

VIBRAÇÃO EM HELICÓPTEROS E SEUS EFEITOS NA VIDA ÚTIL E NO DESEMPENHO DA AERONAVE

Giovane Mesquita Batistela Rodrigues

RESUMO

O presente artigo tem como objetivo abordar a vibração em helicópteros e seus efeitos na vida útil e no desempenho da aeronave. Este fenômeno físico acompanha a máquina desde a incipiência de seu desenvolvimento e, apesar dos anos de pesquisa e evoluções tecnológicas, ela nunca foi, de fato, extinta, mas sim, mitigada. A vibração surge do próprio funcionamento do helicóptero, através da movimentação mecânica de seus componentes, como a rotação das pás e do motor, e, quando não adequadamente controlada, pode acarretar danos que envolvem todo o conjunto de funcionamento da máquina, incluindo sua própria estrutura como também os pilotos e tripulantes, tendo em vista que a saúde dos mesmos pode ser afetada, diminuindo a operacionalidade da tropa. Torna-se intrínseco, então, um constante monitoramento das frotas, a fim de se garantir que todos os mecanismos existentes para a mitigação dos impactos estejam em correto funcionamento. Além disso, é de suma importância que toda a integridade física da aeronave e da tripulação esteja em constante conferência, tendo em vista que os efeitos negativos podem se manifestar em um longo prazo, através de programas adequados de manutenção e exames periódicos de saúde. Atendendo-se a esses requisitos, é possível aumentar a vida útil das aeronaves, garantindo, assim, um desempenho seguro e eficaz nas operações.

Palavras-chave: vibração; efeitos; tripulação.

ABSTRACT

This article aims to address vibration in helicopters and its effects on the aircraft's lifespan and performance. This physical phenomenon has accompanied the machine since the inception of its development, and despite years of research and technological advancements, it has never truly been eliminated, but rather mitigated. Vibration arises from the helicopter's own operation, through the mechanical movement of its components, such as the rotation of blades and the engine. When not adequately controlled, it can lead to damage that encompasses the entire functioning of the machine, including its structure, as well as the pilots and crew members. This is because their health can be affected, diminishing the operational capability of the unit. Therefore, constant monitoring of the helicopter fleets becomes intrinsic to ensuring that all existing mechanisms for mitigating impacts are functioning correctly. Moreover, it is of paramount importance that the physical integrity of the aircraft and crew is continuously verified. Negative effects can manifest over the long term, thus necessitating appropriate maintenance programs and regular health examinations. By adhering to these requirements, it is possible to extend the lifespan of the aircraft, thereby ensuring safe and effective performance during operations.

Keywords: vibration; effects; crew.

¹ Artigo apresentado em 15 de setembro de 2023 ao Centro de Instrução de Aviação do Exército

² 1º Tenente do Exército Brasileiro. Aluno do Curso de Gerência Administrativa de Aviação do Exército (CIAvEx). Email: batistela.giovane@eb.mil.br

1 INTRODUÇÃO

A criação e o desenvolvimento dos helicópteros foram empreitadas do ser humano que desafiaram constantemente os princípios físicos da natureza. Desde o princípio, vários obstáculos foram encontrados e, um por um, eliminados até ser encontrado um equilíbrio que permitisse a aeronave, finalmente, alçar voo. É necessário, entretanto, frisar que nem todas as adversidades foram extinguidas. Algumas foram apenas mitigadas a ponto de se tornarem aceitáveis, como é o caso da vibração.

“Vibração é um termo que descreve a oscilação em um sistema mecânico. (...) Tanto a movimentação de um objeto físico ou estrutura, ou, alternadamente, uma força oscilatória aplicada a um sistema mecânico são vibração, genericamente.” (HARRIS, M. Shock and vibration handbook. 4. ed. [S.l.]: McGraw-Hill, 1996, tradução nossa).

A vibração, como fenômeno físico, ocorre em várias máquinas mecânicas no mundo civil, como caminhões e empilhadeiras. Entretanto, aquelas observadas no ramo da aviação, tanto civil quanto militar, são as que ganham mais destaques por, principalmente, estarem associadas a frequências maiores.

De acordo com Anicézio (2015), “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”.

Nesse contexto, percebe-se que este evento é, de fato, algo que inevitavelmente acompanhará o helicóptero desde o momento em que é dada a sua partida até o desligamento dos motores. Torna-se essencial, portanto, que estudos sejam realizados nesse âmbito para se quantificar os efeitos desse fenômeno, com o objetivo de se antecipar possíveis problemas e buscar soluções.

Tendo em vista a tendência na aviação civil e militar de diversos países, torna-se necessária a atualização de novas formas de aperfeiçoamento da máquina que é a aeronave, em diversos aspectos, incluso o fenômeno da vibração. Porém, para isso, é notório que um mapeamento das causas e efeitos dessa física seja feito, antes de querer buscar inovações na área, é imprescindível reconhecer seus aspectos básicos. Diante do exposto, este trabalho científico buscará a seguinte solução: Quais são os efeitos da vibração na vida útil e no desempenho dos helicópteros?

A fim de nortear adequadamente o estudo, este trabalho desdobrar-se-á em 01 (um) objetivo geral e 04 (quatro) objetivos específicos. O objetivo geral da pesquisa consiste em verificar as consequências do fenômeno físico vibração na vida útil e no desempenho das

¹ Artigo apresentado em 15 de setembro de 2023 ao Centro de Instrução de Aviação do Exército

² 1º Tenente do Exército Brasileiro. Aluno do Curso de Gerência Administrativa de Aviação do Exército (CIAvEx). Email: batistela.giovane@eb.mil.br

aeronaves de asa rotativa. Além do objetivo geral, descrito acima, a pesquisa terá como objetivos específicos: a) definir o conceito físico de vibração b) descrever as consequências desse efeito na aeronave c) descrever os impactos da vibração na tripulação a bordo e d) abordar as novas tecnologias para mitigar a vibração.

No caso da aviação do exército, esse estudo toma uma proporção mais aguçada, tendo em vista que, atualmente, a AvEx possui apenas aeronaves de asa rotativa. Pelas palavras de Freitas e Saotome (2009), a vibração em aeronaves de asa rotativa possui características particulares quando comparadas com as de asa fixa, tendo em vista que a interação dos seus componentes possui outra dinâmica.

Soma-se isso ao fato dos pilotos militares estarem expostos a um tipo maior de estresse quando em voo. Segundo Smith et al. (2007), pilotos de aviões militares, especialmente os de motores à hélice, podem estar sujeitos a níveis de vibrações mais altos e por um período prolongado. O aumento de queixas de desconforto, irritação, fadiga e mesmo dores nas costas tem sido associadas a níveis de vibração cada vez maiores, devido ao aumento da potência dos motores e a períodos maiores de exposição, em missões cada vez mais extensas.

Sendo assim, a importância desse estudo acaba se caracterizando pela necessidade do constante monitoramento e evolução dos métodos e tecnologias empregadas nas aeronaves do Exército Brasileiro (EB). Adotando-se tal cultura, será possível o melhor aproveitamento dos meios humanos e materiais da força e, por conseguinte, uma economia dos mesmos. Além disso, este estudo alertará sobre os perigos da obsolescência, ao não se acompanhar as tendências tecnológicas seguidas pelas demais forças militares e ao meio civil.

2 DEFINIÇÃO DO CONCEITO FÍSICO DE VIBRAÇÃO

A vibração é um fenômeno físico presente em nosso cotidiano de forma tão natural que ela passa despercebida em acontecimentos do dia a dia. Entretanto, em uma breve análise, é possível constatar-la nas coisas mais simples como nos instrumentos musicais, nas oscilações de um lago ou no nosso próprio batimento cardíaco.

De acordo com VIEIRA (2021) “Qualquer movimento que se repita após um intervalo de tempo é denominado vibração ou oscilação. O balançar de um pêndulo e o movimento de uma corda dedilhada são exemplos típicos de vibração”.

Nicolini (2019) destaca a importância da matéria em seus estudos

Entre diversos movimentos encontrados na natureza, um dos mais importantes é o movimento oscilatório ou vibratório. O estudo da vibração

¹ Artigo apresentado em 15 de setembro de 2023 ao Centro de Instrução de Aviação do Exército

² 1º Tenente do Exército Brasileiro. Aluno do Curso de Gerência Administrativa de Aviação do Exército (CIAvEx). Email: batistela.giovane@eb.mil.br

diz respeito aos movimentos oscilatórios de corpos e às forças que lhe são associadas. Uma partícula está oscilando quando se move periodicamente em torno de uma posição de equilíbrio. Deste modo, a maior parte das máquinas e estruturas está sujeita à vibração e o seu projeto requer geralmente o exame do seu comportamento oscilatório.

A notoriedade dessa matéria se traduziu na quantidade de estudiosos que desprenderam esforços para estudá-la, tais como Pitágoras, Galileu Galilei (considerado o pai da física) e Isaac Newton. Cada um deles teve um entendimento diferente acerca da vibração.

Pitágoras, por exemplo, investigou-a através dos instrumentos musicais, realizando experimentos com uma corda vibratória em um instrumento batizado de monocórdio. Com isso, ele observou que uma corda, quando sujeita a tensões de comprimentos diferentes, emite notas mais agudas ou graves.

Galileu Galilei foi além e conseguiu observar o fenômeno através de seus estudos com a dinâmica dos pêndulos, no qual ele acabou discutindo também os conceitos de corpos vibratórios, aprimorando as descobertas sobre vibração solidária (ressonância), frequência, comprimento, tensão etc.

Para melhor visualização, o quadro 1 dispõe destes conceitos, assim como suas respectivas unidades de medida.

Tabela 1 – Definição dos conceitos físicos atrelados à vibração

Termo	Definição	Unidade de Medida
Ressonância	Fenômeno em que um objeto vibra com uma amplitude máxima devido à aplicação de uma frequência específica que corresponde à sua frequência natural de vibração.	Não possui unidade de medida específica.
Frequência	Número de ciclos completos de oscilações que ocorrem em um segundo.	Hertz (Hz)
Comprimento	Distância entre as extremidades que está sendo vibrada.	Metro (m)
Tensão	Força de tração aplicada ao objeto.	Newton (N)

Diversos físicos e matemáticos, desde então, aprimoraram as pesquisas feitas. Porém, através de Isaac Newton que a teoria de corpos vibratórios ganhou mais forma, tendo em vista que as equações para estudá-las foram derivadas das leis do movimento e da lei da gravitação universal. Com esse conhecimento em mão, foi possível compreender a vibração em termos

¹ Artigo apresentado em 15 de setembro de 2023 ao Centro de Instrução de Aviação do Exército

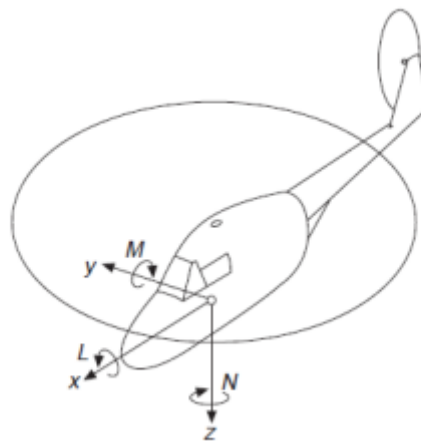
² 1º Tenente do Exército Brasileiro. Aluno do Curso de Gerência Administrativa de Aviação do Exército (CIAvEx). Email: batistela.giovane@eb.mil.br

matemáticos, já que o conceito de força vetorial começou a ser implantado para indicar as forças.

De acordo com Freitas e Saotome (2009, pág.1), “As forças de reação das pás girantes podem ser decompostas nas direções fixas X, Y e Z do helicóptero (...)”. (Fig. 1)

É importante trazer essa retratação gráfica do meio físico e matemático, pois as forças resultantes de certos componentes podem ser repassadas para outros, como é o caso do rotor principal.

Fig. 1 – Sistema Fixo de Coordenadas



Ainda tendo os conceitos acima em mente, foi no início do Século XX que o alemão Hermann Frahm apurou o estudo da vibração voltado para as hélices dos navios a vapor. Frahm era formado em engenharia naval e por meio de suas descobertas patenteou o sistema secundário de massa-mola que permitiu eliminar as vibrações do sistema principal (navio).

Trazendo essa percepção para o mundo da aviação, os helicópteros se traduzem como o sistema principal e, assim como Frahm realizou com os navios, há um sistema secundário de massas, molas e amortecedores que visam a eliminação do efeito vibratório, como pode se ver em estudos mais recentes:

De acordo com Blake (2002, pag 2.1) (tradução nossa)

os sistemas vibratórios compreendem meios para armazenar energia potencial, meios para armazenar energia cinética e meios pelos quais a energia é gradualmente dissipada. A vibração de um sistema envolve a transferência alternada de energia entre suas formas potencial e cinética.

Posteriormente, estudaremos neste trabalho como esse conjunto trabalha de maneira mais aprofundada.

É importante ressaltar que a vibração não é algo que se restringe ao mundo da aviação, mas é de uma magnitude tão grande a ponto ter sido estudada durante séculos por inúmeros

¹ Artigo apresentado em 15 de setembro de 2023 ao Centro de Instrução de Aviação do Exército

² 1º Tenente do Exército Brasileiro. Aluno do Curso de Gerência Administrativa de Aviação do Exército (CIAvEx). Email: batistela.giovane@eb.mil.br

físicos e matemáticos, e possui um conceito tão amplo que pode ser aplicada em praticamente em todo o nosso meio.

3 AS CONSEQUÊNCIAS DA VIBRAÇÃO NA AERONAVE

A vibração em uma aeronave pode ter uma série de consequências significativas para a segurança e desempenho da aeronave, incluindo seu sistema físico e sua tripulação. Esse fenômeno é causado por uma variedade de fatores, e dentre suas consequências, podemos citar o desconforto e fadiga da tripulação, como também situações mais graves de falhas em componentes vitais da aeronave. Portanto, entender esses efeitos é essencial para a operação segura e eficiente dos helicópteros.

De acordo com Freitas e Saotome (2009, pag.2), “A vibração (...) tem sido associada a desbalanceamentos, falhas de componentes dinâmicos, bem como ao tempo de utilização da aeronave”.

Como dito anteriormente, a vibração de uma aeronave de asa rotativa é diferente das de asa fixa, pois seus componentes interagem de maneira diferenciada. Como principal exemplo temos o rotor principal, peça de importância ímpar na aerodinâmica do helicóptero, porém que ao mesmo tempo ocasiona grande parte das forças vibratórias. Conforme trecho a seguir, em que (ANICÉZIO,2015, P. 26) detalha de maneira bem específica a dinâmica dos componentes rotativos e a vibração.

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 a 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).

Complementando, Freitas e Saotome (2009) ainda descrevem o caminho percorrido pela vibração por toda aeronave.

As forças e momentos devidos ao rotor principal são transmitidos a partir das pás para a cabeça do rotor. Em seguida, por meio do eixo de transmissão para os rolamentos da caixa de engrenagens e, conseqüentemente, para

¹ Artigo apresentado em 15 de setembro de 2023 ao Centro de Instrução de Aviação do Exército

² 1º Tenente do Exército Brasileiro. Aluno do Curso de Gerência Administrativa de Aviação do Exército (CIAvEx). Email: batistela.giovane@eb.mil.br

o seu revestimento. Finalmente os esforços são transmitidos para a fuselagem através dos pontos de fixação.

Santos (2018) ainda divide as vibrações formadas pelas partes do helicóptero em três categorias: alta frequência, frequência moderada e baixa frequência, sendo esta última a mais prejudicial para o helicóptero. Para comparação, a baixa frequência, ou seja, a mais prejudicial, é causada pelo rotor principal.

Dentre as causas, podemos citar o desbalanceamento do rotor principal, problemas nas hastes de mudança de passo ou no TAB (compensador da pá), todas estas, caso não sejam localizadas em inspeções, podem ocasionar vibrações que prejudicam não apenas os componentes, como também a aerodinâmica da aeronave.

No todo, pode-se afirmar que as consequências da vibração em uma aeronave afetam diretamente a segurança e o desempenho do helicóptero. Compreender esse fenômeno é o mesmo que garantir voos seguros e, no âmbito das Forças Armadas, um aumento da operacionalidade e aeromobilidade, tendo em vista o aumento da segurança de todos a bordo.

4 IMPACTOS DA VIBRAÇÃO NA TRIPULAÇÃO A BORDO

A influência da vibração na tripulação está intimamente ligado a vida útil da aeronave, tendo em vista que os efeitos negativos sentidos pelo piloto, podem afastá-lo temporariamente ou permanentemente da sua função. Como consequência, se não há piloto, não tem como a aeronave ser utilizada. É importante retratar a tripulação como parte da aeronave, pois esse Recurso Humano é altamente especializado e de difícil reacompanhamento, e sua falta inutiliza o helicóptero.

Como visto nos tópicos anteriores, pelo fato do helicóptero ser uma aeronave de asa rotativa, ela se submete a forças aerodinâmicas que resultam na vibração da célula da aeronave. Consequentemente, tudo o que estiver no interior da cabine (como seus tripulantes), receberá parte desta vibração.

De acordo com Pereira (2005) “A vibração frequentemente é considerada apenas um problema de engenharia, porém deve ser também um problema médico quando está relacionado ao ser humano”.

As normas ISO (International Organization for Standardization) relatam os efeitos da vibração no corpo humano, trazendo a percepção nociva e insalubre para a saúde humana. Para fins de comparação, frequências a partir de 0.1 hertz já são suficientes para causar enjoos.

Ainda segundo Pereira (2005)

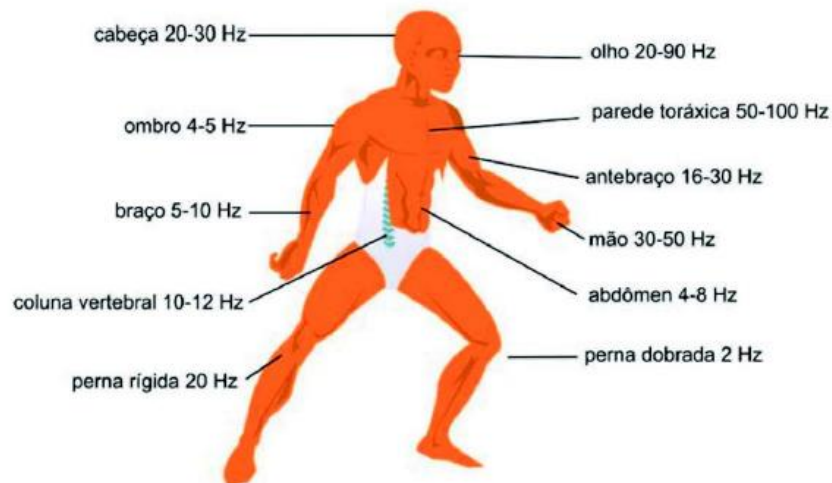
¹ Artigo apresentado em 15 de setembro de 2023 ao Centro de Instrução de Aviação do Exército

² 1º Tenente do Exército Brasileiro. Aluno do Curso de Gerência Administrativa de Aviação do Exército (CIAvEx). Email: batistela.giovane@eb.mil.br

Vibrações no corpo inteiro podem causar dor de cabeça, fadiga e insônia após ou durante as exposições. Os sintomas são similares àquele que muitas pessoas sentem após uma longa viagem de carro. Estudos em motoristas de ônibus e caminhões mostraram que a exposição à vibração pode ter contribuído para o aparecimento de um número de distúrbios circulatórios, no intestino, respiratórios, musculares e na coluna, sendo os efeitos combinados da postura, hábitos alimentares e vibração são as possíveis causas destes distúrbios.

O perigo aumenta quando se leva em consideração as próprias peculiaridades do corpo humano, uma vez que cada parte da nossa estrutura física possui suas próprias frequências fundamentais. Quando nosso corpo é exposto a vibrações cujas frequências são similares às fundamentais, ocorre um efeito chamado de ressonância. Em exposições prolongadas, os impactos podem ser extremamente graves, provocando danos permanentes (PEREIRA, 2005).

Fig. 2 – Frequências naturais de órgãos do corpo humano



Fonte: SIMÕES (2014)

É importante ressaltar que a ressonância não é um efeito perceptível apenas em seres humanos. Cada elemento na natureza possui uma frequência natural que, quando exposta a uma frequência externa, também causa grandes deformações e falhas mecânicas. A título de comparação, em julho de 1940, nos Estados Unidos, a ponte Tacoma Narrows desabou ao entrar em ressonância, induzida pelo vento.

Este evento notável na história da engenharia civil foi um marco que associou a necessidade de se estudar o evento da vibração e o seu controle em estruturas suspensas, principalmente aquelas expostas às intempéries. De forma reduzida, o vento que soprava no dia da queda da ponte coincidiu com a frequência natural da mesma. Por conta disso, a ponte começou a oscilar, aumentando sua amplitude gradualmente até o momento em que sua estrutura física foi comprometida graças às deformações causadas.

¹ Artigo apresentado em 15 de setembro de 2023 ao Centro de Instrução de Aviação do Exército

² 1º Tenente do Exército Brasileiro. Aluno do Curso de Gerência Administrativa de Aviação do Exército (CIAvEx). Email: batistela.giovane@eb.mil.br

Fig. 3 – Ponte de Tacoma Narrows derrubada após vibração induzida pelo vento



Fonte: Britannica

Já nos seres humanos, os principais sintomas podem ser percebidos conforme tabela abaixo.

Tabela 2 – Principais sintomas relacionados com a frequência da vibração

SINTOMAS	FREQUÊNCIA
Sensação geral de desconforto	4-9
Sintomas na cabeça	13-20
Maxilar	6-8
Influência na linguagem	13-20
Garganta	12-19
Dor no peito	5-7
Dor abdominal	4-10
Desejo de urinar	10-18
Aumento do tônus muscular	13-20
Influência nos movimentos respiratórios	4-8
Contrações musculares	4-9

Fonte: CPSOL

5 NOVAS TECNOLOGIAS PARA MITIGAR A VIBRAÇÃO

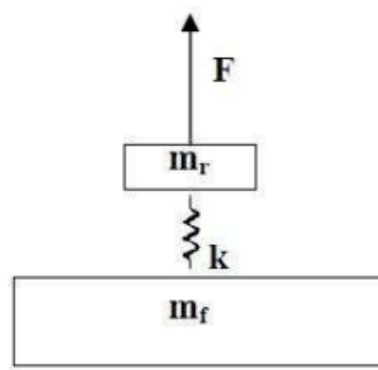
¹ Artigo apresentado em 15 de setembro de 2023 ao Centro de Instrução de Aviação do Exército

² 1º Tenente do Exército Brasileiro. Aluno do Curso de Gerência Administrativa de Aviação do Exército (CIAvEx). Email: batistela.giovane@eb.mil.br

De maneira geral, como a vibração é um fenômeno que acompanha as aeronaves de asa rotativa desde a sua concepção, é natural que seus desenvolvedores tenham incluído maneiras de controlar ou mitigar a vibração. Como foi visto no segundo capítulo deste trabalho, o conjunto massa, mola e amortecedor, evidenciado por Frahm, é o principal mecanismo utilizado para esse controle.

No helicóptero, esse sistema é conhecido como ressonador, e é instalado debaixo dos assentos do piloto, co-piloto e da cabeça do rotor. O efeito deste objeto é anular as vibrações verticais no ponto de fixação da mola, conforme mostrado na figura a seguir.

Fig. 4 – Representação do Ressonador



Fonte: Gomes (1999)

Fig. 5 – Componentes do antivibrador da cabeça do helicóptero AS 350 Esquilo.

¹ Artigo apresentado em 15 de setembro de 2023 ao Centro de Instrução de Aviação do Exército

² 1º Tenente do Exército Brasileiro. Aluno do Curso de Gerência Administrativa de Aviação do Exército (CIAvEx). Email: batistela.giovane@eb.mil.br



Fonte: Nicolini, et al (2017)

Porém, com o passar do tempo, e ao se notar os diversos malefícios trazidos pela vibração, a comunidade científica envidou esforços para evoluir estes mecanismos de anulação. Um desses exemplos são os materiais piezelétricos.

De acordo com Anicézio (2015, p. 29) “Os materiais piezelétricos têm a capacidade de converter energia elétrica em energia mecânica e vice-versa. O efeito piezelétrico direto é definido como a conversão de energia mecânica em energia elétrica”.

Em outras palavras, esses materiais seriam capazes de captar as vibrações e transformá-las em correntes elétricas que poderiam ser utilizadas na própria aeronave. Ainda de acordo com Anicézio (2015), através das técnicas de SSD (*Synchronized Switch Damping*), seria possível a conexão e desconexão do sistema elétrico produzido pelos materiais piezelétricos a um sistema externo, que possibilitaria a alimentação de outros sistemas de baixo consumo, como sistemas de verificação de integridade estrutural (*SHM- Structural Health Monitoring*).

Outra alternativa seria o controle ativo. De acordo com Zhang (2001) “O controle ativo é geralmente composto por quatro elementos: sensores, atuadores, uma unidade de força e um controlador”.

¹ Artigo apresentado em 15 de setembro de 2023 ao Centro de Instrução de Aviação do Exército

² 1º Tenente do Exército Brasileiro. Aluno do Curso de Gerência Administrativa de Aviação do Exército (CIAvEx). Email: batistela.giovane@eb.mil.br

Trazendo para a prática, observa-se, por exemplo, o sistema ACSR (*Active Control of Structural Responses*) composto por acelerômetros, um computador de controle digital e um conjunto de atuadores de força hidráulicos. De acordo com Gaspirini (2004):

O ACSR (...) não somente pode reduzir as vibrações induzidas pelo mastro do rotor principal, mas também pode controlar excitações provenientes de outras origens, como por exemplo o rotor de cauda. As desvantagens estão na manutenção, devido ao complexo sistema de atuação, como também seu peso elevado.

Apesar da quantidade de novas tecnologias, para o contexto da Aviação do Exército, o sistema piezelétrico é o que se mostra mais viável, conforme Gaspirini (2004)

Dentre os materiais mais utilizados como componentes ativos, citam-se os materiais piezelétricos, as fibras óticas, as ligas de memórias de forma, os materiais estricativos e os fluídos eletro-reológicos e magneto-reológicos. Os materiais piezelétricos surgem como uma alternativa viável pela sua capacidade de inserção na estrutura, baixo peso, força de atuação, resposta rápida, conversão direta de energia elétrica para mecânica e uma rede de fios elétricos que é menos vulnerável do que tubos para alimentação hidráulica (...)

Porém, vale ressaltar um estudo realizado por engenheiros do ITA (Instituto Tecnológico da Aeronáutica), no qual eles abordam os controles de vibração como o ressonador e os sistemas piezelétricos como sendo efetivos, mas elencam outro fator determinante na luta contra os efeitos negativos da vibração, a ser visto no próximo tópico.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desse estudo foi iluminar um assunto pouco abordado no âmbito da Aviação do Exército, justamente por ser algo tão cotidiano e natural. A vibração, apesar de ser um fenômeno físico básico, ocasiona diversas consequências negativas caso não seja tratada de maneira apropriada.

Como comparação, vale lembrar que a vibração, apesar de ser amplamente conhecida desde a sua idealização, não foi um ponto estudo de forma significativa pelos seus desenvolvedores até o início da década de 90, quando o sistema de *Vibration Health Monitoring (VHM)* – Sistema de acompanhamento de vibrações começou a ser introduzido.

Segundo Gavaghan (2019), a preocupação deixou de ser latente após uma tragédia que ceifou a vida de 47 pessoas. De acordo com a investigação, o acidente aconteceu devido a um erro de interpretação do piloto e co-piloto causado pela confusão de ambos, tendo em vista

¹ Artigo apresentado em 15 de setembro de 2023 ao Centro de Instrução de Aviação do Exército

² 1º Tenente do Exército Brasileiro. Aluno do Curso de Gerência Administrativa de Aviação do Exército (CIAvEx). Email: batistela.giovane@eb.mil.br

que naquela época não era levado tão a sério quando a aeronave apresentava uma vibração moderada a severa.

E, como foi visto nos parágrafos anteriores, a vibração pode afetar de maneira fisiológica na tripulação, causando um desconforto tão grande que pode levar à confusão da tripulação como um todo.

Algumas opções foram apresentadas como forma de mitigação e controle da vibração. Entretanto, vale a pena destacar um terceiro método abordado por Freitas e Saotome (2009), quando estudaram a vibração nos helicópteros Esquilo.

O processo de monitoramento de vibração em aeronaves de asas rotativas apresenta-se como grande aliado operacional para a identificação antecipada de falhas mecânicas e estruturais. Este processo agrega as vantagens de permitir uma maior disponibilidade da aeronave, redução de custos de manutenção, redução de custos de estoque de sobressalentes e aumento da confiabilidade da aeronave com a redução de falhas catastróficas (...). Desta forma, o incremento e modificação da assinatura de vibração da aeronave, que apenas seriam identificados durante a realização de inspeções programadas, passam a ser identificados antecipadamente através do processo de monitoramento.

Torna-se claro, portanto, que a diferença perante esse assunto deve ser realizada, principalmente no dia a dia, nas atividades inerentes à própria aviação, que é o monitoramento. Basta apenas começarmos a agregar esta cultura no escopo das frotas operacionais. Ao se realizar isso, haverá um aumento na eficiência das aeronaves e da própria tripulação, que já estarão salvaguardadas dos efeitos adversos da vibração.

¹ Artigo apresentado em 15 de setembro de 2023 ao Centro de Instrução de Aviação do Exército

² 1º Tenente do Exército Brasileiro. Aluno do Curso de Gerência Administrativa de Aviação do Exército (CIAvEx). Email: batistela.giovane@eb.mil.br

REFERÊNCIAS

ANICÉZIO, Marcela de Melo. **Atenuação de Vibrações em Pás de Helicópteros utilizando Circuito Piezelétrico Semi-Passivo**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, [S. l.], 2015. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18148/tde-30052016-162637/publico/marcelaanicezio.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6022**: Informação e documentação: artigo em publicação periódica técnica/científica: apresentação. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6028**: Informação e documentação: resumo: apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

CPSOL, SOLUÇÕES EM PREVENÇÃO. **Noções sobre vibrações**. [201-?]. Disponível em: livrozilla.com/doc/1408697/noções-sobre-vibrações---cp-soluçõesem-prevenção. Acesso em 22/08/2023

FREITAS, Josmar Carreiro; SAOTOME, Osamu. Abordagem Estatística na Análise de Vibração em Helicópteros Esquilo. **XI Simpósio de Aplicações Operacionais em Áreas de Defesa**, [s. l.], 2009. Disponível em: https://www.sige.ita.br/edicoes-anteriores/2009/st/XVI_1.pdf. Acesso em: 22 ago. 2023.

¹ Artigo apresentado em 15 de setembro de 2023 ao Centro de Instrução de Aviação do Exército

² 1º Tenente do Exército Brasileiro. Aluno do Curso de Gerência Administrativa de Aviação do Exército (CIAvEx). Email: batistela.giovane@eb.mil.br

GAVAGHAN, H. **Human error in the air: The report on the M1 plane crash at Kegworth last year underlines the importance of the “human factor” for safety** - <http://www.newscientist.com/article/mg12817432.600-human-error-in-the-air-the-report-onthe-m1->, acesso em 23/08/23

GASPARINI, José Nilson. **CONTROLE DE VIBRAÇÃO EM UMA PÁ INTELIGENTE DE HELICÓPTERO**. 2004. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, [S. l.], 2004. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18135/tde-12022016-170415/publico/jose_nilson_gasparini.pdf. Acesso em: 22 ago. 2023.

HARRIS, Cyril M.; PIERSOL, Allan G. (ed.). **HARRIS' SHOCK AND VIBRATION HANDBOOK**. 5ª. ed. [S. l.: s. n.], 2002. Disponível em: <http://nguyen.hong.hai.free.fr/EBOOKS/SCIENCE%20AND%20ENGINEERING/MECANIQUE/DYNAMIQUE-VIBRATION/Shock%20&%20Vibration%20Handbook.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2023.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5. Ed. São Paulo: Editora Atlas, 2003.

NICOLINI, André Luis Silva. **ESTUDO DA VIBRAÇÃO NOS ASSENTOS DOS PILOTOS DOS HELICÓPTEROS AIRBUS AS 350 ESQUILO**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Taubaté, [S. l.], 2019. Disponível em: <http://repositorio.unitau.br/jspui/bitstream/20.500.11874/4343/1/Andre%20Luis%20Silva%20Nicolini.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2023.

OLIVEIRA, Maria Carolina Barcellos de. **INVESTIGAÇÃO DO CONTROLE PASSIVO DE VIBRAÇÕES EM ESTRUTURAS MECÂNICAS ATRAVÉS DE CERÂMICAS PIEZOELÉTRICAS**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de São Carlos, [S. l.], 2021. Disponível em: https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/15220/TCC_2021-01_MCB_Oliveira.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 22 ago. 2023.

PEGADO, H. A. Monitoramento de vibrações: uma ferramenta eficiente na prevenção de acidentes com helicópteros. **Revista Conexão**. SIPAER, v. 1, n. 3, p. 038-046. Jul. 2010.

PEREIRA, Cristiano Cária Guimarães. **Curvas de percepção e conforto humano para vibrações verticais**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto-Escola de Minas. Ouro Preto, 2005.

SANTOS, José Gildenys Charll dos. **CONTROLE DE VIBRAÇÃO EM HELICÓPTEROS: eficiência na segurança de voo**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação do curso de Engenharia Mecânica) - Universidade de Taubaté, [S. l.], 2018. Disponível em: <http://repositorio.unitau.br/jspui/bitstream/20.500.11874/4825/1/Jose%20Gildenys%20Charll%20dos%20Santos.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2023.

SIMÕES, Sara Cristina Domingos. **Ruídos e Vibrações no Corpo Humano**. Avaliação de Ruídos e Vibrações – LAUAK PORTUGUESA – Indústria Aeronáutica, LTDA. Projeto

¹ Artigo apresentado em 15 de setembro de 2023 ao Centro de Instrução de Aviação do Exército

² 1º Tenente do Exército Brasileiro. Aluno do Curso de Gerência Administrativa de Aviação do Exército (CIAvEx). Email: batistela.giovane@eb.mil.br

Individual. Mestrado em Segurança e Higiene no Trabalho- 1º ano (7ª Edição. Instituto Politécnico de Setúbal, 2014.

SMITH, J. A.; BOWDEN, D. R.; SMITH, S. D.; JURCSISN, J. G.; WALKER, A. Y. **Dynamic characteristics and human perception of vibration aboard a military propeller aircraft**. Biosciences and Protection Division Biomechanics Branch, 2007.

TACOMA Narrows Bridge. [S. l.], 1998. Disponível em: <https://www.britannica.com/topic/Tacoma-Narrows-Bridge>. Acesso em: 22 ago. 2023.

VIEIRA, Iorran Batista. **A DINÂMICA DE NEWTON NO ESTUDO DOS MODOS DE VIBRAÇÃO DE UMA VIGA EM BALANÇO**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura Plena em Física) - Pontífica Universidade Católica de Goiás, [S. l.], 2021. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/1660>. Acesso em: 22 ago. 2023.

¹ Artigo apresentado em 15 de setembro de 2023 ao Centro de Instrução de Aviação do Exército

² 1º Tenente do Exército Brasileiro. Aluno do Curso de Gerência Administrativa de Aviação do Exército (CIAvEx). Email: batistela.giovane@eb.mil.br