional, esse fenômeno também é citado como reação de oxirredução onde um ganho (redução) e perda de elétrons (oxidação) ocorrem entre seus átomos (GENTIL, 1996).

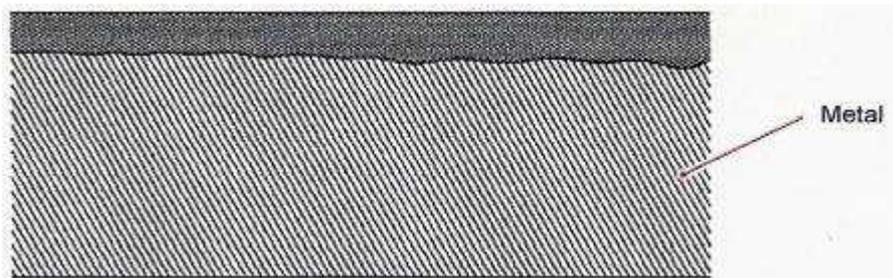
### 2.7.1 Corrosão Uniforme

Também conhecido como corrosão generalizada, este tipo é caracterizado pela erosão em toda a extensão da superfície, com desaparecimento ou formação

de bolhas no revestimento de proteção, devida sua ocorrência ser de maneira generalizada, as superfícies diminuem de maneira uniforme (HELIBRAS MTC, 2017).

É a forma mais comum e visível de corrosão, Figura 17, que geralmente se origina da oxidação do metal na presença de umidade ou por sua degradação por produtos químicos absorvidos com a sujeira em contato com as estruturas (água salgada, fumaça, gases de escapamento, resíduos de combustão de propulsão química, eletrólitos de bateria, excrementos nos compartimentos sanitários) (HELIBRAS MTC, 2017).

**Figura 17 - Corrosão generalizada**

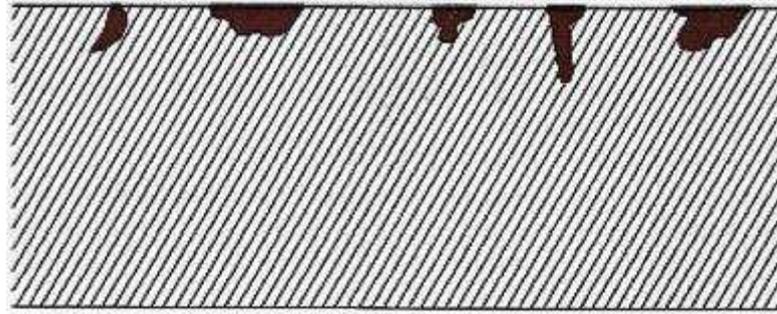


Fonte: HELIBRAS MTC (2017)

### **2.7.2 Corrosão puntiforme (*pitting*)**

A corrosão por “*pitting*” ou pontos de corrosão aparece na forma de degradação local de uma superfície metálica produzindo pites que são cavidades que possuem seu fundo em forma angulosa e profundidade maior que seu diâmetro, Figura 18, e se desenvolve quando: a proteção local tiver sido eliminada; houver heterogeneidade interna da liga (tratamento térmico ou mecânico defeituoso) ou da superfície (usinagem inadequada); ocorrer estagnação de um produto corrosivo (HELIBRAS MTC, 2017).

**Figura 18 - Corrosão por “pitting”**



**Fonte: HELIBRAS MTC (2017)**

Este tipo de corrosão é geralmente encontrado em ligas nas quais uma película protetora de óxido é formada rapidamente na superfície, bem como em metais protegidos por camadas de cádmio, níquel, cromo, etc., e cuja película é muito fina ou onde a aspereza da superfície é muito significativa. Geralmente ela é transformada em corrosão com trincas pela ampliação e propagação abaixo da superfície quando a estagnação de umidade cheia de cloro na parte inferior do ponto de corrosão. Deve-se destacar que esta corrosão é do tipo anódico e que a parte inferior da trinca representa o ânodo (HELIBRAS MTC, 2017).

A ação corrosiva na parte inferior do ponto de corrosão aumenta a concentração de eletrólito, e a velocidade da corrosão aumenta conforme a profundidade do ponto de corrosão aumenta. Arranhões causados por impactos ou atrito são locais ideais para depósitos de partículas metálicas que levam a corrosão puntiforme, este tipo de corrosão pode afetar rapidamente a segurança de voo (HELIBRAS MTC, 2017).

## **3 METODOLOGIA**

### **3.1 CLASSIFICAÇÃO DOS MÉTODOS DE PESQUISA**

Considerada a definição primordial a ser investigada, a seleção do foco da pesquisa é o início para composição de um trabalho científico, constituída por meio de um amplo trabalho de revisão bibliográfica, recomendação de profissionais da área, pesquisadores, ou desenvolvido a partir do conhecimento, que sustenta a definição da metodologia (CRESWELL, 1994).

#### **3.1.1 De acordo com a abordagem**

Conforme Pereira (2007), após definido o foco, o próximo passo é a escolha do modelo de pesquisa que orientará as próximas ações. Pela perspectiva da maneira da abordagem do problema, esse modelo de pesquisa pode ser qualitativo ou quantitativo.

Para Da Silva (2005), a pesquisa quantitativa julga todas as coisas que podem ser quantificáveis, significando a tradução em números para a classificação e análise de opiniões e informações, sendo necessária para isto a utilização de recursos e técnicas estatísticas. Por sua vez, a pesquisa qualitativa julga a existência de uma inter-relação entre o mundo real e o indivíduo, ou seja, um elo intrínseco entre o mundo objetivo e a intangibilidade do indivíduo, não requerendo a tradução dos números nem necessitando de recursos e técnicas estatísticas.

Para Bryman (1989), as análises quantitativas são clássicas, com preceitos e metodologias claras, fixas e de baixo risco, da mesma forma como os instrumentos e, com menor tempo gasto, o que não se apresenta, nas análises qualitativas, pois estas não possuem preceitos e metodologias claras e fixas, tendo a necessidade de acolher os riscos pertencentes aos procedimentos que admitem dúvidas.

### **3.1.2 De acordo com o objetivo**

De acordo com os objetivos, as pesquisas podem ser classificadas em Pesquisa Exploratória, Pesquisa Descritiva e Pesquisa Explicativa (GIL, 1991).

A Pesquisa Exploratória proporciona maior intimidade com o problema a fim de torná-lo compreensível e propiciar um sólido conceito para a elaboração das hipóteses, envolvendo investigação bibliográfica, entrevistas com indivíduos que presenciaram experiências práticas com o problema de pesquisa e a interpretação de modelos que possam estimular o entendimento, sendo evidenciadas normalmente pelas pesquisas bibliográficas e estudos de caso (GIL, 1991; MALHOTRA, 2004).

A Pesquisa Descritiva descreve os atributos de uma determinada população ou episódios ou a definição dos vínculos entre variáveis, com a utilização de práticas normalizadas de coleta de dados, como questionários e análises sistemáticas, sendo assumidas geralmente na forma de levantamento (GIL, 1991).

A Pesquisa Explicativa identifica os princípios que estabelecem ou colaboram na ocorrência dos fenômenos, explicando a razão das coisas devido ao aprofundamento cognitivo. Em ciências naturais há a necessidade da utilização do método experimental, e nas ciências sociais, da utilização do método observacional, assumindo, geralmente, a forma de Pesquisa Experimental e Pesquisa Expo-facto (GIL, 1991).

### **3.1.3 De acordo com os procedimentos técnicos**

Já de acordo com os procedimentos técnicos, as pesquisas, segundo Gil (1991), são classificadas em: pesquisa Bibliográfica, quando desenvolvida por referências teóricas já publicadas, composta essencialmente de livros, artigos de periódicos e nos dias atuais por teorias publicadas na internet; pesquisa documental, elaborada a partir de materiais sem procedimento de análise crítica; pesquisa experimental, por meio da determinação de um elemento de estudo, distinguindo-se os fatores que são qualificados para sua influência, conceituam-se os modelos de

controle e de observação das influências dos fatores sobre o objeto; levantamento, por meio da interrogação direta dos indivíduos cujas atitudes se pretendem conhecer; estudo de caso, quando se aprofunda laboriosamente no estudo de um único ou alguns elementos, permitindo uma abrangência significativa e detalhada no conhecimento destes elementos; pesquisa *ex-post-facto*, tendo a execução dos experimentos após os fatos; pesquisa *ação*, quando desenvolvida e executada em estreita combinação com uma ação ou com a solução de uma dificuldade global, e possui o envolvimento cooperativo ou participativo dos pesquisadores e integrantes representativos da circunstância ou do problema e a pesquisa participante, desenvolvida a partir da influência recíproca entre pesquisadores e elementos integrantes das ocorrências investigadas.

## 4 DESENVOLVIMENTO

Para realizar uma análise detalhada abrangendo todo o conjunto da caixa de transmissão principal, o modelo de pesquisa qualitativo foi utilizado, cuja característica é a observação do comportamento, atitude e percepções do item, gerando uma coleta de dados não estruturados, que não utilizam técnicas estatísticas e seus números não são contabilizados (NORMAS E REGRAS, 2016).

De acordo com o objetivo a pesquisa utilizada foi classificada em exploratória, que leva em geral o aspecto de pesquisas bibliográficas e estudos de caso, proporcionando maior intimidade com o problema (GIL, 1991; MALHOTRA, 2004).

Por fim de acordo com os procedimentos técnicos o tipo de pesquisa bibliográfica fica evidenciado pela utilização do manual de manutenção (MET) do helicóptero Airbus AS550, onde no capítulo 63 – Acionamento do rotor principal é demonstrado todas as manutenção e inspeções referentes à CTP, além da utilização do manual de instruções para mecânicos (THM), onde todas as características do modelo de helicóptero estudado são encontradas.

### 4.1 INSPEÇÃO DA CAIXA DE TRANSMISSÃO PRINCIPAL

Para um bom funcionamento e monitoramento do conjunto, têm-se diversas inspeções e manutenções realizadas em cada item que forma a CTP, porém este trabalho terá ênfase nas inspeções relacionadas às engrenagens que formam os módulos epicicloidial, cônico e bomba de óleo.

De acordo com o fabricante pelo programa de manutenção, várias inspeções se dividem em periodicidades, exemplos: “A/T” 500 horas/24 meses e “2T” 48 meses, subdivididas para cada componente, além de uma revisão geral após 12 anos de operação.

Abaixo serão demonstrados os principais itens inspecionados em uma CTP, e posteriormente uma especificação referente aos módulos epicicloidial e cônico.

- a) Conjunto ligação motor/CTP;

- b) Filtro de óleo;
- c) Suspensão bidirecional;
- d) Termocontator e alarme de temperatura do óleo;
- e) Conjunto CTP e módulos;
  - Módulo de redutor epicicloidal;
  - Bomba de óleo;
  - Freio Rotor;
  - Módulo de redutor cônico;
- f) Verificação das ranhuras na ligação eixo vertical/planetária;
- g) Barras de suspensão da CTP;
- h) Verificação visual do conjunto aparafusado coroa cônica/eixo do rotor;
- i) Verificação do Rolamento de acionamento da bomba hidráulica;
- j) Verificação e segurança do freio rotor;
- k) Tomada de potência da bomba hidráulica;
- l) Suportes e fixações.

#### 4.2 INSPEÇÃO DAS ENGRENAGENS DOS MÓDULOS DA CTP

Para a inspeção das engrenagens dos módulos da CTP, devem-se tomar diversas ações a fim de manter a aeronavegabilidade em dia. Para iniciar a manutenção uma desmontagem completa dos módulos da CTP deve ser efetuada, subdividindo o conjunto em cárter inferior e cárter superior, obtendo acesso ao módulo cônico e bomba de óleo. Após todo o conjunto desmontado e separado é dado início a limpeza, item de suma importância, pois antes de qualquer manutenção até mesmo uma simples inspeção visual uma boa limpeza evita análises errôneas e se feita com produtos inadequados para o tipo de material a ser limpo, pode gerar corrosão de níveis irreversíveis causando a perda do componente (HELIBRAS, 2017).

Na coroa cônica, na roda cônica, nas pistas externas do rolamento, Figura 19, bem como no módulo do redutor epicicloidal, Figura 20, é realizado nas engrenagens uma verificação do estado (desgaste) e a ausência de corrosão. Essa verificação é feita a princípio visualmente com auxílio de lupa e lanterna, e se algo

fora da especificação do manual de manutenção for detectado o mesmo trará as tolerâncias e os métodos para o reparo (HELIBRAS, 2017).

**Figura 19 - Coroa cônica com as pistas externas do rolamento e roda cônica**



Fonte: Autoria própria

**Figura 20 - Conjunto epicicloidal**



Fonte: Autoria própria

Em caso de desgaste excessivo acima de 1 mm, medido por um relógio apalpador, nos dentes da engrenagem do redutor cônico, a substituição do mesmo deve ser feita, como uma inspeção preventiva deste desgaste, têm-se a análise espectrométrica do óleo onde pequenas partículas de metal devem ser encontradas a partir de uma drenagem demonstrativa do óleo de arrefecimento da CTP, confirmando a perda de material das engrenagens (HELIBRAS, 2017).

Nas engrenagens em questão o principal dano que ocorre e gera uma manutenção corretiva é a corrosão, que quase em sua totalidade a partir de estudos de casos, aparecem no tipo superficial e puntiforme (*pitting*). Quando a corrosão superficial é detectada, uma folha abrasiva deve ser utilizada para a sua total remoção e se mesmo assim não for possível, uma lixa abrasiva com até 400 grãos/cm<sup>2</sup>, pode ser usada, no caso de *pitting* também é utilizada a folha e a lixa abrasiva, porém se não obtido sucesso na remoção, um último processo de retífica deve ser empregado, e por fim se mesmo após esse procedimento a corrosão persistir ou ultrapassar o limite de material removido como especificado em manual, o componente deve ser condenado e substituído (HELIBRAS, 2017).

#### 4.3 INSPEÇÃO DA BOMBA DE ÓLEO

A bomba de óleo como visto anteriormente é formado por duas engrenagens cilíndricas com dentes retos de liga especial de aço, assim como as engrenagens dos módulos da CTP também sofre de corrosão e desgaste. Sua inspeção é feita visualmente, sendo que na desmontagem as porcas e arruelas de vedação são sucateadas, assim como as juntas (*o-rings*). Após a desmontagem completa, uma limpeza com produto químico recomendado pelo fabricante é realizada, para que assim a inspeção possa ter confiabilidade, essa limpeza se mostra de alta relevância, por se localizar na parte inferior da CTP e a mesma trabalhar com lubrificação por gravidade, a bomba pode receber sujeiras e limalhas de todo o conjunto. Na inspeção visual os três aspectos que se devem observar são a corrosão, um caso mais raro de ocorrer por estar sempre lubrificado, a trinca, que pode ocorrer em caso de travamento das engrenagens, e o desgaste, mais comum pela elevada rotação das engrenagens quando entram em contato com a tampa superior e o corpo da bomba. Em caso de trinca o critério a ser seguido é a substituição direta do item, e nos casos de corrosão ou desgaste um limite de tolerância é adotado, sendo que a bomba não precisa ser condenada por inteira.

#### 4.4 CÁLCULOS DE TRANSMISSÃO

Os cálculos provenientes nas engrenagens têm a função de realizar um projeto efetivo para a redução e transmissão da potência.

As Fórmulas 1 e 2 são utilizadas para a redução da potência no seu primeiro estágio (reductor cônico) e de razão de redução, onde o número de dentes da coroa (61) é dividido pelo número de dentes do pinhão (17), o que reduz a rotação de 6125 rpm para 1706 rpm.

1° estágio reductor cônico:

Razão de redução:

$$\frac{n^{\circ} \text{ dentes da coroa}}{n^{\circ} \text{ dentes do pinhão}} = \frac{61}{17} \cong 3,588 \quad (1)$$

Rotação proveniente do motor: 6125 rpm

$$\frac{6125}{3,5882352941} \cong 1706 \text{ rpm} \quad (2)$$

No segundo estágio (reductor epicicloidal) as Fórmulas 3 e 4 também são de razão de redução, onde o número de dentes da engrenagem solar (30) soma-se ao número de dentes da engrenagem anel (100) e divide-se pelo número de dentes da engrenagem planetária (30), transformando a redução final de saída em 394 rpm (HELIBRAS, 1992).

2° estágio reductor epicicloidal:

Razão de redução:

$$\frac{(n^{\circ} \text{ dentes da engrenagem solar} + n^{\circ} \text{ dentes da engrenagem anel})}{n^{\circ} \text{ dentes da engrenagem planetária}} = \frac{(30+100)}{30} \cong 4,333 \quad (3)$$

Rotação proveniente do 1° estágio: 1706 rpm

$$\frac{1706}{4,333} \cong 394 \text{ rpm} \quad (4)$$

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao realizar uma manutenção preventiva completa na CTP, destaca-se o alto nível de atenção que o operador deve ter para realizar uma inspeção precisa e eficiente, apesar de ser praticamente feita por inspeção visual, o grande número de engrenagens que se ligam e trabalham com altas velocidades e potências necessitam de muito cuidado, pois um desgaste ou corrosão não detectado pode posteriormente gerar uma falha nos dentes das engrenagens e afetar o conjunto por inteiro, que se estiver em voo pode causar uma grande tragédia.

Outro aspecto a ser discutido e que gera dúvidas é a grande ocorrência de corrosão, como já citado anteriormente, que vêm sendo corriqueira na parte externa da engrenagem anel, identificada na Figura 21, essa engrenagem faz parte do conjunto epicicloidal e fica localizada entre o cárter superior e o mastro do rotor principal, área de menor contato com o óleo dentre os componentes da CTP feitos de liga de alumínio, sendo que na sua parte em contato com o mastro uma junta de papel é instalada, e na parte em contato com o cárter apenas a pintura base protege e evita o contato entre os diferentes materiais (alumínio/magnésio), afirmando assim que uma solução como uma proteção mais efetiva ou inspeções em menores intervalos de tempo pode ser considerada para reduzir e evitar a corrosão.

**Figura 21 - Engrenagem anel e junta de papel**



**Fonte: Autoria própria**

## 6 CONCLUSÃO

Por fim, é evidenciado que os maiores contribuintes nas ocorrências aeronáuticas estão associados diretamente a falhas humanas, então, a necessidade do alto grau de atenção e conhecimento do mecânico de manutenção e seu inspetor durante a abertura, inspeção, manutenção e fechamento da CTP é de extrema relevância. O fato do manual de manutenção tratar simplificada e da sua abertura e fechamento expõe a importância do profissional possuir o *know-how* (conjunto de conhecimentos práticos) do procedimento. Outro fato que evidencia essa importância é a tomada correta de decisão para se detectar uma corrosão, a fim de identificar seu tipo e utilizar os métodos necessários para sua remoção. Além dessas prerrogativas, o mecânico também é responsável pela manutenção preditiva do sistema de monitoramento da lubrificação do conjunto, assim como pela verificação constante das atualizações dos manuais de manutenção e de informações provenientes de estudos de casos que podem gerar melhorias para a CTP, mantendo desta forma, a segurança de voo desejada, evitando a perda de vidas e de material.

Como sugestão para novas pesquisas a partir deste trabalho, têm-se:

- Um estudo sobre a função, eficiência e material da junta e da proteção de tinta na área da engrenagem anel, aparece como uma futura melhoria, com o objetivo de evitar a recorrência de manutenção ou perda deste componente.
- Produzir uma segunda forma de remoção de tinta dos cárteres, pois os mesmos são feitos de magnésio, material cujo qualquer produto químico com esta finalidade é rejeitado, tornando a única forma de remoção de tinta pelo sistema de jateamento abrasivo, sistema que só é rentável se for utilizado em grandes componentes ou em grande escala.
- Desenvolver uma análise da CTP, como realizado nesse trabalho de graduação, empregando outros modelos de helicópteros, como exemplo a aeronave AIRBUS AS365K, que possui componentes mais complexos e detalhados.

## REFERÊNCIAS

ALTMAN, M. **Hoje na história: 1907 – Na França, Paul Cornu realiza primeiro voo de helicóptero.** 2013. Disponível em: <https://operamundi.uol.com.br/historia/32384/hoje-na-historia-1907-na-franca-paul-cornu-realiza-primeiro-voo-de-helicoptero>. Acesso em 25/05/2018.

APOSTILA ANAC – INSTITUTO DE AVIAÇÃO CIVIL-IAC. **Apostila de matérias básicas do curso de mecânico de manutenção de aeronaves.** 2002. Cap. 10.

AUTOENTUSIASTAS. **O Fator mecatrônico 3ª parte.** 2017. Disponível em: [www.autoentusiastas.com.br/2017/04/o-fator-mecatronico-3a-parte/](http://www.autoentusiastas.com.br/2017/04/o-fator-mecatronico-3a-parte/). Acesso em 07/05/2018.

BIOGRAFIAS. **Igor Sikorsky.** 2014. Disponível em: <https://www.biografias.es/famosos/igor-sikorsky.html>. Acesso em 21/04/2018.

BLOG SESMT. **Diferença entre Manutenção preventiva / corretiva / preditiva / detectiva.** 2015. Disponível em: <http://www.sesmt.com.br/Artigo/sesmt-diferenca-entre-manutencao-preventiva-corretiva-preditiva-detectiva>. Acesso em: 11/06/2018.

BRITANNICA ESCOLA. **HELICÓPTERO.** 2010. Disponível em: [www.escola.britannica.com.br/levels/fundamental/assembly/view/134468](http://www.escola.britannica.com.br/levels/fundamental/assembly/view/134468). Acesso em: 29/06/2018.

BRYMAN, A. **Research Method and Organization Studies.** London, New Fetter Lane, 1989.

BUDYNAS, R.G.; NISBETT, J.K. **Elementos de máquinas de Shigley.** 8ª ed. New York: The Mc Graw-Hill Companies, 2011.

CARRASCO, L. **Do motor aos rotores: entendendo o sistema de transmissão.** 2017. Disponível em: [HTTP://www.rotaativa.com/do-motor-ao-rotor-entendendo-o-sistema-de-transmissao/](http://www.rotaativa.com/do-motor-ao-rotor-entendendo-o-sistema-de-transmissao/). Acesso em 29/05/2018.

CHANT, C. **A CENTURY OF TRIUMPH: The history of aviation.** 1ª ed. Delaware: Free Press, 2002.

CIMM. **Definição – O que é Manutenção preventiva.** 2018 Disponível em: <https://www.cimm.com.br/portal/verbetes/exibir/498-manutencao-preventiva>. Acesso em: 21/05/2018.

CONSERVADORISMO DO BRASIL. **Vought-Sikorsky VS-300, o primeiro helicóptero de rotor único da história.** 2017. Disponível em: [www.conservadorismodobrasil.com.br/2017/04/vought-sikorsky-vs-300-o-primeiro-helicoptero-de-rotor-unico-da-historia.html/amp](http://www.conservadorismodobrasil.com.br/2017/04/vought-sikorsky-vs-300-o-primeiro-helicoptero-de-rotor-unico-da-historia.html/amp). Acesso em: 16/06/2018.

CORDEIRO, J. H.; DIAS, M. N. **HELICÓPTEROS NOSSA PAIXÃO**. 1º ed. EDRA AERONÁUTICA, 2002.

COSTA, M. **Helibras HB-350B B1 Esquilo na FAB**. 2017. Disponível em: [HTTP://www.armasnacionais.com/2017/07/helibras-hb-350b-b1-esquilo-na-fab.html?m=1](http://www.armasnacionais.com/2017/07/helibras-hb-350b-b1-esquilo-na-fab.html?m=1). Acesso em 11/07/2018.

CRESWELL, J. W. **Research Design: qualitative & quantitative approaches**. Resumo feito por Elisabeth Adriana Dudziack. London: Sage, 1994.

CTIE. **The Pioneers: An anthology: Louis Charles Bréguet (1880-1955)**. 2002. Disponível em: [www.ctie.monash.edu.au/hargrave/breguet.html](http://www.ctie.monash.edu.au/hargrave/breguet.html). Acesso em 16/05/2018.

DA SILVA, E. L. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4 ed. rev. Atual – Florianópolis: UFSC, 2005.

DA SILVA, P. R. **Helicóptero – Conhecimentos Técnicos noções fundamentais**. 3º ed. São Paulo: ASA Edições e Artes Gráficas Ltda, 2010.

FILHO, M. S. **ENGRENAGENS**. 1º ed. São Paulo: MCGRAW-HILL DO BRASIL LTDA, 1973.

GENTIL, V. **CORROSÃO**. 3º ed. LTC-Livros Técnicos e Científicos. Editora S.A., 1996.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.

HELIBRAS - HELICÓPTEROS DO BRASIL S.A. **H125M O helicóptero armado leve**. 2016. Disponível em: [http://www.helibras.com.br/website/po/ref/H125M\\_33.html](http://www.helibras.com.br/website/po/ref/H125M_33.html). Acesso em 11/07/2018.

HELIBRAS – HELICÓPTEROS DO BRASIL S.A. **MANUAL DE INSTRUÇÃO DE MECÂNICOS (THM) HB 350B ESQUILO**. 1992.

HELIBRAS - HELICÓPTEROS DO BRASIL S.A. **MANUAL DE MANUTENÇÃO (MET) AS550 A2, C2, U2**. 1º ed. Cap. 63. 2017.

HELIBRAS MTC – HELICÓPTEROS DO BRASIL S.A. **MANUAL DE TÉCNICAS CORRENTES (MTC)**. Cap 20-90-01. Revisão 06. 2017.

JOHNSON, W. **Helicopter theory**. 1º ed. New York: The Mc Graw-Hill do Brasil, 1994.

MALHOTRA, N. K. **Pesquisa de Marketing: Uma Orientação Aplicada**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

MANUTENÇÃO PREDITIVA. **Manutenção Preventiva x Manutenção Preditiva: Saiba a diferença.** 2016. Disponível em: <https://www.manutencaopreditiva.com/manutencao/manutencao-preventiva-x-preditiva>. Acesso em 27/05/2018.

NORMAS & REGRAS. **Pesquisa qualitativa – o que é? Como fazer uma? TCC e monografias.** 2016. Disponível em: <https://normaseregras.com/dicas/pesquisa-qualitativa/>. Acesso em 23/06/2018.

OOCITIES. **Paul Cornu.** 2009. Disponível em: [www.oocities.org/capecanaveral/launchpad/5249/cornu.htm](http://www.oocities.org/capecanaveral/launchpad/5249/cornu.htm). Acesso em 23/06/2018.

PEREIRA, V. R. **Necessidades do cliente do setor automobilístico: um estudo das percepções de agentes dos elos da cadeia automotiva.** – 112p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.

VILA, C. **Inspirations from maths.** 2018. Disponível em: [https://www.eteraestudios.com/docs\\_html/inspirations\\_hm/maths\\_index.htm](https://www.eteraestudios.com/docs_html/inspirations_hm/maths_index.htm)  
Acesso em: 13/03/2018.