



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

A MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS EM AERONAVES DE ASA ROTATIVA EM USO PELA POLÍCIA MILITAR DO PARANÁ

PREVENTIVE MAINTENANCE OF MECHANICAL VIBRATIONS IN ROTARY-WING AIRCRAFT USED BY THE MILITARY POLICE OF PARANÁ

MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE VIBRACIONES MECÁNICAS EN AERONAVES DE ALA ROTATIVA EN USO POR LA POLICÍA MILITAR DE PARANÁ

Rafael Eduard Kolodzei¹

e595647

<https://doi.org/10.47820/recima21.v5i9.5647>

PUBLICADO: 09/2024

RESUMO

O objetivo deste artigo foi analisar a manutenção preventiva de vibrações mecânicas em helicópteros no intuito de garantir a segurança das operações da Polícia Militar do Paraná à cargo da Polícia Militar de Operações Aéreas (BPMOA). Tratou-se de uma revisão de literatura desenvolvida por pesquisa bibliográfica em mecanismos de busca como Google Acadêmico, Scielo e Banco de teses onde se pretendeu maior conhecimento acerca da manutenção preventiva, vibração e processos utilizados. Os resultados mostraram que a manutenção de aeronaves de asa rotativa é um elemento essencial para a operacionalidade e segurança de voo para alcançar eficiente controle do nível vibratório, também para helicópteros utilizados pela Polícia Militar do Paraná diante da atividade envolvida. Pode-se concluir que o controle da vibração nos helicópteros é muito benéfico para a manutenção da aeronave porque pode evitar possíveis problemas e acidentes, além de evitar problemas de saúde para sua tripulação, constituindo-se como insubstituível ferramenta para a segurança de voo.

PALAVRAS-CHAVE: Vibração. Helicópteros. Manutenção Preventiva.

ABSTRACT

The objective of this article was to analyze the preventive maintenance of mechanical vibrations in helicopters in order to guarantee the safety of the operations of the Military Police of Paraná under the responsibility of the Military Police of Air Operations (BPMOA). This was a literature review developed through bibliographic research using search engines such as Google Scholar, Scielo, and Thesis Bank, aiming to gain deeper knowledge about preventive maintenance, vibration, and the processes involved. The results showed that the maintenance of rotary wing aircraft is an essential element for their operationality and flight safety, in order to achieve efficient control of the vibration level also for helicopters used by the Military Police of Paraná, given the activity involved. It can be concluded that vibration control in helicopters is very beneficial for aircraft maintenance because it can prevent possible problems and accidents, in addition to avoiding health problems for its crew, constituting an irreplaceable tool for flight safety.

KEYWORDS: *Vibration. Helicopters. Preventive Maintenance.*

RESUMEN

El objetivo de este artículo fue analizar el mantenimiento preventivo de vibraciones mecánicas en helicópteros con el fin de garantizar la seguridad de las operaciones de la Policía Militar de Paraná bajo la responsabilidad de la Policía Militar de Operaciones Aéreas (BPMOA). Se trató de una revisión de la literatura desarrollada a través de una investigación bibliográfica en buscadores como Google Scholar, Scielo y Banco de tesis, donde se buscó obtener un mayor conocimiento sobre el mantenimiento preventivo, las vibraciones y los procesos utilizados. Los resultados demostraron que el mantenimiento de los helicópteros es un elemento esencial para su operatividad y seguridad de vuelo, logrando un control eficiente del nivel de vibraciones también para los helicópteros utilizados por la Policía Militar de Paraná, dada la actividad involucrada. Se puede concluir que el control de vibraciones en helicópteros es muy beneficioso para el mantenimiento de las aeronaves porque puede evitar posibles

¹ Cap. QOPM - PMPR - APMG.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

A MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS EM AERONAVES DE ASA ROTATIVA EM USO PELA POLÍCIA MILITAR DO PARANÁ
Rafael Eduard Kolodzei

problemas y accidentes, además de prevenir problemas de salud de la tripulación, constituyendo una herramienta insustituible para la seguridad del vuelo.

PALABRAS CLAVE: *Vibración. Helicópteros. Mantenimiento Preventivo.*

INTRODUÇÃO

Quando se trata de aspectos tecnológicos, a presença de vibrações na engenharia mecânica se trata de tema de grande relevância, o que incorre em desafios importantes para os fabricantes de helicópteros. Isto se deve ao fato de que o desbalanceamento das pás do helicóptero tem como resultado vibrações de baixa frequência que necessitam estar sob controle quando se pensa na melhoria da eficiência do equipamento e da tripulação, visando possibilitar uma operação com maior segurança, além de conforto aos tripulantes, assegurar credibilidade nos equipamentos eletrônicos e mecânicos e tornar mínima a fadiga do rotor e da fuselagem deste tipo de aeronave de asa rotativa (Santos; Camargo; Soares, 2021).

Segundo González (2011); Anicézio (2015); Santos (2018) e Santos; Camargo e Soares (2021), a vibração se configura em um fator sempre presente quando se opera com helicópteros, visto que ele apresenta diversos componentes rotativos. Diante disso, existe um fenômeno físico que se apresenta tanto para o helicóptero quanto pilotos e mecânicos, que demanda imprescindivelmente o controle dessas vibrações nas máquinas de asas rotativas porque está diretamente relacionado com a prevenção de falhas, diminuição do custo de manutenção, prolongamento da vida útil do aparelho e a preservação do elemento humano.

A vibração é um elemento recorrente em helicópteros se apresentando como variável muito relevante na manutenção dessas aeronaves devido a se constituir em fator que determina falhas de materiais e equipamentos eletrônicos. Diante disso, deve-se realizar o monitoramento através de análise comparativa do comportamento vibratório dos componentes críticos do equipamento com os índices vibratórios considerados satisfatórios para cada componente, associados com dados relacionados com a operação do mesmo ao longo do voo. Por meio destes dados podem ser originados diagnósticos de comportamento dos componentes e as devidas ações de manutenção para prevenir possíveis falhas (Barbosa; Gama; Albernaz, 2018).

As características inerentes à vibração de uma aeronave de asas rotativas apresentam especificidades próprias em comparação com as aeronaves de asa fixa, devido às propriedades dinâmicas do rotor principal, do rotor de cauda e as influências mútuas aerodinâmicas entre rotor e fuselagem que se constituem-nas principais diferenças. Mesmo que controles do tipo ativo, semiativo e passivo sejam utilizados para a diminuição dos efeitos indesejados de vibração, o processo de monitoramento de vibração em helicópteros constitui grande auxílio operacional para identificar antecipadamente as falhas mecânicas e estruturais que podem surgir (Freitas; Saotome, 2009).

Complementando o exposto, as vibrações estão presentes no voo do helicóptero, sendo geradas a cada rotação do rotor onde as forças aerodinâmicas se alteram em conformidade com a



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

A MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS EM AERONAVES DE ASA
ROTATIVA EM USO PELA POLÍCIA MILITAR DO PARANÁ
Rafael Eduard Kolodzei

posição azimutal originando vibrações que atuam no disco do rotor. A eliminação ou redução da vibração é de grande importância para que haja maior conforto à tripulação, para diminuir a fadiga do rotor e da fuselagem e para proteger os equipamentos eletrônicos da aeronave porque todo equipamento rotativo originam vibrações de grande amplitude quando é acionada na frequência natural de seus componentes (Pegado, 2010).

A questão vai além da aeronave e seus componentes, porque a exposição do homem à vibração resulta em desconforto e perda de eficiência, por isso, a diminuição dos níveis de vibração deste equipamento também deve ser pensada em termos de manutenção preventiva de vibrações mecânicas em helicópteros. O homem, quando envolvido por vibrações, acaba incorrendo em risco físico que altera os níveis de segurança no trabalho, originando cansaço; irritação; dores em membros superiores e inferiores e na coluna; a doença do movimento; quadros de artrite e sintomas digestivos; lesões ósseas, de tecidos moles, lesões circulatórias, entre outros sintomas e quadros clínicos (Santos, 2017).

No âmbito da segurança pública, os helicópteros vêm sendo empregados cada vez mais por inúmeras forças militares ao redor do mundo desde a Segunda Guerra Mundial. Estas aeronaves têm sido responsáveis pelo salvamento de vidas, na realização de missões de defesas de áreas estratégicas, no transporte aéreo logístico, na remoção aeromédica, entre outras situações, onde os esquadrões aéreos contam com as aeronaves de asas rotativas (Assis Neto, 2023).

Para a Polícia Militar do Paraná (PMPPR) que apresenta como incumbência constitucional precípua prestar um serviço com o melhor nível de qualidade que possa alcançar, a manutenção preventiva de vibrações nos helicópteros da sua frota é fundamental para atendimento dos seus padrões de eficiência e qualidade em suas atividades. Neste caso, a manutenção de aeronaves de asa rotativas utilizadas pela corporação é um fator que colabora para o sucesso de sua atuação para que eles apresentem condições seguras de operação.

Assim, a Polícia Militar do Paraná (PMPPR) adota um modelo de manutenção para sua frota de aeronaves, onde o atendimento das aeronaves H 130 B4; Bell 206; R44; R66 são realizadas por oficina terceirizadas contratadas mediante processo licitatório, englobando atividades de verificação e reparo associadas com a estrutura física da aeronave, com motor, equipamentos eletrônicos e inúmeros sistemas diferentes que demandam de ferramentas especiais, equipamentos e qualificação de pessoal para desenvolver esta manutenção preventiva, visando disponibilizar que as aeronaves de asas rotativas apresentem as melhores condições para o atendimento das demandas da corporação.

Diante do exposto, o objetivo deste artigo foi analisar a manutenção preventiva de vibrações mecânicas em helicópteros no intuito de garantir a segurança das operações da Polícia Militar do Paraná à cargo do Batalhão de Polícia Militar de Operações Aéreas (BPMOA).

Para tanto, este estudo foi desenvolvido a partir de uma revisão da literatura contemplando artigos, livros, trabalhos de conclusão de curso, dissertações e teses, entre outros materiais já publicados em português e inglês pesquisados em mecanismos de busca como Google Acadêmico,



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

A MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS EM AERONAVES DE ASA
ROTATIVA EM USO PELA POLÍCIA MILITAR DO PARANÁ
Rafael Eduard Kolodzei

SciELO e Banco de teses que pudessem auxiliar no entendimento e esclarecimento dos conceitos envolvidos com a manutenção preventiva, vibração e processos utilizados conceitualmente.

Conceitualmente, pode-se compreender a pesquisa a partir de um viés bibliográfico e empírico. De acordo com Gil (2004, p. 23), a pesquisa bibliográfica pode ser definida como aquela que é “[...] desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos”. Porém, pode-se utilizar também outras formas de publicação, entre elas os artigos de jornais e revistas, específicas e/ou dirigidas ao público em geral. Foi desenvolvida a partir desse material uma revisão de literatura.

1. A HISTÓRIA DO HELICÓPTERO

O helicóptero pode ser definido como sendo um aparelho de aviação que tem seu deslocamento feito no sentido horizontal e da mesma forma no sentido vertical impulsionado por uma hélice montada em um eixo vertical; uma hélice horizontal, menor que equilibra a aeronave. Para a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), o helicóptero consiste em uma aeronave de asas rotativas que funciona a partir, principalmente, de seus rotores cujo movimento é proveniente de motor para promover deslocamentos horizontais (Almeida Júnior, 2015).

Conforme descreve Menoncin (2023), o fundamento do funcionamento do helicóptero parte da ideia do parafuso helicoidal aéreo cujo esboço é de Leonardo da Vinci em 1493, que pensou em uma máquina com o impulso era dado pelo esforço físico do transportador, que mesmo que tenha seu projeto ficado somente no papel, pode ser considerado como uma das primeiras ideias para desenvolver este equipamento. O desenvolvimento do helicóptero teve sua evolução enfrentando inúmeros desafios técnicos expressivos, onde o controle com precisão, a estabilidade durante o voo e o desenvolvimento de motores com potência suficientes se constituíram em algumas das barreiras que tiveram que ser superadas pelos engenheiros.

Nesta mesma época nos Estados Unidos, Larry Bell fez experimentos com o desenvolvimento de aeronaves de asas rotativas com o auxílio de Arthur Young, matemático, apresentando dois resultados pouco satisfatórios. Já em 1942, construiu-se uma aeronave sem fuselagem e sem trem de pouso; no ano de 1943, uma segunda aeronave foi construída apresentando fuselagem, cíclico convencional, com um rotor de cauda leve, causando um pequeno acidente. Apenas no ano de 1946 produziu-se um protótipo do helicóptero Bell 30 sem que fossem consertadas as limitações dos modelos anteriores. Assim seguiu-se o desenvolvimento das aeronaves de asa rotativa como se conhece atualmente (Bastos, 2004; Almeida Júnior, 2015).

De acordo com Marques (2006) e Magalhães (2009), a utilização da aviação nas atividades policiais se estruturou a partir do ano de 1929 com a utilização de aviões para transporte e observação, e posteriormente com o emprego de helicópteros oficialmente em Nova York em 1948 pelo departamento de polícia local como uma ferramenta de apoio ao policiamento em geral.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

A MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS EM AERONAVES DE ASA
ROTATIVA EM USO PELA POLÍCIA MILITAR DO PARANÁ
Rafael Eduard Kolodzei

Segundo Almeida Júnior (2015), a utilização de aeronaves de asas rotativas no Brasil teve um impulso a partir de 1979 com a instalação da fábrica da Helibras no município de Itajubá no estado de Minas Gerais.

Segundo Magalhães (2009), no Brasil, o emprego de aeronaves com finalidade policial foi efetivado nos anos de 1920 e 1930, sendo que a primeira polícia a fazer uso de helicóptero em missões policiais foi a do Rio de Janeiro, em 1971. Em 1981, o estado de Goiás passa a utilizar helicópteros na atividade policial; e em 1984 São Paulo passa a fazer uso dos helicópteros em suas atividades aéreas, passando a consistir na maior força aérea policial da América do Sul, na época com 15 helicópteros e dois aviões.

O uso de helicópteros nas atividades policiais militares se relaciona diretamente com a necessidade premente de utilização de novas tecnologias, visto que de acordo com Manning (2003, p. 375) “[...] há muito a polícia vem desejando que a tecnologia possa facilitar os problemas que mais a aborrecem”. Assim observa-se que a questão da tecnologia se relaciona de maneira direta com a solução de problemas e por isso as tecnologias que se apresentam possibilitam que o trabalho policial seja executado com maior qualidade e que alcance com mais facilidade seus objetivos. Assim insere-se a aviação segurança pública brasileira.

1.1 A aviação de segurança pública no Brasil

Segundo Canavó Filho e Melo (1978), no ano de 1913, consolidou-se o início da aviação de segurança pública no Brasil na Força Pública estadual de São Paulo devido à utilização de aviões, conforme preconizado na Lei estadual paulista nº 1395-A de 17 de dezembro de 1913, ora revogada, *ipsis litteris*:

Artigo 14. - Ficam criados na Força Pública do Estado um Curso Especial Militar e uma Escola de Aviação.

§ 1.º - O Curso Especial Militar será destinado a ministrar a Força Pública do Estado a instrução que está atualmente recebe da Missão Instrutora;

§ 2.º - A Escola de Aviação terá por fim preparar, na Força Pública do Estado, aviadores militares que, estando convenientemente instruídos, constituam uma Seção de Aviação (São Paulo, 1913).

De acordo com Bastos (2004), no contexto mundial, no ano de 1944, os americanos passaram a utilizar helicópteros nas missões de resgate realizadas na China durante a Segunda Guerra Mundial. Diante da versatilidade que a aeronave demonstrou nas missões com objetivos de reconhecimento, observação, transporte e evacuação aeromédica as possíveis potencialidades do aparelho. A utilização do helicóptero como vetor de força sobreviveu na guerra da libertação da Argélia, sendo consolidada na guerra do Vietnã onde houve aplicação maciça deste recurso pelos Estados Unidos.

No âmbito brasileiro, o Rio de Janeiro foi o primeiro estado a fazer uso de helicópteros nas atividades de segurança pública que criou em 1971, sua estrutura administrativa representada pela Assessoria Aeropolicial sob o gerenciamento da Secretaria Estadual de Segurança Pública do referido estado (Pereira; Machado, 2017).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

A MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS EM AERONAVES DE ASA
ROTATIVA EM USO PELA POLÍCIA MILITAR DO PARANÁ
Rafael Eduard Kolodzei

Seguindo o processo de utilização do helicóptero em missão de segurança pública, este auferiu maior visibilidade pela população a partir de 1984 quando o governo do estado de São Paulo comprou e conferiu para operação dois helicópteros H 350 B Esquilo, sendo um destes para a Polícia Militar de São Paulo (PMESP) e outro direcionado para a Polícia Civil (PCESP), ficando sob a égide destas corporações seu uso para serviços aéreos (Pereira; Machado, 2017).

1.1.1 A Aviação na Polícia Militar do Paraná

Conforme Oliveira e Fávero (2022), no ano de 2002, houve a criação no Paraná do Centro de Operações Aéreas (CAER) que estava subordinado de maneira direta a Secretaria da Segurança Pública (SESP) que tinha como constituição o efetivo da Polícia Militar e da Polícia Civil. Este centro apresentava como objetivo executar operações aéreas policiais e de resgate em conformidade com as devidas competências institucionais da Polícia Militar do Paraná e da Polícia Civil do Paraná, tendo atribuição também de atuação na defesa civil em casos determinados pelo governador do Estado (PMPR, 2022).

Diante de suas atribuições e para que o Centro de Operações Aéreas pudesse dar cumprimento aos seus desígnios, foi feita a locação de dois helicópteros Bell 206L-4 Jet Ranger porque tratava-se de aeronaves que possibilitam o transporte de até sete pessoas. As aeronaves poderiam ser empregadas no cumprimento de missões de resgate de feridos, transporte de equipes especializadas ou para cumprimento de outros interesses institucionais e da mesma forma para o Serviço Integrado de Atendimento ao Trauma em Emergência (SIATE) quando era o caso. Os helicópteros receberam a denominação de Gralha 1 e Gralha 2, homenageando a gralha-azul que é a ave símbolo do estado do Paraná (PMPR, 2022).

Para Oliveira e Fávero (2022), no ano de 1992, a Seção de Transporte Aéreo da Casa Militar contava com dois helicópteros Bell 206 B3, designados como Falcão I e Falcão II para o desenvolvimento de operações policiais nos casos em que eram solicitados e havia disponibilidade. As duas aeronaves foram adquiridas para utilização do Governo Estadual e também para o uso para ações de segurança pública.

No desenvolvimento histórico das operações aéreas do Paraná, em 2009, houve a aquisição do helicóptero Eurocopter EC 130 B4 cuja operação seguia os mesmos modos ditados para as outras aeronaves, devido ao espaço interno e ao maior conforto propiciado pelo equipamento igualmente era facultado a prestação de apoio ao SIATE no transporte de vítimas feridas (PMPR, 2022).

Através do Decreto Estadual nº 9.411 de 20 de novembro de 2013, foi proclamada a extinção do GRAER e a criação do Batalhão de Polícia Militar de Operações Aéreas (BPMOA), que em face dos recursos materiais, utiliza atualmente uma frota de dez aeronaves, que apresentam como designativo operacional o nome: Falcão seguido do número da aeronave (Paraná, 2013). A frota é constituída por um Helicóptero *Bell 206 Jet Ranger* III - Falcão 01, três Helicópteros Eurocopter modelo EC130 B4 - Falcão 03, 04 e 08, um Helicóptero Robinson R44 - Falcão 07, um Helicóptero Robinson R66 - Falcão 10, um Avião Cessna C182P *Skylane* - Falcão 05, um Avião *Beechcraft Baron* BE58 - Falcão 06 e um



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

A MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS EM AERONAVES DE ASA
ROTATIVA EM USO PELA POLÍCIA MILITAR DO PARANÁ
Rafael Eduard Kolodzei

Bell 206 Jet Ranger III - Falcão 09 cuja locação foi feita pelo Instituto Água e Terra (IAT) com o objetivo de fiscalização ambiental (PMPR, 2022).

Além dessas aeronaves outras quatro serão arrendadas por via de licitação, juntamente com os helicópteros *Robinson R66* - Falcão 10 e *Bell 206 Jet Ranger III* - Falcão 01, que já se encontram em operação pela Polícia Militar do Paraná, também irão atuar nas operações policiais previstas pelo Projeto Falcão, que tem como objetivo a constituição de bases descentralizadas do BPMOA nas cinco regiões do Paraná visando a diminuição dos níveis de criminalidade no estado (Oliveira; Fávero, 2022).

Para que se consolide o cumprimento das demandas de atendimento das necessidades do radiopatrulhamento aéreo preventivo e repressivo que estão propostas pelo Projeto Falcão, é imprescindível que os helicópteros relacionados a este atendimento apresentem os requisitos mínimos com previsão no termo de referência, sendo que esta demandam elege o modelo *Robinson R66* diante dos recursos possibilitados pelo mesmo em termos de tecnologia embarcada (Oliveira; Fávero, 2022) e sua consequente manutenção preventiva.

A principal aeronave utilizada nas atividades operacionais da Polícia Militar do Paraná (PMPR) é o *Robinson 66* monoturbina. São duas unidades que foram acrescentadas em 2023 a outros dois helicópteros do Batalhão de Polícia Militar de Operações Aéreas (BPMOA), Eurocopter EC 130 B4. Estes equipamentos são totalmente equipados para uso no serviço policial, contando com painel dianteiro adaptado para operar com óculos de visão noturna (OVN), dispositivos internos e equipamentos como o sistema MX-10 que disponibiliza imagem térmica de alta resolução e detalhamento auxiliando nas operações de vigilância, busca e salvamento, reconhecimento de alvos, controle de fronteiras, rádio patrulhamento policial entre outras atividades policiais militares. Também é equipado com câmera infravermelha com resolução HD e zoom óptico contínuo permitindo a identificação de alvos a 4,5 quilômetros, com alcance máximo de até 15 quilômetros com condições atmosféricas e tamanho do objeto ideais e luzes de cabine e externas compatíveis com o OVN (Basseto, 2023).

O helicóptero policial R66 *turbine* é constituído por uma turbina confiável e de alto desempenho, com quatro lugares atendendo aos mais recentes regulamentos de resistência a colisões da FAA, fuselagem aerodinâmica que otimiza a velocidade do ar e a economia de combustível, equipado com moderna tecnologia de navegação e vigilância, sendo ideal para operações multifuncionais de baixa altitude, como vigilância tática e missões de busca e salvamento (Robinson, 2024).

Acerca da questão da vibração, o manual do modelo *Robinson R66* traz que deve ser avaliado o nível de vibração no torque máximo contínuo e em voo reto e nivelado e a controlabilidade do equipamento.

Quadro 1 - Solução de problemas de vibração no modelo R 66

Sintoma	Causa provável	Correção
	- Equipamento sem equilíbrio	- Rastrear e equilibrar



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

A MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS EM AERONAVES DE ASA
ROTATIVA EM USO PELA POLÍCIA MILITAR DO PARANÁ
Rafael Eduard Kolodzei

Vibração excessiva	<ul style="list-style-type: none"> - Fricção de articulação oscilante ou cônica - Encadernação de dobradiça oscilante ou cônica - Rolamento de fuso <i>Brinelled</i> (movimento brusco) - Rolamentos da dobradiça oscilante desgastados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ajustar o atrito da dobradiça - Substituir rolamentos - Enviar a(s) lâmina(s) para a empresa para substituição do rolamento do eixo. Substituir rolamentos
--------------------	--	---

Fonte: Robinson (2023, p. 18)

2. MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS EM AERONAVES DE ASA ROTATIVA

Antes cabe entender em que se constitui a vibração, desta forma, conforme explicita Hibeller (2010) trata-se de todo movimento periódico de um equipamento ou sistema interligados ao redor de uma posição considerada de equilíbrio. Em outras palavras, define-se como qualquer movimento repetitivo, regular ou irregularmente, após um período. Para que se possa entender melhor, alguns exemplos podem ser descritos como o movimento de um pêndulo e a corda de um violão quando acionada são exemplos simples de vibração. No contexto da engenharia referem-se aos movimentos que acontecem em elementos que compõem máquinas e nas estruturas que estejam submetidos a ações dinâmicas. Diante disso, o autor define dois tipos de vibração, a livre e a forçada.

A primeira acontece nos casos em que o movimento se conserva devido a forças restauradoras gravitacionais ou elásticas, tais como o movimento pendular ou a vibração de uma barra elástica. A segunda é determinada por uma força externa periódica ou descontínua que se aplica a um sistema. Assim, o movimento de um rotor desbalanceado é um exemplo clássico de uma vibração forçada (Hibeller, 2010).

Entendendo a vibração, procede-se a definição do processo de manutenção buscando o aporte teórico de Almeida Júnior (2015), que pode ser compreendido como a soma de ações técnicas basilares para o funcionamento regular e contínuo de um equipamento. São ações que devem englobar a conservação, reparação e substituição de partes que apresentem defeitos ou que estejam afetadas pela vibração contínua.

Neste caso, entende-se que a manutenção em aeronaves apresenta como objetivo principal a restituição da condição de algum componente dos mesmo em conformidade com os parâmetros estipulados pelo fabricante para o seu funcionamento, que seja imprescindível para sua segurança.

No âmbito da manutenção aeronáutica, informa Pinheiro (2019, p. 7) citando Falconi que:

Manutenção é o conjunto de atividades e recursos aplicados aos sistemas ou componentes das aeronaves, a fim de mantê-las nas mesmas condições de desempenho de fábrica e de projeto, visando garantir a consecução de sua função



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

A MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS EM AERONAVES DE ASA
ROTATIVA EM USO PELA POLÍCIA MILITAR DO PARANÁ
Rafael Eduard Kolodzei

dentro de parâmetros adequados de segurança de voo, disponibilidade, prazos, custos e vida útil.

Explicitando os quatro tipos básicos de manutenção, a manutenção planejada que pode ser classificada em preventiva e detectiva e a manutenção não programada subdividida em corretiva e de ocasião, destaca Almeida Júnior (2015), que cada um deles possui características particulares e por isso se aplicam em conformidade com a necessidade da atividade e complexidade de cada equipamento.

No caso específico deste estudo, aborda-se a manutenção preventiva que de acordo com Tu *et al.*, (2001) é a prática de substituir componentes ou subsistemas antes que eles falhem, normalmente com frequência predeterminada (*hard time*) ou em virtude de inspeção e teste. O objetivo é manter a operação contínua do sistema, nesse caso, a aeronave. Corroborando o exposto, Almeida Junior (2015) entende que na manutenção preventiva o objetivo é a redução ou impedir que aconteçam falhas ou diminuição do desempenho por meio de um plano que se fundamenta em intervalos definidos de tempo. Para o autor citado, trata-se de conjunto de inspeções que é acompanhada, nos casos de necessidade, por uma sequência de ações visando a correção do problema. Quando este tipo de manutenção é realizada em aeronaves, deve ser concretizada com critério seguindo as determinações de inspeção indicada pelo fabricante, sendo que todas as atividades realizadas pelos mecânicos precisam constar em sua documentação específica.

Diante disso, entende Moysés (2012) que a manutenção preventiva se trata da que é realizada rotineiramente e abrange serviços periódicos e inspeções programadas visando manter as condições operacionais da aeronave, por isso acaba apresentando como objetivo evitar falhas e perda de rendimento dos componentes da aeronave. Para tal, sua execução de maneira correta deve seguir um plano de trabalho antecipadamente determinado segundo a quantidade de horas voadas pela aeronave e mantendo intervalos de tempo regulares.

Como neste tipo de manutenção as paradas do equipamento são programadas, existe uma continuidade na operação da aeronave porque os componentes apresentarão vida útil acompanhada e controlada pela equipe de manutenção tornando mais fácil o planejamento das missões operacionais (Moysés, 2012).

A justificativa mais enfática da manutenção preventiva, segundo Mobley (2002), são os estudos acerca da confiabilidade de equipamentos em operação por períodos acima de trinta anos de uso contínuo que demonstram que 17% dos problemas que interrompem a operacionalidade do equipamento são resultado de problemas de manutenção e os 83% restantes não têm relação direta com a manutenção.

Contudo, alerta Moubrey (1997) que a manutenção preventiva se baseia na abordagem de que toda peça de um equipamento complexo apresenta tempo de vida determinado, sendo, portanto, necessária a cada ciclo completo uma revisão para assegurar sua operação de maneira confiável porque alguns tipos de falhas não são reduzidos pela manutenção preventiva, mesmo diante da sua efetividade comprovada.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

A MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS EM AERONAVES DE ASA ROTATIVA EM USO PELA POLÍCIA MILITAR DO PARANÁ
Rafael Eduard Kolodzei

Conforme descreve Almeida Junior (2015), a manutenção de aeronaves consiste em um conjunto de operações específicas que abrangem a execução de procedimentos que podem ser complexos, e por isso devem ser feitos por pessoal com qualificação. Pereira e Machado (2017) descrevem que o helicóptero é composto por mais componentes rotativos críticos com capacidade de originar falhas catastróficas do muitos outros, por isso a manutenção preventiva é imprescindível.

As principais atividades de manutenção consistiram em realizar o recondicionamento (*overhaul*), de quase toda a aeronave. Mesmo que os aviões e os seus sistemas eram bastante simples, a manutenção realizada desta forma tornou-se bastante cara. Com a crescente complexidade das aeronaves e seus sistemas, nos anos seguintes, esse gasto subiu notavelmente (Serrano, 2010, p. 4).

Por isso, a abordagem moderna da manutenção de aeronaves de asa rotativa tem se tornado mais sofisticada porque estes equipamentos são projetados com o objetivo de alcançar níveis cada vez mais elevados de segurança, aeronavegabilidade e manutenção conforme constam de seus programas de manutenção. Por isso, na área da aviação o uso de programas de manutenção abrange ações preventivas que são definidas visando aumentar o fator de segurança das aeronaves. Devido a isto, as corporações policiais militares apresentam em seus equipamentos disponíveis e em uso, aviônicos que possibilitem o registro, gravação e download dos parâmetros de voo associados com a utilização do motor em situações normais ou específicas de voo, concomitantemente com a enumeração de situações nas quais os limites de operação regular do motor sejam extrapolados (Almeida Junior, 2015; Pereira; Machado, 2017).

2.1 A vibração e suas implicações para o helicóptero

Conforme descreve Assis Neto (2013), a vibração consiste em fenômeno que se caracteriza por qualquer movimento repetitivo com regularidade ou não em um determinado intervalo de tempo. Diante disso, segundo informam Sérvulo e Saba (2009), devido ao fato de possuir asas (pás de rotor) e inúmeras partes rotativas, o helicóptero está predisposto a vários desbalanceamentos ou reações que tem potencial de provocar o surgimento de vibrações. Quando se trata deste tipo de aeronave a vibração não tem grande aceitabilidade por causa dos problemas estruturais da máquina e orgânicos que pilotos e passageiros podem apresentar.

Corroborando Assis Neto (2023) com a exposição por Cruz (2009) acerca da vibração que afeta conjuntos rotativos está relacionada com a oscilação ou movimento vibratório de um sistema mecânico formado por um ou diversos elementos que se apresentam em rotação. As causas dessas vibrações podem ser uma série de fatores, a exemplo de desequilíbrios de massa, imprecisão no sistema de rolamento, questões relacionadas com a geometria do conjunto, acréscimo do consumo de energia, ruídos excessivos e falhas desastrosas.

No helicóptero pode-se dividir as vibrações em três categorias de acordo com Rosen e Ben-Ari (1997):



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

A MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS EM AERONAVES DE ASA
ROTATIVA EM USO PELA POLÍCIA MILITAR DO PARANÁ
Rafael Eduard Kolodzei

- a) alta frequência ($f \geq 20 \text{ fR}$) – quando a frequência de vibração (f) é muito alta quando comparada com a frequência de rotação do rotor (fR) que são devidas principalmente ao motor ou a caixa de engrenagens;
- b) frequência moderada ($20 \text{ fR} > f \geq 5 \text{ fR}$) – devido ao rotor de cauda;
- c) baixa frequência ($5 \text{ fR} > f$) - originada pelo rotor principal tendo maior efeitos na tolerância humana e na fadiga de partes mecânicas.

Ainda podem ser descritas sob dois tipos específicos, conforme Sérvulo e Saba (2009) e Machado e Reisdorfer 2011):

- a) Vertical – que é ocasionada nos casos em que a pá está fora de pista (*tracking*) fazendo com que a aeronave seja sacudida na vertical, denominado como galope que é proeminente com o acréscimo da velocidade mantendo, contudo, baixa frequência. Além disso, problemas nas hastes de mudança de passo (*pitch links*), rolamentos de perfilamento também conhecidos como rolamento de mudança de passo ou compensador da pá (TAB) podem causar vibração.
- b) Lateral (horizontal) – causada pelo desbalanceamento do rotor principal, sacudindo o helicóptero na horizontal para frente e para trás e igualmente de um lado para o outro. Esta vibração se deve porque a força centrífuga puxa o helicóptero para o lado mais pesado do rotor principal, permanecendo constante em todas as velocidades do equipamento por causa da rotação por minuto que precisa permanecer constante. Os elementos que podem causar vibração são problemas no centro de massa da pá, rolamentos do cubo (batimento) ou *damper*.

De acordo com Assis Neto (2023), a vibração em helicópteros pode ser igualmente classificada como:

- a) Primária – determinada devido ao movimento do rotor principal e dos sistemas de transmissão de energia do helicóptero, podendo ser sentida nos pedais e no assento do piloto.
- b) Secundária - originada pela interação entre o rotor principal, rotor de cauda e outros elementos da aeronave, podendo ser difundida para a cabine do piloto e afetando o conforto e a eficiência da operação.
- c) Terciária - motivada por componentes rotativos menores, a exemplo de motores, rotores auxiliares e geradores, sendo sentida nas pás do rotor ou em outras partes.

Conforme entendem Cruz (2004) e González (2011), nos casos específicos de helicópteros, as vibrações também se classificam como auto excitadas devido à nutrição dada pela energia intrínseca sistema, ocorrendo inclusive na falta de forças externas atuando no mesmo e criando instabilidade por causa de oscilações divergentes a exemplo da ressonância solo e ressonância ar e comuns representadas por todas as outras. No âmbito das vibrações comuns existem as sem correção como rajadas de vento instantâneas e as possíveis de correção que se caracterizam pela atuação de elementos como o desbalanceamento de sistemas dinâmicos rotativos e a diferença de trajetória das pás.

Devido à engenharia de helicópteros requerer um conjunto dinâmico que se compõe por muitos elementos rotativos que se encontram em constante mudança de posição ao longo do tempo como



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

A MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS EM AERONAVES DE ASA
ROTATIVA EM USO PELA POLÍCIA MILITAR DO PARANÁ
Rafael Eduard Kolodzei

motores, eixos de transmissão, bombas, ventoinhas e rotores, o equipamento é colocado em exposição a um grande espectro de vibração (González, 2011), acaba sendo inevitável que as vibrações surjam, como descreve Anicézio (2015, p. 26):

Helicópteros são inerentemente associados com a ocorrência de vibrações devido a diversos fatores, como por exemplo, folgas ou envelhecimento de componentes, desbalanceamento e efeitos aerodinâmicos indesejados. As pás que estão avançando podem entrar em regime transônico devido à alta velocidade relativa do escoamento do ar (velocidade do helicóptero somada com a velocidade da pá) e ocorrer o surgimento de ondas de choque, além disso, as pás no retorno (velocidade do helicóptero subtraída da velocidade da pá) podem apresentar estol dinâmico. Esse fenômeno induz vibrações que são transferidas para a fuselagem, causando desconforto aos passageiros e pilotos. A frequência de vibração transferida para a fuselagem depende do número de pás do rotor e resulta em uma faixa geralmente entre 2 Hz e 8 Hz (ou seja, na faixa entre 1/rev e N/rev, onde N é o número de pás do rotor).

Visando evitar ou minimizar os efeitos causados pela vibração em helicópteros, é imprescindível que os sistemas que o compõem sigam o projeto e sejam fabricados conforme as normas técnicas específicas, mantendo atenção específica ao balanceamento de massas, alinhamento e solidez dos seus componentes. Concomitantemente, é altamente recomendável que sejam realizadas manutenções periódicas que incluam a lubrificação apropriada, monitoramento e análise de vibração visando a identificação de problemas antecipadamente para que se adote medidas corretivas indispensáveis para a correção de problemas. No caso específico da redução da vibração, as principais medidas incluem o balanceamento e ajuste adequado de rotores, utilização de materiais que absorvam a vibração, manutenção regular e testes de vibração visando a identificação e correção de problemas.

Como se pode observar, a manutenção envolvendo a vibração é muito importante e demanda de monitoramento constante das aeronaves de asas rotativas.

2.2 Sistemas de monitoramento de helicópteros

De acordo com Pegado (2010), no começo dos anos 1990 foi introduzido o sistema de acompanhamento de vibrações, *Vibration Health Monitoring* (VHM) para acompanhar os grandes helicópteros que davam apoio à indústria de petróleo, que eram operados pela Grã-Bretanha e Noruega respaldados no final da década pela diretiva adicional de aeronavegabilidade, *Additional Airworthiness Directive* (AAD) n. 001 de maio de 1999.

No ano de 2000 foi desenvolvido um programa de gerenciamento de vibrações denominada *Vibration Management Enhancement Program* (VMEP) em conjunto pela Guarda Nacional da Carolina do Sul (SCARNG), a unidade de manutenção da Aviação do Exército (AASF) e a Universidade da Carolina do sul (USC), tendo como objetivo a minimização do custo de operacional, a redução dos voos de manutenção e aumento da disponibilidade dos helicópteros e a segurança de voo, especificamente para os modelos Apache (AH-64), Blackhawk (UH-60) e Kiowa Warrior (OH-58D).

Nos anos 1970 teve início a medição de vibrações utilizando um equipamento denominado Vibrex da empresa Chadwick-Helmuth, cuja medição é direcionada para a verificação do correto



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

A MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS EM AERONAVES DE ASA
ROTATIVA EM USO PELA POLÍCIA MILITAR DO PARANÁ
Rafael Eduard Kolodzei

balanceamento das pás para adoção de medidas corretivas caso necessário. A adoção deste sistema de monitoramento possibilitou medidas que economizam tempo de execução de diagnósticos e foi empregado por mais 15 anos na detecção de falhas por intermédio da medição de vibrações. Sendo assim, surgiu um sistema de monitoramento de vibrações chamado VMEP com o objetivo de sistematização e automatização de um programa de controle de vibrações.

Posteriormente algumas aeronaves de asa rotativa contam com sensores distribuídos pela aeronave que originam vários parâmetros que são fornecidos para o *Health & Usage Monitoring Systems* (HUMS) que permite o acompanhamento de diversas situações em distintos componentes do helicóptero. O monitoramento se dá pela comparação com os parâmetros de componentes em perfeito estado de funcionamento, podendo-se descobrir panes de diferentes características (Pegado, 2010).

Segundo Silva *et al.* (2020, p. 57605), tem se desenvolvido ao longo dos anos instrumentos de medição, equipamentos para monitoramento e *softwares* especializados que possibilitam o reconhecimento da vibração e de diversos tipos de falhas a exemplo de:

desbalanceamento, desalinhamento, excentricidade, empenamento de eixos, desgaste em engrenagens e mancais, problemas de fixação da máquina ou de componentes internos, erosão, roçamentos, ressonância, folgas, desgastes em rolamentos e outros componentes rotativos, fenômenos aerodinâmicos e/ou hidráulicos e problemas elétricos.

Ainda conforme Silva *et al.*, (2020), as técnicas de análise de vibração utilizadas atualmente se encontram muito mais desenvolvidas englobando procedimentos mais simples como medição dos valores médios das amplitudes de vibração até aqueles com maior complexidade que envolvem cálculos de correlação e espectros de frequência. Diante disso, a utilização com maior eficácia da tecnologia eletrônica atual tem potencial de melhoria da capacidade das equipes de manutenção para prevenir as falhas nestes equipamentos. Assim, quando utilizam um analisador de vibração portátil, os mecânicos de manutenção podem fazer o monitoramento de diversos tipos de equipamentos, acumulando as assinaturas de vibração de um equipamento em tempos determinados relativamente curto.

Para identificar falhas em helicópteros por meio de frequências de vibração é imprescindível distinguir as que compatibilizam com as frequências que apresentaram aumento nos componentes do espectro. Este dados devem estar previstos no estudo inicial das especificações e desenhos de engenharia para cada modelo de helicóptero com a devida elaboração de um plano esquemático e o armazenamento no mesmo das especificidades geométricas e dinâmicas de cada equipamento porque cada um deles apresenta uma configuração específica de vibração relacionada com o aspecto e nível, como por exemplo, “a quantidade de polos do motor, as velocidades de rotação, a quantidade de dentes das engrenagens, os dados das bolas/rolos dos mancais de rolamentos, etc.” (Silva *et al.*, 2020, p. 57606). Para os autores cabe destacar que se apresentam várias fontes de vibrações comuns e que podem ser responsáveis pela maior parte das vibrações mecânicas prejudiciais.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

A MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS EM AERONAVES DE ASA
ROTATIVA EM USO PELA POLÍCIA MILITAR DO PARANÁ
Rafael Eduard Kolodzei

3. CONSIDERAÇÕES

Ao longo deste estudo observou-se que a vibração está sempre presente em todas as coisas, sendo que a grande maioria das atividades do homem apresentam algum tipo de vibração. Assim, entende-se a importância da vibração e sua análise especialmente na manutenção de máquinas e equipamentos, especialmente em helicópteros. Por isso, cabe a relevância da manutenção preventiva envolvendo a medição, análise e controle da vibração visando garantir a segurança de voo.

Este entendimento está diretamente relacionado com o perigo e desconforto causado pelas vibrações em helicópteros que afetam os elementos do rotor que passam a trabalhar em condições que demandam grandes esforços e expõem a risco de deterioração por fadiga, tornando o controle desses equipamentos mais difícil.

Os resultados desta pesquisa mostraram que a manutenção de aeronaves de asa rotativa é um elemento essencial para a operacionalidade e segurança de voo destes equipamentos, envolvendo equipes de manutenção que trabalham continuamente visando a manutenção da disponibilidade das aeronaves e a segurança de voo, que devem ser executadas conforme os manuais de manutenção da empresa que as fabricam.

Também trouxe resultados no sentido do entendimento de que o eficiente controle do nível vibratório de helicópteros apresenta benefícios para a manutenção porque evita panes e acidentes que podem ocorrer com prejuízos humanos e materiais. Os componentes dinâmicos que compõem a aeronave apresentam seu nível de frequência vibracional característico e a identificação qualitativa de qualquer alteração deste nível possibilita que se perceba previamente a necessidade de tomada de ações corretivas.

Para os helicópteros utilizados pela Polícia Militar do Paraná é de grande importância que os sistemas de detecção e análise vibracional estejam presentes e sejam eficazes diante da atividade à que se prestam de garantia da segurança pública e por isso essas atribuições promovem voos em ambientes de alto risco onde o sucesso da operação é muito importante.

Diante disso, pode-se concluir que o controle da vibração nos helicópteros é muito benéfico para a manutenção da aeronave porque pode evitar possíveis problemas e acidentes, além de evitar problemas de saúde para sua tripulação, constituindo-se como insubstituível ferramenta para a segurança de voo. A manutenção preventiva para estas aeronaves, responsável por uma utilização com maior efetividade das aeronaves de asa rotativa na segurança pública, representa um aspecto muito importante no que tange ao desenvolvimento das atividades aéreas de segurança pública do estado do Paraná efetivadas pelos Batalhão de Polícia Militar de Operações Aéreas (BPMOA) que é o contingente diretamente relacionado a estas aeronaves e que necessita desta segurança para o bom desempenho de suas funções tão importantes para o estado.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

A MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS EM AERONAVES DE ASA ROTATIVA EM USO PELA POLÍCIA MILITAR DO PARANÁ
Rafael Eduard Kolodzei

REFERÊNCIAS

ALMEIDA JÚNIOR, José Cândido de. **Terceirização na manutenção de aeronaves**: Um estudo sobre o modelo adotado para a frota de helicópteros da PMMG. 2015. 109f. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade FUMEC, Belo Horizonte, 2015.

ANICÉZIO, Marcela de Melo. **Atenuação de vibrações em pás de helicópteros utilizando circuito piezolétrico semi-passivo**. 2015. 103f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

ASSIS NETO, Gerson Rodrigues de. **Análise vibracional do rotor principal do helicóptero Airbus H225M**. 2023. 57f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023.

BARBOSA, Hudson R. R.; GAMA Thiago R.; ALBERNAZ, Claudia M. R. M. Análise de vibrações mecânicas e sua aplicação na manutenção de aeronaves de asa rotativa. **Revista Perspectivas Online: Exatas e Engenharias**, v. 08, n. 22, p. 1, 2018.

BASSETO, Murilo. **No Paraná, helicópteros superequipados como os de Los Angeles e drones reforçarão o policiamento**. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: https://aeroin.net/no-parana-helicopteros-superequipados-como-os-de-los-angeles-e-drones-reforcarao-o-policiamento/#google_vignette. Acesso em: maio 2024.

BASTOS, Expedito Carlos. Stephani. **Evolução do helicóptero para fins militares das origens a guerra do Vietnã**. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2004. Disponível em: https://silo.tips/queue/evoluao-dohelicopteroparafinsmilitaresdasorigensaguerradovietna?&queue_id=1&v=1718222799&u=MTc3LjlyMC4xODEuMjQ=. Acesso em: maio 2024.

CANAVÓ FILHO, José; MELO, Edilberto de Oliveira. **Polícia Militar: asas e glórias de São Paulo**. 2. ed. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 1978.

CRUZ, Ronaldo Vieira. **Fundamentos da engenharia de helicópteros e aeronaves de asas rotativas**. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), 2009. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/547328313/Fundamentos-Da-Engenharia-de-Helicópteros>. Acesso em: maio 2024.

FREITAS, Josmar Carreiro; SAOTOME, Osamu. Abordagem Estatística na Análise de Vibração em Helicópteros Esquilo. *In: XI Simpósio de Aplicações Operacionais em Áreas de Defesa – ITA*, São José dos Campos, set./out. 2009.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2004.

GONZÁLEZ, Rafael de Abreu. **Análise preditiva na detecção de falhas no rotor principal com foco na vibração em um helicóptero segundo a filosofia HUMS**. 2011. 137f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, 2011.

HIBELLER, Russel C. **Dinâmica: mecânica para engenharia**. 12. ed. São Paulo: Pearson Universidades, 2010.

MACHADO, Alessandro José; REISDORFER Marcio Leandro. **Conhecimento geral dos helicópteros**. Palhoça: UnisulVirtual, 2011. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/items/82feac71-a53f-4a71-9ec7-0874fc9e466d/full>. Acesso em: maio 2024.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

A MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS EM AERONAVES DE ASA
ROTATIVA EM USO PELA POLÍCIA MILITAR DO PARANÁ
Rafael Eduard Kolodzei

MAGALHÃES, Messias Alan de. **Radiopatrulhamento aéreo na Polícia Militar de Minas Gerais: o voo noturno em análise.** 2009. 123f. Monografia (Especialização em Segurança Pública) - Academia de Polícia Militar / Fundação João Pinheiro, Belo Horizonte, 2009.

MANNING, Peter K. As tecnologias de informação e a polícia. *In: CARDIA, Nancy (Coord).* **Policiamento Moderno.** São Paulo: Universidade de São Paulo, 2003.

MARQUES, Osvaldo de Souza. **O emprego de helicópteros da PMMG em ocorrências policiais de alta complexidade:** uma avaliação crítica sobre a sua utilização no interior do Estado. 2006. 255f. Monografia de Conclusão (Especialização em Segurança Pública) - Academia de Polícia Militar, Belo Horizonte, 2006.

MENONCIN, Rafael. **Conheça a origem do helicóptero e sua história!** [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: <https://blog.bianch.com.br/conheca-a-origem-do-helicoptero-e-sua-historia/>. Acesso em: maio 2024.

MOBLEY, Keith R. **An introduction to predictive maintenance.** 2 ed. Woburn: Elsevier Science, Butterworth-Heinemann, 2002.

MOUBRAY, John. **Reliability-centered maintenance.** 2 ed. New York: Butterworth-Heinemann Ltd, 1999. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/354757593/John-Moubray-Reliability-centred-Maintenance-2-1-pdf>. Acesso em: maio 2024.

MOYSÉS, Willian de Barros. **Programa de Manutenção de Helicópteros de Segurança Pública.** 2012. 205f. Dissertação (Mestrado em Ciências Policiais de Segurança e Ordem Pública) - Polícia Militar de São Paulo / Centro de Altos Estudos de Segurança, São Paulo, 2012.

OLIVEIRA, Paulo Francisco de; FÁVERO, Wiliam Celestino. Projeto Falcão: tecnologia embarcada nas operações aéreas da Polícia Militar do Paraná. **Brazilian Journal of Development.** Curitiba, v. 8, n. 11, p. 76518-76548, nov. 2022.

PARANÁ. **Decreto n. 9411,** de 20 de novembro de 2013. <https://www.pilotopolicial.com.br/wpcontent/uploads/2013/11/Decreto-cria%C3%A7%C3%A3o-do-BPMOA.pdf>. Acesso em: maio 2024.

PEGADO, Helio de Assis. Monitoramento de vibrações: uma ferramenta eficiente na prevenção de acidentes com helicópteros. **R. Conex. SIPAER,** v. 1, n. 3, p. 38-46, jul. 2010.

PEREIRA, Márcio Luiz Ramos; MACHADO, Marcio Cardoso. Atualização Tecnológica em Helicópteros de Segurança Pública. **Revista Conexão Sipaer,** v. 8, n. 1, p. 33-40, 2017.

PINHEIRO, Eridson dos Santos. **Reorganização e implementação de oficina de manutenção aeronáutica no centro integrado de operações aéreas do Rio Grande do Norte.** 2019. 47f. Trabalho de conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

PMPR. Polícia Militar do Paraná. **eProtocolo nº 19.603.564-8, de 17 de outubro de 2022.** Plano Setorial - BPMOA. Disponível em: [https://www.eprotocolo.pr.gov.br/spiweb/exibirProtocoloDigital.do?action=exibirVolumePDF&arquivo=196035648&codigoOrgaoPara=PMPR/DPROJ&arquivosDocumentadores=\[42613230,%2042612122\]&particao=1&volumeFechado=false](https://www.eprotocolo.pr.gov.br/spiweb/exibirProtocoloDigital.do?action=exibirVolumePDF&arquivo=196035648&codigoOrgaoPara=PMPR/DPROJ&arquivosDocumentadores=[42613230,%2042612122]&particao=1&volumeFechado=false). Acesso em: maio 2024.

ROBINSON. **R66 Maintenance Manual and Instructions for Continued Airworthiness.** [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: https://shop.robinsonheli.com/wpcontent/uploads/2023/11/r66_mm_full_book.pdf. Acesso em: maio 2024.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

A MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS EM AERONAVES DE ASA
ROTATIVA EM USO PELA POLÍCIA MILITAR DO PARANÁ
Rafael Eduard Kolodzei

ROBINSON. **R66 Turbine Police Helicopter**. [S. l.]: Robinson, 2024. Disponível em: <https://shop.robinsonheli.com/r66policehelicopter-specifications/>. Acesso em: maio 2024.

ROSEN, A.; BEN-ARI, R. Mathematical Modelling of Helicopter Rotor Track and Balance: Theory. **Journal of Sound and Vibration**, v. 200, n. 5, p. 589-603, march. 1997.

SANTOS, José Gildenys Charll dos. **Controle de vibração em helicópteros: eficiência na segurança de voo**. 2018. 50f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Mecânica) - Universidade de Taubaté, Taubaté, 2018.

SANTOS, José Gildenys Charll dos; CAMARGO, José Rubens de. Análise e Correção da Vibração no Helicóptero Airbus AS365 K2. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 12, p. 111996-112013, dez. 2021.

SANTOS, Zelãene dos. **Segurança no trabalho e meio ambiente: NR-9 – Riscos ambientais (Atual: Programa de Controle Médico de Saúde Ambientais – PPRA)**. [S. l.: s. n.], 2017. Disponível em: <https://pdf4pro.com/amp/view/nr-9-riscos-ambientais-atual-programa-de-b0701.html>. Acesso em: maio 2024.

SÃO PAULO. **Lei n. 1.395-a**, de 17 de dezembro de 1913. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1913/lei-1395A-17.12.1913.html>. Acesso em: maio 2024.

SERRANO, Andrés. A Manutenibilidade no projeto de aeronaves: aportes à segurança de aviação. **R. Conex. SIPAER**, v. 2, n. 1, p. 150-162, nov. 2010.

SÉRVULO, Paulo; SABA, Nicolau. **Apostila de helicóptero: Conhecimentos técnicos**. São Paulo: [s. n.], 2009. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/97577167/teoria-voo-pdf-helicoptero>. Acesso em maio 2024.

SILVA, Vinícius Samuel Pereira; VIEIRA, Anderson Vantuir Nobre; PIMENTEL, Michéle Santos; SOUTO, Marcelo Pereira; SENA, Vinícius Avelino; SILVA, Wellington Pereira et al. Desenvolvimento de tecnologia capaz de identificar choques mecânicos de alta energia em helicópteros. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n. 8, p. 57594-57616, ago. 2020.

TU, P. V. L.; YAM, R.; TSE, P.; SUN, A. O. *An integrated maintenance management system for an advanced manufacturing company*. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 17, n. 9, p. 692-703, 2001.