

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS -
CAMPUS AVANÇADO ARCOS
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Maxwell Jonathan Azevedo Santos

**ANÁLISE DA OPERAÇÃO DE MANUTENÇÃO DE UM *SWASH PLATE* DA
FABRICANTE ROBINSON DO MODELO DE HELICÓPTERO R66 E PROPOSTA
DE NOVO DESIGN PARA A PEÇA**

Arcos, MG
2021

MAXWELL JONATHAN AZEVEDO SANTOS

**ANÁLISE DA OPERAÇÃO DE MANUTENÇÃO DE UM *SWASH PLATE* DA
FABRICANTE ROBINSON DO MODELO DE HELICÓPTERO R66 E PROPOSTA
DE NOVO DESIGN PARA A PEÇA**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado ao Instituto Federal de Minas Gerais - *Campus Arcos*, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Msc. Luiz Augusto Ferreira de Campus Viana

Arcos, MG

2021



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Avançado Arcos
Diretoria de Ensino
Docentes Área Técnica
Av. Juscelino Kubitschek, 485 - Bairro Brasília - CEP 35588000 - Arcos - MG
3733515173 - www.ifmg.edu.br

Ata de aprovação de Trabalho de Conclusão de Curso

Aos vinte e quatro dias de novembro de dois mil e vinte e um, às vinte horas, se reuniu por meio da plataforma Google Meet a banca composta por **Prof. Me. Luiz Augusto Ferreira de Campos Viana** (orientador), Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Avançado Arcos; **Prof. Me. Marcelo Teodoro Assunção**, Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Avançado Arcos; **Eng. Bruno Carlos Porto Pimenta**, Claro Aviação; para avaliar o trabalho intitulado “ANÁLISE DA OPERAÇÃO DE MANUTENÇÃO DE UM SWASH PLATE DE HELICÓPTEROS E PROPOSTA DE NOVO DESIGN PARA A PEÇA”, apresentado pelo aluno **Maxwell Jonathan Azevedo Santos**, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Engenheiro Mecânico. Após apresentação e arguição, emitiu-se o parecer “aprovado”, sendo a verificação das modificações sugeridas de responsabilidade do orientador. Para fins de registro na disciplina Trabalho Acadêmico Integrador X, a banca avaliadora emite, em consenso, o conceito final 95. Nada mais havendo a tratar a defesa foi encerrada às vinte e uma horas e trinta minutos e eu, Luiz Augusto Ferreira de Campos Viana, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada, foi assinada por todos os avaliadores.

Arcos, 24 de novembro de 2021.



Documento assinado eletronicamente por **Luiz Augusto Ferreira de Campos Viana, Professor**, em 24/11/2021, às 21:02, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Marcelo Teodoro Assunção, Professor**, em 24/11/2021, às 21:02, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Bruno Carlos Porto Pimenta, Usuário Externo**, em 24/11/2021, às 21:03, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **1017417** e o código CRC **8AD91E9C**.

23808.000874/2021-18

1017417v1

AGRADECIMENTOS

Sou grato a Deus por me proporcionar saúde para correr atrás dos meus sonhos, mas nenhum desses sonhos seriam possíveis sem minha mãe, meu pai, meus irmãos, minhas tias e meus primos, que sempre me forneceram todo o apoio necessário.

Agradeço aos meus amigos, que me ensinaram lições valiosas sobre a vida profissional, acadêmica e principalmente pessoal, sempre me ajudando nos estudos, proporcionando festas incríveis, para que eu não ficasse doido.

Me sinto uma pessoa de sorte por sempre ter tido a oportunidade de possuir grandes mestres, que sempre me mostravam o melhor caminho para que eu pudesse me tornar um profissional de excelência e um ser humano íntegro.

Agradeço em especial o professor, orientador, coordenador e amigo Luiz Viana, esse sim me ouviu reclamar bastante, mas sempre possuía uma resposta extremamente sensata, resolvendo as minhas demandas e solicitações de forma excepcional. Uma das primeiras pessoas que me fizeram acreditar que possuo potencial para alcançar grandes coisas na vida, em todo momento me ajudando e confiando na minha capacidade. Muito obrigado Luiz, garanto que minha graduação não seria a mesma se eu não tivesse tido o prazer de lhe conhecer.

Esse trabalho teve grande participação do Leandro Freire e Jonas Costa, amigos que a graduação me deu e que me ajudaram de grande forma na elaboração da modelagem, além das horas trocando experiências e conversando nas reuniões virtuais. Muito obrigado a vocês por terem despendido várias horas para auxílio no desenvolvimento dos modelos tridimensionais, vocês vão chegar longe, muito mais do que vocês imaginam.

Sou extremamente grato à Claro Aviação e toda sua equipe de manutenção, em especial ao Mecânico Hilton Mar Filho (Ton) e ao Gerente de manutenção Bruno Pimenta, pessoas que possibilitaram a realização das visitas técnicas da melhor forma possível, sempre com a maior disposição para esclarecer minhas dúvidas, problemas e demandas, presencial e virtualmente, esse trabalho não teria sido desenvolvido sem a grande ajuda do Ton e do Bruno.

Por fim, obrigados a todos que estão na vida e que já passaram, mesmo que ficaram pouco tempo, vocês me fizeram chegar até aqui e agora o limite é o céu!!!

“O que sempre me moveu foi a inquietação de
perguntar se não existe uma maneira melhor de fazer algo“
(Ozires Silva)

RESUMO

O presente trabalho propõe a modificação do sistema e método de lubrificação do *Swash Plate* do helicóptero modelo R66 da fabricante *Robinson*. Apresentando os principais problemas que uma lubrificação inadequada pode resultar e as dificuldades de lubrificação que o método atual apresenta. Realizando a implementação de um ponto de lubrificação no *Swash Plate* fixo, onde a melhoria do sistema proporciona menor tempo para lubrificação do componente e modernização no método de lubrificação. Utilizando o *software Inventor Student*, foi efetuado a modelagem do novo *Swash Plate*, onde foi implementado no prato fixo um pino graxeiro e realizada abertura de um canal interno, com o intuito de facilitar a lubrificação. A proposta de modificação do projeto do *Swash Plate* apresentada neste trabalho tem sua relevância justificada pelo fato de uma manutenção bem realizada em componentes de aeronaves reduzir os riscos de acidentes.

Palavras-chave: Helicóptero, Lubrificação, *Inventor Student*, *Robinson* e *Swash Plate*.

ABSTRACT

This paper proposes the modification of the system and method of lubrication of the Swash Plate of the helicopter model R66 from the manufacturer Robinson. Presenting the main problems that an inadequate lubrication can result and the difficulties that the actual lubrication method presents. The implementation of a lubrication point in the fixed Swash Plate, where the improvement of the system provides less time for lubrication of the component and modernization in the lubrication method. Using the Inventor Student software, the new Swash Plate model have been developed, where a grease pin have been implemented in the fixed plate, and an internal channel have been opened, in order to facilitate the lubrication. The proposed modification of the Swash Plate project presented in this work has its relevance justified by the fact that a well performed maintenance on aircraft components reduces the risks of accidents.

Keywords: Helicopter, Lubrification, Inventor Student, Robinson and *Swash Plate*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – <i>Swash Plate R66</i>	12
Figura 2 – Movimentação do cíclico	13
Figura 3 – Movimentação do coletivo	13
Figura 4 – Sistema do rotor principal	14
Figura 5 – <i>Swash Plate helicóptero Bell 206</i>	14
Figura 6 – <i>Swash Plate helicóptero Mil Mi-17</i>	15
Figura 7 – <i>Swash Plate Kamov ka-32</i>	15
Figura 8 – <i>Swash Plate Helicóptero Kamov Ka-26</i>	15
Figura 9 – Diagrama de <i>Ishikawa</i>	16
Figura 10 – <i>Swash Plate</i> do acidente H-1H 8667	17
Figura 11 – <i>Swash Plate</i> da Esquilo	18
Figura 12 – Hagar Claro Aviação	19
Figura 13 – Seringa com bico adaptado para lubrificação	21
Figura 14 – Local de lubrificação do rolamento	21
Figura 15 – Diagrama de <i>Ishikawa</i> do <i>Swash Plate</i>	22
Figura 16 – Graxeira	23
Figura 17 – Canal de lubrificação	24
Figura 18 – Modelagem em corte do <i>Swash Plate</i>	24
Figura 19 – Modelagem do <i>Swash Plate</i>	25
Figura 20 – Vista explodida do <i>Swash Plate</i>	29
Figura 21 – Prato superior do <i>Swash Plate</i>	31
Figura 22 – Prato inferior do <i>Swash Plate</i>	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	11
2.1	Objetivos gerais	11
2.2	Objetivos específicos	11
3	JUSTIFICATIVA	11
4	REFERENCIAL TEÓRICO	12
4.1	O que é um <i>Swash Plate</i>	12
4.2	Modelos de <i>Swash Plate</i>	14
4.3	Ferramentas da Qualidade	16
4.4	Acidente devido à manutenção incorreta do <i>Swash Plate</i>	16
4.5	<i>Swash Plate</i> com Ponto de Lubrificação	17
4.6	Esforços aos quais o <i>Swash Plate</i> é submetido	18
5	METODOLOGIA	19
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	20
7	CONCLUSÃO	26
	Referências	27
	APÊNDICE A – MODELAGEM	29
	ANEXO A – VISTAS EXPLODIDA DO <i>SWASH PLATE</i>	32

1 INTRODUÇÃO

A aviação surgiu com a vontade do homem de voar como os pássaros. Um dos primeiros registros da tentativa de voo foi em 400 a.C., realizada por Archytas, um estudioso da Grécia antiga que realizou a construção de um pombo de madeira que alçava voos em média de 180 metros, segundo Pozzebom (2015). Assim, pode ser visto que desde os primórdios da humanidade, os seres humanos desejavam criar algo para se locomoverem pelo céu.

De acordo com Pozzebom (2015), passaram-se alguns anos e a ambição de voar só aumentava, fazendo com que no ano de 1903 ocorresse o primeiro voo, na Carolina do Norte, feito pelos irmãos Wright. O segundo voo, ocorreu no ano de 1906 em Paris, feito por Alberto Santos Dumont com o seu 14-Bis. Após conseguirem realizar o voo os irmãos Wright patentearam o aparelho voador controlado (avião), com isso eles puderam promover o primeiro voo comercial do mundo em 1910.

O acontecimento das duas grandes guerras mundiais foi muito importante para o desenvolvimento tecnológico de várias áreas, sendo a aviação, uma delas. As aeronaves passaram a ser utilizadas para o transporte de soldados, suprimentos, armamento, veículos e tudo o que fosse necessário nos campos de batalha. Com o fim da segunda guerra mundial a aviação comercial se iniciou, tendo fabricantes como Boeing e Airbus, o domínio do mercado no século XX, conforme Pozzebom (2015).

Em conformidade com Leishman (2008), entre suas centenas de desenhos intrincados, o visionário renascentista Leonardo Da Vinci mostra uma máquina que pode ser considerada o embrião do helicóptero de transporte humano. Seu esboço do fuso aéreo ou dispositivo giroscópio aéreo realizado no ano de 1483, deu início ao estudo sobre os helicópteros. Entretanto, apenas em 1908 com a criação do motor rotativo, por Emil Berliner, foi possível iniciar o desenvolvimento destas aeronaves.

Em 1938 foi criado por Anton Flettner o primeiro helicóptero realmente funcional, o modelo FL 265, de acordo com a empresa ADS Latin (2019). Sendo o início da criação de um meio de transporte, que com o tempo adquiriu diversas finalidades, devido sua fácil locomoção e a não necessidade de grandes espaços de aterrissagem, decolagem e locomoção, comparados aos aviões. Helicópteros podem também ser utilizados com diferentes finalidades, como, passeio, taxi-aéreo, transporte particular, resgate, militar, entre outros.

Mesmo sendo um dos meios de transporte mais seguros, acidentes aéreos acontecem. Quando ocorrem, são gerados boletins de recomendações de segurança que previnem a ocorrência de novos acidentes, segundo Gava (2010).

Os veículos aéreos possuem manutenção de alto custo, comparadas com outros meios de transporte. Logo, pelo fato de sua manutenção ser muito criteriosa e minuciosa, as aeronaves representam o meio de transporte mais seguro do mundo, possuindo poucos incidentes fatais quando comparados aos veículos terrestres, por exemplo.

Uma das partes que requerem maior atenção na manutenção dos helicópteros é o

Swash Plate (prato giratório). Esta peça é responsável por transmitir os movimentos realizados pelo piloto para as pás. O *Swash Plate* é o equipamento responsável por sustentar os movimentos das pás do rotor principal dos helicópteros, além de suportar diversos esforços mecânicos quando a aeronave está em funcionamento. A manutenção do *Swash Plate* em alguns helicópteros é muito complexa de se realizar. Em alguns modelos é necessário executar a desmontagem das pás do rotor principal.

Devido à necessidade de desmontar muitas partes da aeronave, que pode aumentar o risco de ocorrência de erros humanos, foi pensado na implementação de um ponto de lubrificação no prato fixo do *Swash Plate*, fazendo com que o tempo gasto pelo mecânico para realização da manutenção seja menor, consequentemente fazendo com que haja diminuição no custo para a operação de lubrificação do sistema e menor risco aos mecânicos. Além de possibilitar a aplicação da quantidade correta de lubrificante.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Propor um novo projeto para o *Swash Plate*, de maneira que seja implementado um sistema de lubrificação em que não seja necessária a desmontagem das pás para realização da manutenção do componente.

2.2 Objetivos específicos

- Conhecer o procedimento de lubrificação de uma *Swash Plate* de helicópteros da fabricante *Robinson*;
- Conhecer o funcionamento de um *Swash Plate*;
- Desenvolver modelo em três dimensões de um *Swash Plate*;
- Implementar o pino graxeiro em um modelo 3D de uma *Swash Plate* de helicópteros da fabricante *Robinson*;
- Avaliar a possibilidade de implementação real do novo *Swash Plate* proposto.

3 JUSTIFICATIVA

Com a realização da visita técnica na Claro Aviação, foi explicitada a alta complexidade do método de lubrificação descrito no manual do fabricante. Além de demandar em média 2 a 4 homem hora, apenas para realizar a lubrificação do rolamento, pois o sistema não possui um ponto específico para colocação da seringa de lubrificação, o lubrificante tem dificuldade de penetrar de forma total no rolamento, como dito pelos operadores de manutenção da empresa. Entretanto, esse tipo de manutenção é realizado seguindo o manual de manutenção da fabricante *Robinson*, garantindo que o sistema esteja seguro para uso.

A lubrificação do *Swash Plate* de helicópteros da fabricante *Robinson* é uma tarefa que apresenta certa complexidade pelo fato de exigir a desmontagem de várias partes do sistema de propulsão da aeronave. Este fato causa significativa insatisfação aos responsáveis pela operação, além de indispor de um sistema de controle da quantidade de lubrificante depositado. O *Swash Plate* é um componente que demanda alta atenção na manutenção por apresentar grande aquecimento de seu rolamento durante a operação e ser um sistema requisitado a todo momento. Caso houvesse um pino graxeiro para aplicação do lubrificante e canais internos no *Swash Plate* para adequada distribuição do fluido, a operação seria facilitada. Neste sentido, o trabalho se justifica pela tentativa de promoção de uma melhoria na operação de manutenção do *Swash Plate* de helicópteros da fabricante *Robinson* e proposta de um novo *design* para a peça.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 O que é um *Swash Plate*

Em conformidade com Machado e Reisdorfer (2011), o *Swash Plate* é um conjunto de estrelas, pratos, platô ou disco, sendo a unidade misturadora, que está localizada no mastro do rotor principal, possuindo a finalidade transmitir o movimento realizado pelo cíclico e coletivo do helicóptero (hastes de comando localizadas dentro do helicóptero).

A mudança de lâmina ou de passo, poderia ser alcançada de várias maneiras. Assim, Seddon e Newman (2002) listam o uso de abas servo aerodinâmicas, rotores auxiliares, *flaps* de jato fluidamente controlados ou *links* de passo de um giroscópio de controle, como métodos possíveis. O método amplamente adotado, no entanto, é através de um sistema de *Swash Plate*, mostrado na Figura 1.

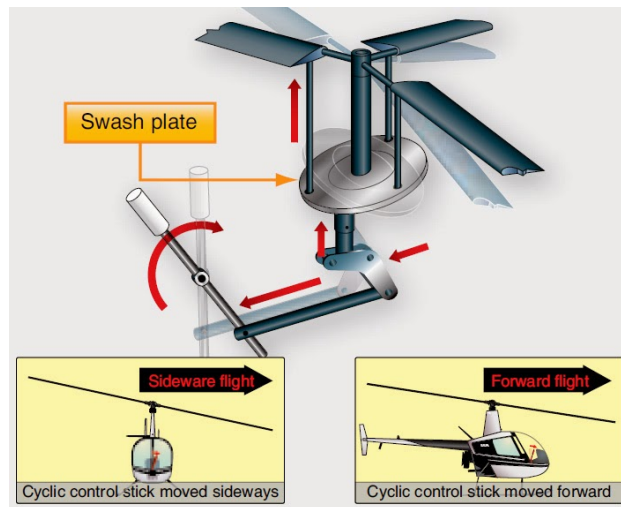
Figura 1 – *Swash Plate R66*



Fonte: Próprio autor

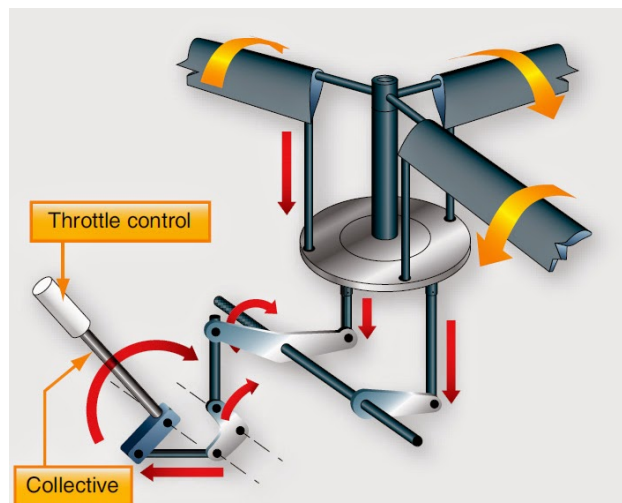
Conforme Machado e Reisdorfer (2011), através da inclinação do cíclico (ângulo variável das pás), é proporcionado o deslocamento lateral, frontal e traseiro. O helicóptero sobe ou desce, devido a movimentação do coletivo (ângulo similar para todas as pás), como é mostrado nas Figuras 2 e 3.

Figura 2 – Movimentação do cíclico



Fonte: (GUIDE, 2013)

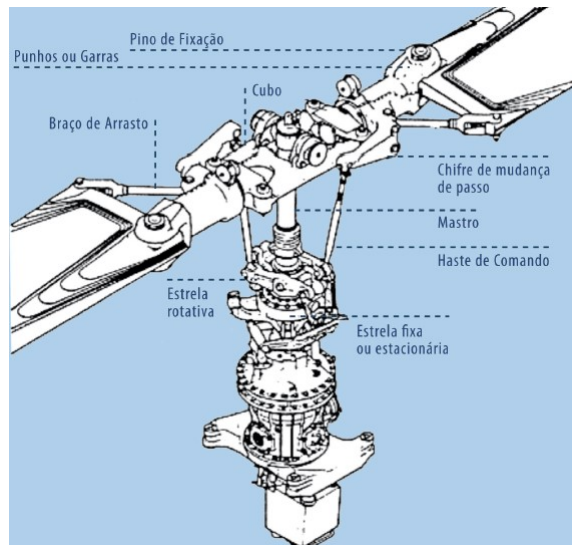
Figura 3 – Movimentação do coletivo



Fonte: (GUIDE, 2013)

Assim, o movimento realizado pelas hastes é transmitido para o *Swash Plate*, que possui duas estrelas, sendo uma fixa e outra móvel, onde a estrela fixa recebe o comando do movimento do cíclico e do coletivo e realiza a transferência do movimento para a estrela rotativa, que se movimenta junto com o rotor principal, conforme Machado e Reisdorfer (2011). Na Figura 4, é mostrado o conjunto do rotor principal, contendo o *Swash Plate* e as respectivas nomenclaturas de seus componentes.

Figura 4 – Sistema do rotor principal



Fonte: (MACHADO; REISDORFER, 2011)

4.2 Modelos de *Swash Plate*

Os modelos de *Swash Plate* de cada aeronave variam consideravelmente, em relação ao peso, tamanho e *design*. Com o intuito de demonstrar a grande variedade desse equipamento, a seguir podem ser vistas algumas imagens onde é explicitado a variação dos modelos existentes em virtude do porte da aeronave.

Figura 5 – *Swash Plate* helicóptero Bell 206



Fonte: (DREAMSTIME, 2013)

Figura 6 – *Swash Plate* helicóptero Mil Mi-17



Fonte: (DREAMSTIME, 2013)

Figura 7 – *Swash Plate* Kamov ka-32



Fonte: (DREAMSTIME, 2013)

Figura 8 – *Swash Plate* Helicóptero Kamov Ka-26



Fonte: (DREAMSTIME, 2013)

4.3 Ferramentas da Qualidade

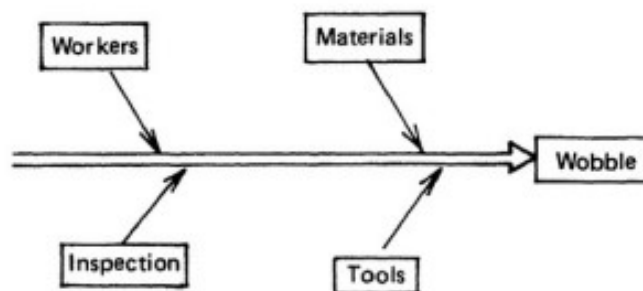
Segundo Souza Neto et al. (2017) As ferramentas da qualidade são instrumentos utilizados para registrar e interpretar os dados. São métodos simples e importantes para as organizações saberem as causas dos problemas, a quantidade, relações entre as causas e o problema, entre outras.

Isto é, as ferramentas da qualidade auxiliam na melhoria dos processos. As sete ferramentas da qualidade são: Folha de Verificação, Estratificação, Gráfico de Pareto, Diagrama de Causa e Efeito, Diagrama de Dispersão, Histograma e Gráficos de Controle, conforme Souza Neto et al. (2017).

O Diagrama de Ishikawa ou Causa e Efeito ou Espinha de peixe, como é comumente conhecido, é uma técnica de análise desenvolvida por Kaoru Ishikawa no Japão em 1950. Esta ferramenta é estruturada em um modelo semelhante a uma espinha de peixe, ilustrado na Figura 9, onde as linhas verticais são as causas e a linha horizontal é o efeito, conforme Ferroli et al. (2002).

Esta ferramenta se caracteriza como um instrumento para se aplicar no controle da qualidade, aplicável em atividades diversas, de modo que contribui na identificação de desvios no fluxo logístico, observando uma possível existência e localização dos gargalos na organização em que se aplicar a ferramenta da análise de espinha de peixe (ISHIKAWA, 1976).

Figura 9 – Diagrama de *Ishikawa*

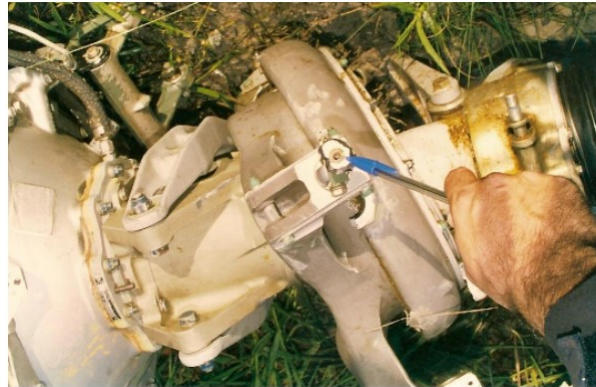


Fonte: (ISHIKAWA, 1976)

4.4 Acidente devido à manutenção incorreta do *Swash Plate*

Devido o *Swash Plate* ser um componente bastante requisitado nos helicópteros, o mesmo pode vir a apresentar erros de montagem, falha ou mal funcionamento. Na Figura 10, é mostrado um *Swash Plate* do helicóptero H-1H 8667 da fabricante *Bell*. Gava (2010) cita em seu artigo que o acidente se sucedeu devido ao rompimento da haste de comando do *Swash Plate*, foi explicitado também que o acidente pode ter se agravado devido outras variáveis ligadas aos efeitos aerodinâmicos.

Figura 10 – *Swash Plate* do acidente H-1H 8667



Fonte: (GAVA, 2010)

4.5 *Swash Plate* com Ponto de Lubrificação

Existem diversos modelos de veículos aéreos, dentre eles vários modelos de helicópteros, com isso, há diversas fabricantes que utilizam formas diferentes de montagem e construção de suas aeronaves. A fabricante *Eurocopter Ecureuil* adota um modelo de *Swash Plate* dotado de pino graxeiro em suas aeronaves.

Na Figura 11, pode ser visto o bico graxeiro no prato fixo do *Swash Plate*, componente que faz com que a eficiência, tempo e segurança da lubrificação sejam melhores. O fato de determinados fabricantes utilizarem o pino graxeiro no projeto dos *Swash Plates* não significa que uma modificação neste mesmo sentido poderia ser realizado no *Swash Plate* dos helicópteros da marca *Robinson*. Uma análise de tensões na peça em que possíveis concentrações de tensões poderiam ser introduzidas pela alteração no projeto, deve ser realizada.

Figura 11 – *Swash Plate* da Esquilo

Fonte: Próprio autor

4.6 Esforços aos quais o *Swash Plate* é submetido

Devido o *Swash Plate* ser um dos principais componentes para o funcionamento correto de um helicóptero e ser submetida a diversos tipos de esforços, em todos momentos que a aeronave está em funcionamento, se faz necessário maior atenção com esse componente, em relação ao tipo de carregamento aplicado, manutenção, modo de uso, tempo de uso, temperatura ambiente, localidades hostis e vibrações.

A movimentação de rotação e translação do helicóptero é realizada com a transferência do movimento das hastes (coletivo e cíclico) para o *Swash Plate*, fazendo com que o tipo de esforço que é submetido a mesma seja variado, em relação ao tipo de movimentação realizada. Sendo submetida a esforços de flexão, quando a aeronave está decolando ou em movimento vertical, torção, quando inicia a ignição e na rotação das pás, compressão, quando ocorre variação no ângulo das pás e entre outros.

5 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do projeto do novo sistema de lubrificação e *design* do novo *Swash Plate*, foi necessário conhecer os desafios envolvidos na lubrificação do componente. Para isso foi necessária a realização de visitas técnicas na Claro Aviação, onde um de seus hangares é apresentado na Figura 12, para colher depoimentos dos mecânicos e responsáveis pela manutenção do componente, com a finalidade de entender mais sobre os desafios da operação.

Figura 12 – Hagar Claro Aviação



Fonte: (AVIAÇÃO, 2021)

Após a observação da operação, foram identificadas possíveis melhorias no processo. Neste sentido foi utilizado o diagrama de causa e efeito para identificar a opção mais viável a ser implementada.

Para o desenvolvimento do novo modelo proposto de *Swash Plate*, foi realizado a modelagem do mesmo utilizando o *software Inventor Student* ®. A modelagem foi realizada com o intuito de explicitar como a peça ficaria após a implementação do bico graxeiro.

A modelagem foi baseada nos desenhos obtidos do *Swash Plate*, com base nas vistas explodidas do manual da fabricante de helicópteros *Robinson*, onde estão apresentadas no Anexo A. À partir deles foram promovidas alterações, tais como: inserção do bico graxeiro e canal interno de lubrificação. O local de implementação foi escolhido com base no modelo da *Eurocopter Ecureuil*, onde foi verificado o local mais adequado, em relação ao espaço, posição, como será colocado a graxeira e mudança estrutural na peça.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante as visitas técnicas realizadas na empresa Claro Aviação, responsável por manutenção em aeronaves de pequeno e médio porte, foi possível perceber que as operações são realizadas de acordo com um *check list* que tem a intenção de minimizar ao máximo os erros. Após a manutenção efetuada, é realizada uma vistoria para certificação de que a operação foi feita de maneira correta. Pôde-se perceber que a lubrificação do *Swash Plate* é complexa.

Com a visita técnica foi possível obter maior conhecimento sobre aeronaves e principalmente como são realizadas algumas manutenções, onde pode ser acompanhado a realização da manutenção no *Swash Plate* de um helicóptero da fabricante *Robinson* sendo o modelo r66. Foi analisado como é realizado todo o processo, desde qual foi a demanda, análise do componente, desmontagem do sistema, colocação do lubrificante, limpeza do excesso, montagem do sistema e inspeção final.

Pelas análises foi possível perceber que um novo modelo de *Swash Plate*, dotado de pino graxeiro e canais internos para escoamento do lubrificante por toda a parte da peça, seria a solução definitiva para o problema de baixa produtividade e perigos associados à manutenção desta peça da aeronave. Contudo para implementação do novo projeto, devem ser realizadas análises de tensões no componente, considerando agora a nova geometria da peça.

A manutenção do *Swash Plate* se inicia pela inspeção da peça. Tal inspeção deve ser feita quando a aeronave atinge 1000 horas de voo ou 6 anos de uso com o mesmo *Swash Plate*. O mecânico responsável pela inspeção rotaciona o *Swash Plate*, com o intuito de averiguar alguma restrição no movimento e/ou barulho anormal, pois quando o componente apresenta funcionamento incomum, deve-se realizar a troca do mesmo, enviando-o para a fabricante para realização de reparos. O procedimento descrito foi verificado em visita técnica à empresa Claro Aviação.

No site da fabricante é possível encontrar o manual de manutenção para lubrificar o *Swash Plate*, conforme Company (2017) onde é explicitado qual o modelo do *Swash Plate* e como deve ser realizado a lubrificação da mesma, pois cada modelo possui um método de lubrificação. No manual possui o passo a passo para remoção das proteções superiores, qual tipo de lubrificante deve ser utilizado, quantidade de fluido lubrificante, como deve ser aplicado a lubrificação e fechamento das proteções superiores.

Para efetuar a lubrificação inicialmente são separadas todas as chaves para desmontagem das proteções, separação da graxa, seringa, bico adaptado e escada. Após posicionar a escada e travar-lá é efetuada a desmontagem das proteções, inserida a graxa na seringa e o bico adaptado na seringa, assim tendo acesso a parte de lubrificação, é colocado a graxa na parte superior do rolamento, tendo um pequeno espaço para passagem do fluido. Quando finalizada a lubrificação é realizado o fechamento das proteções, segundo Company (2017).

A colocação do lubrificante é mostrada na Figura 13. Um dos desafios encontrados para a lubrificação do *Swash Plate* é o pequeno espaço existente entre o anel de vedação e a

carcaça do rolamento. Este espaço não pode ser maior pois promoveria uma maior possibilidade de acúmulo de partículas indesejadas, reduzindo a vida útil do componente. O fato de tal espaço ser muito pequeno obriga a aplicação do lubrificante por meio de uma seringa com bico adaptado.

Figura 13 – Seringa com bico adaptado para lubrificação



Fonte: Próprio autor

Segundo o mecânico responsável pela manutenção, esta operação poderia ser melhorada, pois seguindo o método tradicional a aplicação completa da graxa é demorada e difícil por causa do pouco espaço existente entre a vedação e a carcaça do rolamento. Na Figura 14, é mostrado o local de lubrificação (entre o anel dourado e a carcaça) e o pouco espaço para aplicação da graxa antes da limpeza do excesso de lubrificante. Após a lubrificação se inicia o processo de fechamento do *Swash Plate* seguindo as recomendações do manual.

Figura 14 – Local de lubrificação do rolamento

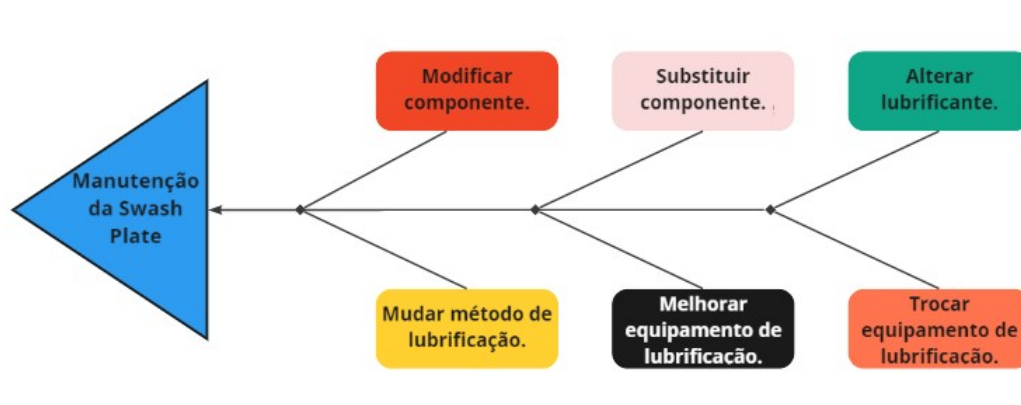


Fonte: Próprio autor

Foram observados alguns pontos de melhorias para a manutenção do *Swash Plate*. E que os mesmos foram analisados com o diagrama de Ishikawa. O intuito é minimizar as possibilidades, definir as principais e possíveis de serem realizadas, focando em um único ponto e propondo a melhoria adequada para o sistema.

Das deficiências na manutenção do *Swash Plate*, foram definidos seis possíveis pontos para melhoria, como é mostrado na Figura 15.

Figura 15 – Diagrama de *Ishikawa* do *Swash Plate*



Fonte: Próprio autor

- Modificar componente: realizar novo dimensionamento e/ou novo *design* para o componente;
- Mudar método de lubrificação: trocar a forma como é colocado o lubrificante, podendo ser realizado toda a remoção das proteções ou realizar a lubrificação por baixo;
- Substituir componente: realizar a troca do *Swash Plate*, onde o fabricante realizaria toda a desmontagem do componente e sua lubrificação, posteriormente enviando o componente para uso novamente;
- Melhorar equipamento de lubrificação: modificar a ponta da seringa, para uma ponta mais fina, facilitando a colocação do lubrificante;
- Alterar lubrificante: mudar o tipo de lubrificante, com menor viscosidade, facilitando a colocação do mesmo no rolamento;
- Trocar equipamento de lubrificação: utilizar outro mecanismo diferente da seringa para colocar a graxa no rolamento.

Mudar método de lubrificação, se torna algo de difícil execução, pois realizar a remoção de toda proteção do *Swash Plate* requer mais de um mecânico, além de despender de um longo tempo.

A substituição do componente é algo improdutivo e demorado, pois quando um componente deste porte é enviado ao fabricante, o mesmo necessita ser analisado com finalidade de verificar se é possível seu reparo.

Realizar alterações no bico da seringa de lubrificação pode parecer ser a melhor solução para o caso. Contudo, o bico deve ser extremamente fino, o que o deixa sem muita resistência mecânica, o que promoveria constantes deformações. Além disso, mesmo com a melhoria no equipamento de lubrificação, esta solução seria apenas paliativa e não evitaria a desmontagem de parte da proteção do *Swash Plate*, mantendo a operação perigosa e demorada.

Considerando a existência de um lubrificante especificado pelo fabricante, a alteração inadvertida deste fluido acarretaria no aumento dos riscos de utilização da aeronave, e se configuraria em uma não conformidade na manutenção. Logo, a alteração do lubrificante não é possível neste caso. De acordo com Company (2017), o tipo de lubrificante utilizado é o *Aeroshell 14*, possuindo viscosidade de $12,5Pa$ a $40^{\circ}C$ e $3,1Pa$ a $100^{\circ}C$, sendo indicado a colocação de aproximadamente $20ml$ de graxa no rolamento.

Após análise do diagrama de causa e efeito, foi decidido implementar um novo sistema de lubrificação do *Swash Plate*, para que a tarefa de lubrificar seja mais segura e rápida. Assim, estima-se que o tempo gasto para realizar essa tarefa utilizando o novo sistema proposto, seria de 20 minutos em média, contabilizando desde a verificação do *Swash Plate* até a finalização do processo.

O novo processo poderia ser realizado com o auxílio de uma graxeira, similar a demonstrada na Figura 16, mecanismo que facilita a execução da tarefa e possibilitando a colocação adequada de graxa no rolamento. Assim a manutenção do sistema se tornaria mais segura e eficaz, minimizando o erro humano.

Figura 16 – Graxeira



Fonte: (HUDRONLUBZ, 2018)

A Figura 17, mostra o canal de lubrificação que foi elaborado e a Figura 18 apresenta a modelagem final em corte. Tendo como finalidade apresentar todos os detalhes do componente, principalmente do novo sistema proposto. Deve ser ressaltado que a modelagem do componente não é fidedigna ao modelo real, devido possuir mais detalhes e não haver um *Swash Plate* desmontado para medição de todas as suas partes, que possibilitaria uma modelagem mais fiel à realidade. Contudo, ressalta-se que pelo modelo aqui apresentado é possível perceber as alterações propostas.

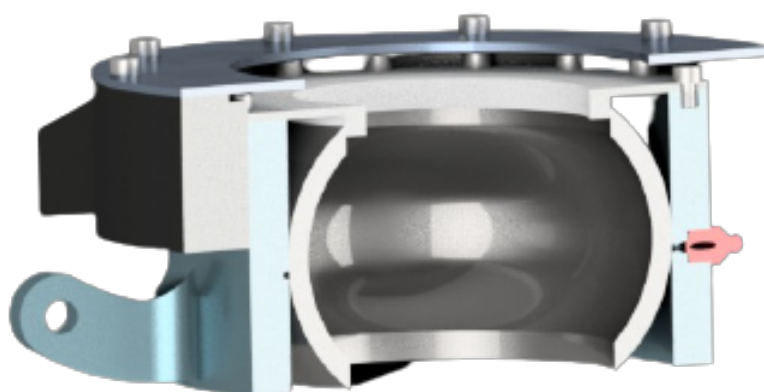
Portanto, a modelagem foi realizada com objetivo de demonstrar a implantação de um sistema de lubrificação mais eficiente e utilização didático, para os leitores possuírem maior entendimento sobre o mecanismo do *Swash Plate*.

Figura 17 – Canal de lubrificação



Fonte: Próprio autor

Figura 18 – Modelagem em corte do *Swash Plate*

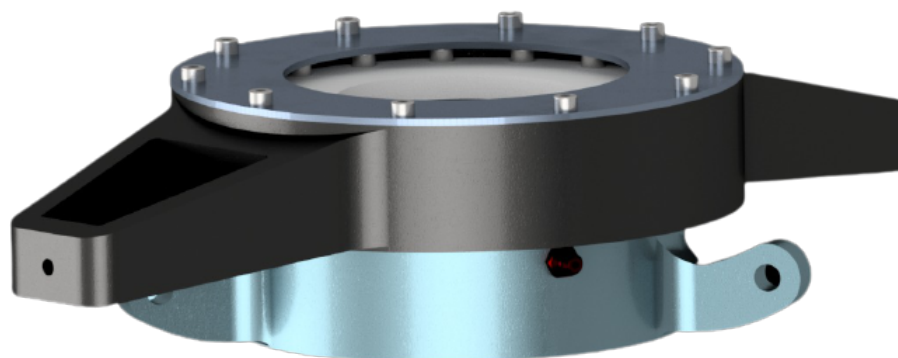


Fonte: Próprio autor

Conforme pode ser visto na Figura 19, o pino graxeiro foi colocado na parte lateral do *Swash Plate*, local de fácil acesso para realização da lubrificação. É importante ressaltar que o trabalho não tem o objetivo de averiguar as possíveis novas tensões provenientes da nova proposta de projeto da *Swash Plate*. Neste sentido, como propostas para trabalhos futuros, sugere-se o levantamento de carregamentos atuantes no componente e as tensões atuantes, resultado de tais

carregamentos. É importante salientar também que é preciso conhecer os códigos de projeto deste componente, conhecendo os critérios de falha adotados para o dimensionamento seguro.

Figura 19 – Modelagem do *Swash Plate*



Fonte: Próprio autor

7 CONCLUSÃO

Desde o início da aviação foram observados grandes evoluções tanto em tecnologia quanto em segurança das aeronaves. Parte da segurança do voo é garantida pela correta manutenção dos componentes mecânicos. Neste trabalho foi possível observar que a manutenção do *Swash Plate* de helicópteros da fabricante *Robinson* é uma tarefa que poderia ser melhorada caso houvesse uma maior facilidade para aplicação do lubrificante no componente. Neste sentido foram analisadas algumas possibilidades de melhoria da operação e um novo modelo de *Swash Plate* foi proposto e modelado com a utilização do software Inventor.

O novo sistema proposto pode contribuir para uma lubrificação mais eficaz dos componentes, utilizando um menor tempo e resultando em uma operação de manutenção mais segura, pois não seria necessário realizar a remoção de partes importantes que protegem o rolamento.

Durante o projeto, um grande desafio foi a modelagem do sistema proposto. O fato de a acessibilidade a um *swash plate* desmontado não ser fácil, prejudicou o desenvolvimento de um modelo tridimensional fiel à peça física. Contudo não impediu que a proposta de implementação do pino graxeiro e canais de escoamento da graxa fossem ilustradas.

Por isso, foi possível realizar a modelagem fidedigna de apenas algumas partes, onde foi possível efetuar as medições, sendo principalmente as partes externas. Todavia, a modelagem foi realizada buscando o melhor detalhamento da peça, mesmo não possuindo as medidas corretas, onde a modelagem em vista explodida pode ser analisada no Apêndice A, juntamente com a modelagem de cada parte do *Swash Plate*.

O novo sistema de lubrificação aqui proposto possui bom potencial para ser implementado, entretanto requer análises de tensões mais detalhadas.

Como sugestões para trabalhos futuros, propõe-se a realização de novas medições de todas as peças do componente, para a obtenção de um modelo tridimensional fidedigno, acompanhado do estudo das normas utilizadas para o projeto mecânico destes componentes, e então validar a proposta apresentada neste trabalho por meio de simulação de tensões pelo método dos elementos finitos e análise de fadiga.

REFERÊNCIAS

- ADSLATIN. **Quem inventou o helicóptero**. 2019. Disponível em: <<https://adslatin.com/quem-inventou-o-helicoptero/>>. Acesso em: 26 out. 2021.
- AVIAÇÃO, Claro. **Claro Aviação**. Disponível em: <<https://claroaviacao.com.br/>>. Acesso em: 26 out. 2021.
- COMPANY, Robinson Helicopter. **R66 Illustrated Parts Catalog: RTR 660**. 2018. Disponível em: <https://robinsonheli.com/wp-content/uploads/2020/10/R66IPC_Book.pdf>.
- COMPANY, Robinson Helicopter. **R66 Maintenance Manual and Instructions for Continued Airworthiness: RTR 660**. 2017. Disponível em: <https://robinsonheli.com/wp-content/uploads/2021/06/r66_mm_full_book.pdf>.
- DREAMSTIME. **Swash Plates**. 2013. Disponível em: <<https://pt.dreamstime.com/photos-images/swashplate.html>>. Acesso em: 28 out. 2021.
- FERROLI, Paulo Cesar Machado et al. **Discussão conceitual dos possíveis desdobramentos dos processos de fabricação de produtos**. 2002. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2002_TR52_0059.pdf>. Acesso em: 1 nov. 2021.
- GAVA, Waldir Eustáquio. **ANÁLISE BÁSICA DOS EFEITOS AERODINÂMICOS PRESENTES NO ACIDENTE DO H-1H FAB 8667**. 2010. Disponível em: <<http://conexaosipaer.com.br/index.php/sipaer/article/viewFile/12/46>>. Acesso em: 28 out. 2021.
- GUIDE, Aeronautics. **Helicopter Structures**. 2013. Disponível em: <<https://www.aircraftsystemstech.com/p/helicopter-structures.html>>. Acesso em: 29 out. 2021.
- HUDRONLUBZ. **Graxeira Manual para graxa HL-500 Hydronlubz**. 2018. Disponível em: <<https://blog.hydronlubz.com.br/post/24/graxeira-manual-para-graxa-hl-500>>. Acesso em: 29 out. 2021.
- ISHIKAWA, Dr. Kaoru. **Guide to Quality Control**. 1. ed.: University of Hong Kong Library, 1976.
- LEISHMAN, J. Gordon. **Principles of helicopter aerodynamics**. 2. ed.: Cambridge University Press, 2008.
- MACHADO, Alessandro José; REISDORFER, Marcio Leandro. **Conhecimento Geral dos Helicópteros**. 1. ed.: Universidade do Sul de Santa Catarina, 2011.
- POZZEBOM, Rafaela. **A história da aviação**. 2015. Disponível em: <<https://www.oficinadanet.com.br/post/14654-a-historia-do-aviao>>. Acesso em: 26 out. 2021.

SEDDON, John; NEWMAN, Simon. **Basic Helicopter Aerodynamics**. 2. ed.: Blackwell Science Ltd, 2002.

SOUZA NETO, Rubens Mendonca de et al. **APLICAÇÃO DAS SETE FERRAMENTAS DA QUALIDADE EM UMA FÁBRICA DE BLOCOS STANDARD DE GESSO**. 2017.

Disponível em:

<http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_ST0_239_385_34641.pdf>. Acesso em: 28 out. 2021.

APÊNDICE A – MODELAGEM

Figura 20 – Vista explodida do *Swash Plate*



Fonte: Próprio autor

Vista técnica do Swash Plate

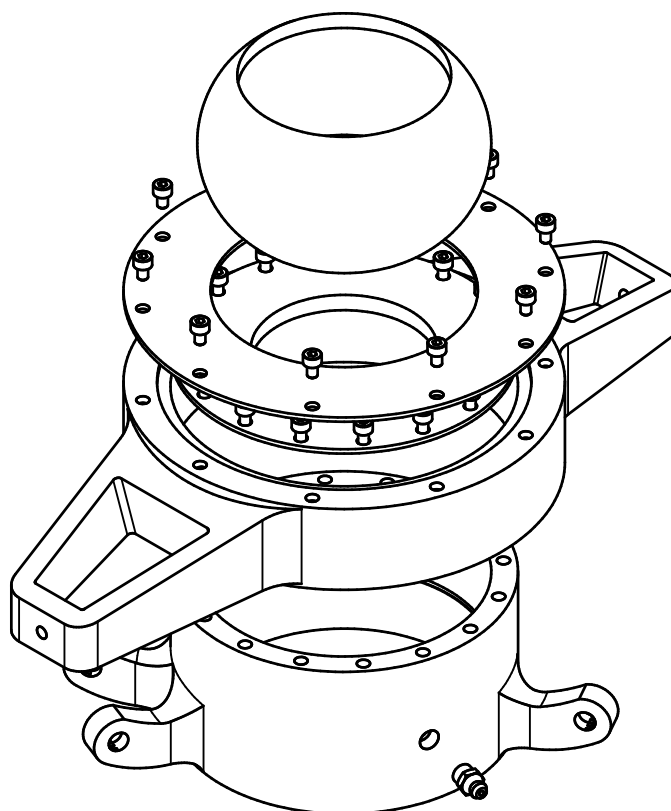
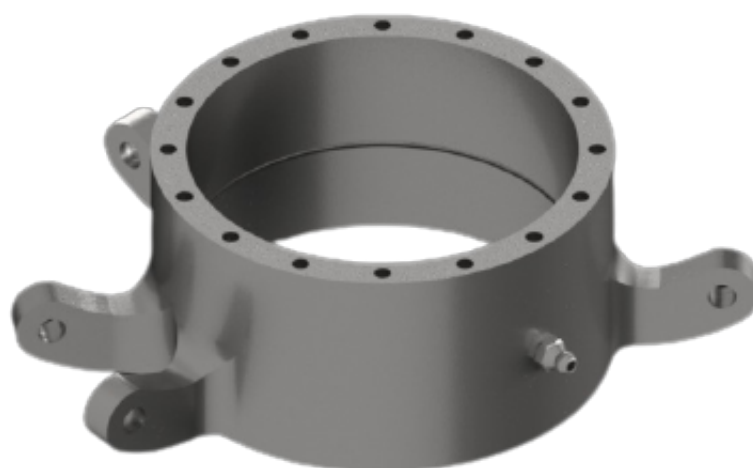


Figura 21 – Prato superior do *Swash Plate*



Fonte: Próprio autor

Figura 22 – Prato inferior do *Swash Plate*



Fonte: Próprio autor

ANEXO A – VISTAS EXPLODIDA DO *SWASH PLATE*

Todas as imagens a seguir (próxima página) foram retiradas do Catalogo Partes Ilustrações, do helicóptero modelo R66 do (COMPANY, 2018) e utilizadas para realização da modelagem da nova peça.

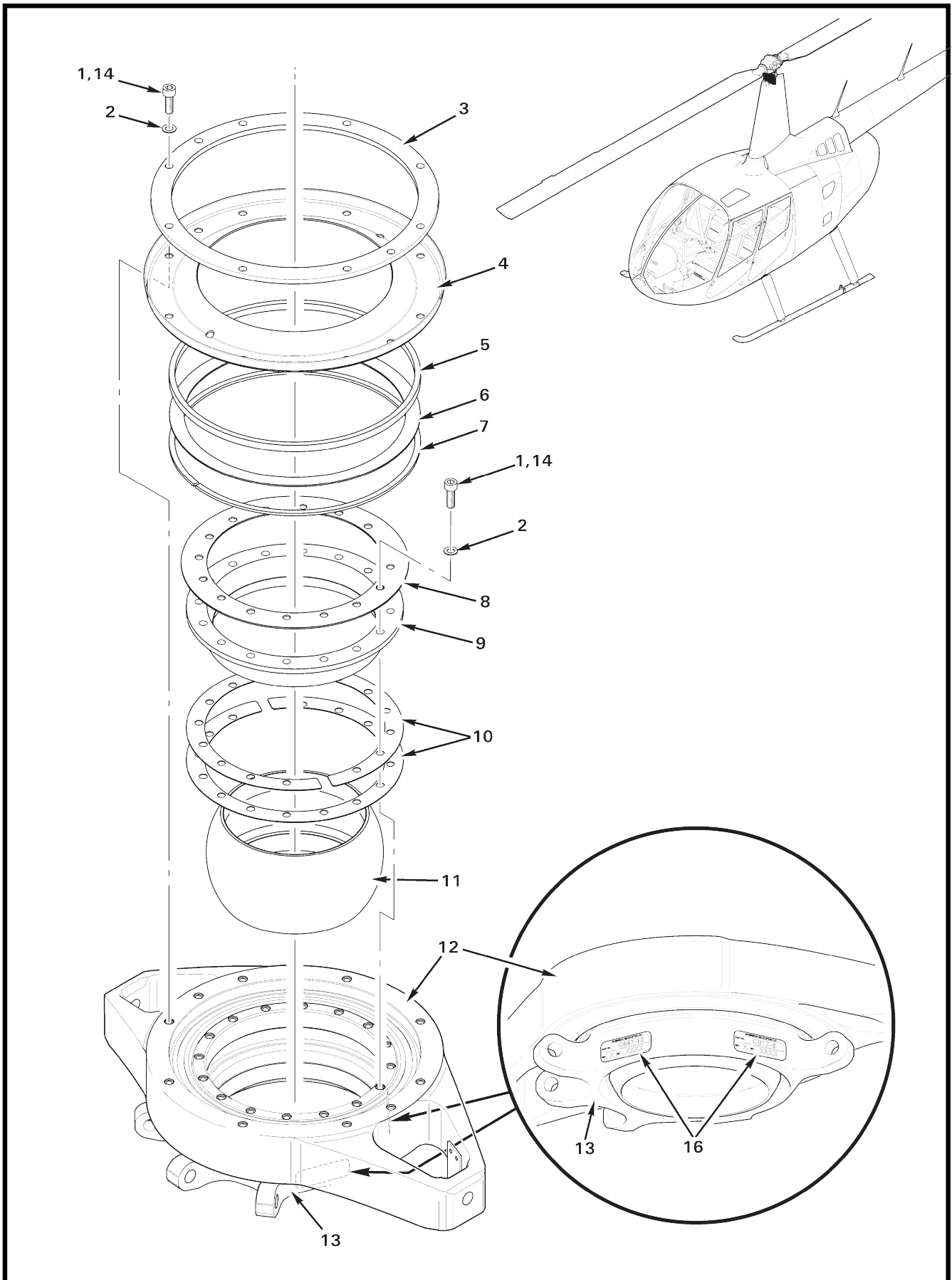


FIGURE AND INDEX NUMBER	PART NUMBER	DESCRIPTION	PARTS AVAIL	QTY PER ASSY
SWASHPLATE BALL INSTALLATION				
67-45-1	NAS1352N08-8	Screw (install using item 14 on threads)	X	26
2	NAS620-8L	Washer	X	26
3	C200-1	Retainer	X	1
4	C206-1	Retainer	X	1
5	C219-2	Spacer	X	1
6	C218-2	Shield	X	1
7	C219-1	Spacer	X	1
8	C218-1	Shield	X	1
9	C205-1	Sleeve Assembly	X	1
10	C197-1	Spacer (thickness = 0.016 in.)	X	A/R
	C197-2	Spacer (thickness = 0.020 in.)	X	A/R
	C197-3	Spacer (thickness = 0.025 in.)	X	A/R
	C197-4	Spacer (thickness = 0.032 in.)	X	A/R
	C197-5	Spacer (thickness = 0.040 in.)	X	A/R
	C197-6	Spacer (thickness = 0.050 in.)	X	A/R
11	C201-1	Ball Assembly	X	1
12	C199-2	Swashplate Assembly – Upper (Ref)		
13	F198-1	Swashplate Assembly – Lower (Ref)		
14	A257-9	Anti-Seize (Loctite 76732)	X	A/R
15	C647-12	Bearing Set – Swashplate (Ref; connects items 12 and 13; not shown)		
16	—	Identification Plate* (C017-6 Assembly, and C647-12 bearing set; part number, revision letter and serial number) . .	O	2

NOTES * See R66 MM section 20-93 if replacement is required.

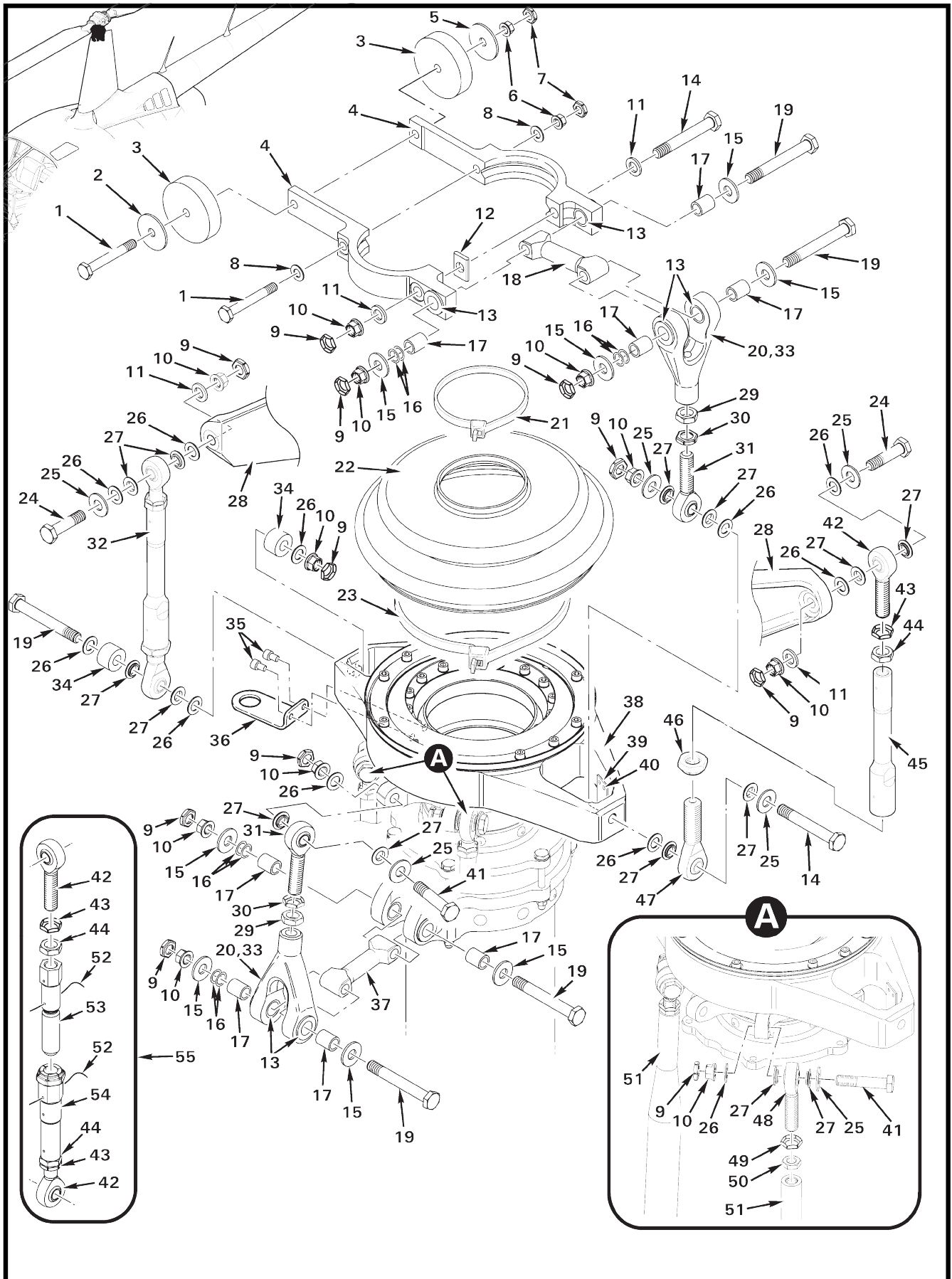


FIGURE AND INDEX NUMBER	PART NUMBER	DESCRIPTION	PARTS AVAIL	QTY PER ASSY
SWASHPLATE ASSEMBLY				
67-41-1	NAS6604-24*	Bolt	X	2
2	AN970-4	Washer (A/R for balance)	X	A/R
3	A255-1 or A255-2	Counter Weight (1.10 in O.D.) Counter Weight (1.90 in O.D.)	X	A/R A/R
4	C203-5	Yoke Assembly (Incl item 13)	X	2
5	NAS1149F0432P	Washer (or NAS1149F0463P as required for correct nut engagement)	X	A/R
6	D210-4	Nut	X	2
7	B330-13	Palnut	X	2
8	NAS1149F0432P	Washer	X	2
9	B330-16	Palnut	X	11
10	D210-5	Nut	X	13
11	NAS1149F0563P	Washer	X	2
12	A210-1	Key	X	1
13	C648-2	Bearing – Journal (install wet; see R66 MM § 20-60 for approved primer)	X	8
14	NAS6605-28	Bolt	X	2
15	C141-19	Washer	X	8
16	C117-67 C117-68 C117-69	Shim (thickness = 0.016 in.) Shim (thickness = 0.020 in.) Shim (thickness = 0.025 in.)	X	A/R A/R A/R
17	C105-6	Journal (length = 0.526 in.)	X	8
18	C204-3	Arm (upper)	X	1
19	NAS6605-31	Bolt	X	5
20	A205-7	Fork Assembly (Incl item 13)	X	2
21	MS3367-7-9	Ty-rap	X	1
22	C480-1	Boot	X	1
23	MS3367-6-0	Ty-rap	X	1
24	NAS6605-18	Bolt	X	2
25	C141-1	Washer	X	6
26	NAS1149F0532P	Washer	X	9
27	C115-1	Spacer	X	14
28	C005-13	Blade and Spindle Assembly – Main Rotor (Ref)		
29	AN316-6R	Nut	X	2
30	B330-19	Palnut	X	2

NOTES * Select bolt length which, after correct torque is applied, exposes 2 to 4 threads beyond nut.

Continues

This work is licensed under a Creative Commons “Attribution-ShareAlike 4.0 International” license.

