



ESCOLA DE COMANDO E ESTADO-MAIOR DA AERONÁUTICA  
COORDENADORIA ACADÊMICA  
CURSO DE COMANDO E ESTADO-MAIOR

ENIO FELIPE RICCI **BRIANTI**, Ten Cel Av

**A Manutenção Preditiva na Frota de Aeronaves SC-105**

**Rio de Janeiro - RJ**

**2024**

ESCOLA DE COMANDO E ESTADO-MAIOR DA AERONÁUTICA  
COORDENADORIA ACADÊMICA  
CURSO DE COMANDO E ESTADO-MAIOR

ENIO FELIPE RICCI **BRIANTI**, Ten Cel Av

A Manutenção Preditiva na Frota de Aeronaves SC-105

Trabalho de conclusão de curso apresentado, como requisito parcial para aprovação, no Curso Avançado de Comando e Estado-Maior.  
Linha de Pesquisa: Doutrina de Logística da Aeronáutica.  
Orientador: Maurício Mello de Moraes.

Rio de Janeiro - RJ

2024

## RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo demonstrar qual a influência da manutenção preditiva na disponibilidade da frota de aeronaves SC-105 da Base Aérea de Campo Grande (BACG), no período compreendido entre os anos de 2018 e 2023. Para atingi-lo, foi conduzido um estudo bibliográfico e documental, utilizando-se de autores como Nepomuceno (2018), Kardec e Nascif (2009), Rao (2024), além da busca de informações em revistas, periódicos, sítios na internet, legislações do Comando da Aeronáutica e do Ministério da Defesa e de dados do Sistema Integrado de Logística de Material e de Serviços. A pesquisa foi conduzida, inicialmente, para identificar que a manutenção preditiva poderia ser aplicada nas inspeções técnicas de vibração, temperatura, detecção de defeito em material metálico e análise de lubrificantes nas aeronaves SC-105. Após a análise dos dados, verificou-se que estas técnicas contribuíram para a manutenção segura das aeronaves, evitando gastos desnecessários de remoção de itens, além de incrementar a continuidade da aeronave em operação. Por fim, foi realizado levantamento do histórico de disponibilidade dos últimos cinco anos. De posse destas informações, realizando correlação entre elas, pode-se concluir que a influência foi positiva no contexto geral da frota, mantendo a disponibilidade acima da meta estabelecida.

**Palavras-chave:** Preditiva; manutenção; logística; técnicas.

## ABSTRACT

*This research aimed to demonstrate the influence of predictive maintenance on the availability of the SC-105 aircraft fleet at the Campo Grande Air Base (BACG), in the period between 2018 and 2023. To achieve this, a bibliographic and documentary study, using authors such as Nepomuceno (2018), Kardec and Nascif (2009), Rao (2024), in addition to searching for information in magazines, periodicals, websites, legislation from the Air Force Command and the Ministry Defense and data from the Integrated Material and Services Logistics System. The research was initially conducted, to identify that predictive maintenance could be applied to technical inspections of vibration, temperature, detection of defects in metallic material and analysis of lubricants on SC-105 aircraft. After analyzing the data, it was found that these techniques contributed to the safe maintenance of aircraft, avoiding unnecessary expenses for removing items, in addition to increasing the continuity of the aircraft in operation. Finally, a survey of the availability history over the last five years was carried out. With this information, making a correlation between them, it can be concluded that the influence was positive in the general context of the fleet, maintaining availability above the established target.*

**Keywords:** *Predictive; maintenance; logistics; techniques.*

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>06</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>08</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>10</b>
3.1	VIBRAÇÃO.....	15
3.2	TEMPERATURA.....	16
3.3	DETECÇÃO DE DEFEITOS EM MATERIAIS METÁLICOS.....	17
3.4	ANÁLISE DO LUBRIFICANTE.....	18
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO DE DADOS E ANÁLISE DE RESULTADOS.....</b>	<b>19</b>
4.1	DA VIBRAÇÃO.....	19
4.1.1	Sobre a Hélice.....	20
4.1.2	Sobre a Estrutura da Aeronave.....	21
4.2	DA TEMPERATURA.....	21
4.3	DA DETECÇÃO DE DEFEITOS EM MATERIAIS METÁLICOS.....	23
4.4	DA ANÁLISE DO LUBRIFICANTE.....	24
4.5	DA DISPONIBILIDADE DA FROTA.....	26
4.6	DA ANÁLISE GERAL.....	27
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>27</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>30</b>
	<b>ANEXO A – ESPECTROMETRIA DE RAIOS-X.....</b>	<b>31</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A frota de aeronaves da Força Aérea Brasileira (FAB) é composta por um amplo leque de vetores responsáveis pelo cumprimento das missões e tarefas atribuídas à Força. Um dos principais fatores para manter a operacionalidade da organização é a disponibilidade e despachabilidade das aeronaves.

Dentro da FAB, o Grande Comando responsável pela logística da frota é o Comando Geral de Apoio (COMGAP), tendo como subordinado a Diretoria de Material Aeronáutico e Bélico (DIRMAB), que por sua vez, tem nos Parques de Material Aeronáutico (PAMA) os executores do suporte logístico e técnico para manutenção das aeronaves.

Nos PAMA, cada projeto possui coordenadores, engenheiros, mantenedores e suprimentistas dedicados para apoiarem em todas as áreas e aspectos, desde a implantação de projeto na Força, até o final de vida útil e consequente desativação da aeronave.

Entre os projetos apoiados pelo Parque de Material Aeronáutico do Galeão (PAMAGL) está a aeronave C-105 Amazonas, fabricada pela AIRBUS, com designação C-295. É uma aeronave de concepção moderna, responsável por cumprir uma ampla gama de ações, sendo as principais de busca e salvamento (SAR), evacuação aeromédica, ressuprimento aéreo e transporte aéreo logístico.

Existem três Esquadrões Aéreos que operam a aeronave. Em Manaus, Amazonas, está sediado o 1º/9º GAV, Esquadrão Arara, responsável pelo apoio de transporte aéreo logístico na região amazônica, além de apoio aos Pelotões de Fronteira e ressuprimento aéreo.

Em Campo Grande, Mato Grosso do Sul, encontram-se duas Unidade Aéreas que empregam o avião. O 1º/15º GAV, Esquadrão Onça, executa missões relacionadas evacuação aeromédica, ressuprimento aéreo e transporte aéreo logístico. O 2º/10º GAV, Esquadrão Pelicano, é responsável pelas missões de busca e salvamento. Além do SC-105, opera também a aeronave de asas rotativas H-60 Black Hawk.

Especificamente em relação ao 2º/10º GAV, convém destacar que recebeu, em 2009, duas aeronaves C-105 com capacidade de busca e salvamento, pois possuíam janelas, tipo bolha, de observação e um *pallet* SAR, com poltronas e kits, que eram alinhadas as janelas e proporcionavam melhor adequação de trabalho aos observadores SAR.

No início mostrou-se uma aeronave bem adequada para realização das missões, com grande autonomia e conforto a bordo, como banheiro, *galley*, forno, pressurização e ar condicionado, fatores não observados nos antigos SC-95 Bandeirantes que a Unidade operava anteriormente.

Porém, como o Brasil é signatário de diversos acordos internacionais relativos a áreas de responsabilidade SAR, somada às dimensões continentais do país e observando que os C-105 eram tão somente aeronaves de transporte com bolhas de observação e *pallet* SAR, surgiu a necessidade de vetores equipados especificamente para a busca e salvamento.

Assim, em 2014 foi assinado a compra de três aeronaves SC-105 junto a empresa AIRBUS. Os aviões apresentariam melhoramentos em relação aos cargueiros da frota brasileira, além de moderna aviônica, equipamentos de FLIR (*Forward Looking Infra-Red*), radar de busca de abertura sintética e capacidade de reabastecimento em voo (REVO).

Projetos de aeronaves mais novas contam com inúmeros sistemas modernos, que requerem cada vez mais atenção e principalmente recursos financeiros para serem mantidos operacionais. Após a pandemia de COVID-19 foi possível observar um aumento nos valores unitário de peças de reposição, além do aumento do valor cambial do dólar.

Assim, a cada ano que passa, o orçamento fica mais restritivo e é impeditivo o uso indiscriminado e sem justificativa dos recursos alocados para se manter os vetores aéreos. Somado a isto, verifica a preocupação constante em segurança de voo, perfazendo uma gangorra entre recursos financeiros e segurança de voo, sendo o último, inegociável.

Em contraponto, é conveniente se espelhar nas técnicas que a aviação civil emprega nas suas aeronaves, buscando a constante economia de meios e recursos, lançando mão de técnicas modernas de logística e manutenção da frota. Dentre elas, encontra-se a manutenção preditiva, caracterizada pelo monitoramento e diagnóstico em tempo real de equipamentos, processos e cadeias produtivas, que segundo Leal et al (2022), tem o propósito de agir quando estes apresentarem situações que possam resultar em falha, quebra, redução de desempenho, diminuição da segurança aos operadores ou afetar o controle de qualidade de um produto.

Neste cenário, este autor começou a levantar questionamentos e as inquietações vieram à tona, culminando no seguinte problema de pesquisa: Qual a influência da manutenção preditiva na disponibilidade da frota de aeronaves SC-105 da Base Aérea de Campo Grande (BACG), no período compreendido entre os anos de 2018 e 2023?

Assim, o objetivo geral deste estudo foi demonstrar qual a influência da manutenção preditiva na disponibilidade da frota de aeronaves SC-105 da Base Aérea de Campo Grande (BACG), no período compreendido entre os anos de 2018 e 2023.

Neste sentido, para guiar o raciocínio até o objetivo geral e solucionar o problema de pesquisa, foram propostos três objetivos específicos:

OE1 – Identificar as técnicas de manutenção preditiva que podem ser aplicadas na aeronave SC-105.

OE2 – Descrever como as técnicas de manutenção preditiva têm a capacidade de influenciar os índices de disponibilidade da aeronave SC-105.

OE3 – Analisar a disponibilidade apresentada pela aeronave SC-105 entre os anos de 2018 e 2023.

A pesquisa mostra-se relevante, pois os assuntos são abordados em âmbito mundial nas principais Forças Aéreas, que buscam constantemente manter a operacionalidade com segurança de voo e economia de recursos, principalmente quando envolvidos na missão de busca e salvamento, que costumeiramente surge de forma inopinada e necessita de tecnologia e disponibilidade dos meios empregados, pois há vidas dependendo destes fatores.

Para dar continuidade ao trabalho, é importante apresentar a metodologia utilizada para o levantamento de informações e a análise de dados do estudo.

## **2 METODOLOGIA**

O trabalho caracteriza-se pelo levantamento de fatores da manutenção preditiva que influenciam no projeto SC-105 Amazonas, configurando em uma pesquisa descritiva.

Além disto, o trabalho esquadra-se como bibliográfico, pois a pesquisa inclui material impresso, como livros, revistas, jornais, teses, dissertações e anais de eventos científicos e como documental, pois vale-se de toda sorte de documentos, elaborados com finalidades diversas, tais como assentamento, autorização, comunicação.

Para atingir os objetivos específicos, foi conduzida uma pesquisa por meio de livros, com os autores renomados da área de manutenção preditiva, como Nepomuceno (2018), Kardec e Nascif (2009), Rao (2024) na área de vibração mecânica, além de revistas, periódicos, sítios na internet, bem como legislações do Comando da Aeronáutica (COMAER) e do Ministério da Defesa, além de pesquisas de dados no Sistema Integrado de Logística de Material e de Serviços (SILOMS).

Neste sentido, especificamente para se atingir o OE1, que é identificar as técnicas de manutenção preditiva que podem ser aplicadas na aeronave SC-105, foi conduzida uma pesquisa no *Maintenance Review Board Document* (MRBD). Esta documentação contempla os requisitos mínimos de manutenção programada para a continuidade da aeronavegabilidade da aeronave. Assim, estão previstas as periodicidades das inspeções, as tarefas a serem cumpridas, o tempo gasto em cada tarefa, além das ferramentas especiais para apoio nas intervenções de manutenção.

Em relação a descrever como as inspeções técnicas de manutenção preditiva têm a

capacidade de influenciar os índices de disponibilidade da aeronave SC-105, que é o OE2, foi realizada ampla pesquisa em livros especializados em tipos de manutenção, além de revistas e sítios de internet que abordam o assunto de maneira atualizada. Inicialmente foram caracterizados todos os tipos de manutenção empregados e descritos na Doutrina de Logística da Aeronáutica (DCA 2-1, 2022). Após, foi feito cruzamento com as manutenções selecionadas por meio do OE1 e descritos todos os eventos e medidas tomadas, baseando-se em informações advindas do SILOMS.

Por fim, para analisar a disponibilidade apresentada pela aeronave SC-105 entre os anos de 2018 e 2023, que configura o OE3, foi extraído do SILOMS, um histórico de disponibilidade dos últimos 5 anos, a qual possui informações contemplando outros tipos de manutenções, como as manutenções não programadas, as manutenções programadas, que são as inspeções A, 2A, 3ª e 2Y, realizadas no operador, além das trocas de itens por vencimento de TBO (*Time Between Overhaul*), os quais não fazem parte do escopo deste estudo. Cabe destacar que os dados primários levantados no SILOMS foram alterados para valores percentuais para descaracterizar sua natureza sigilosa. Com isto em mãos, foi realizado um cruzamento de informações entre o resultado do OE1 e OE2, com o obtido pelo OE3, culminando no objetivo geral da pesquisa.

Importante frisar que os dados levantados das manutenções realizadas nas aeronaves SC-105 referiram-se ao período 2018 a 2023, caracterizando efetivamente o início da utilização dos aviões nas operações de busca e salvamento por parte do 2º/10º GAV, apoiados logisticamente pelo Grupo Logístico da Base Aérea de Campo Grande (GLOG-CG). Além disto, as informações estão consolidadas, com as tarefas, ações corretivas e homem/hora lançados e que não podem sofrer quaisquer modificações neste momento.

Como limitação da pesquisa, é importante frisar que os dados extraídos do SILOMS, por possuírem caráter reservado, foram resumidos e apenas utilizados os mais necessários para indicarem as disponibilidades de aeronaves e a quantidade de inspeções, sem entrar no mérito de informações mais aprofundadas sobre os dados obtidos.

Quanto a forma de abordagem, utilizou-se a análise qualitativa e quantitativa dos dados levantados, relacionando as informações obtidas em cada objetivo específico para se chegar ao objetivo geral da pesquisa. Além disto, em relação à natureza, a pesquisa enquadrou-se como aplicada, sendo voltada à aquisição de conhecimentos com vistas à aplicação numa situação específica.

Finalizando a apresentação do conhecimento das metodologias utilizadas no trabalho, segue-se a discussão sobre as teorias e autores que viabilizam a análise dos dados coletados.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Nas atividades humanas em geral, a manutenção é de vital importância para o bom funcionamento e longevidade de equipamentos, dispositivos, maquinários e ferramentas. Dentro da área industrial, esta atividade é vista de forma estratégica, conforme Kardec e Nascif (2009, p. 11) afirmam que “é preciso deixar de ser apenas eficiente para se tornar eficaz, ou seja, manter o equipamento disponível para a operação e reduzir o tempo de uma parada de produção não planejada”.

Na área da aviação não é muito diferente. Além dos elementos elencados anteriormente, alguns outros pontos são bastantes discutidos, sendo a segurança de voo um dos mais importantes. Assim o Manual de Manutenção (MCA 66-7, 2017), define a manutenção como sendo “o conjunto de ações ou medidas necessárias à preservação do material, para mantê-lo em serviço, restituir suas condições de utilização, prover a máxima segurança em sua operação e estender sua vida útil tanto quanto seja desejável e viável técnica e economicamente (BRASIL, 2017, p.467).”

Devido a sua importância, a manutenção configura uma Função da Ação de Força Aérea, denominada Logística, dentro da Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira (DCA 1-1, 2020) e se resume sendo um “conjunto de atividades de Logística que consiste em empregar Meios de Força Aérea para prever, prover e manter o material aeronáutico e espacial necessário às operações militares ou ações governamentais no Teatro de Operações ou na Área de Operações”. (BRASIL, 2020, p.33)

Ainda é reforçada pela Doutrina de Logística da Aeronáutica, DCA 2-1 (2022), que afirma que “a manutenção corretamente executada aumenta a vida útil dos equipamentos, reduz as necessidades de suprimento e permite economizar recursos para atender a outras finalidades”. (BRASIL, 2022, p.22).

Neste sentido, convém apontar quais são os tipos de manutenção existente e mais comumente utilizadas atualmente. Não é consenso entre os autores sobre quantas são as manutenções. Kardec e Nascif (2009) citam as manutenções corretiva não planejada, corretiva planejada, preventiva, preditiva, detectiva e engenharia de manutenção. Para a ABNT 5462 (1994), além destas anteriormente citadas, ainda contam com as manutenções deferida, automática e remota.

A DCA 2-1, Doutrina de Logística da Aeronáutica (2022), elenca como tipos de manutenção como sendo: manutenção preventiva, manutenção preditiva, manutenção modificadora e manutenção corretiva.

Enfim, uma gama variada de tipos de manutenções que trabalham conjuntamente durante um ciclo de vida de um equipamento. Para efeito deste trabalho, em consonância com os tipos de manutenções mais empregadas na Força Aérea, foram apresentadas as definições das manutenções corretiva não planejada, corretiva planejada, preventiva, preditiva e detectiva.

ABNT 5462 (2014, p. 7) define a manutenção corretiva não planejada como sendo “efetuada após a ocorrência de uma pane e é destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida”. É um tipo de manutenção cara, porém difícil de eliminar completamente do contexto. Ela requer amplo leque de peças de reposição, o que acarreta armazéns de suprimento grandes e alto investimento para estocagem dos itens.

Quanto ao funcionamento do equipamento ou maquinário, a parada não programada gera prejuízos na produção, e, no caso da aviação, não possibilita a despachabilidade da aeronave, acarretando prejuízos para a empresa e para o passageiro. No caso da Força Aérea, impossibilita o cumprimento de uma missão, podendo ficar vários dias com a aeronave indisponível, até que seja adquirida a peça de reposição, quando não há no estoque.

A manutenção preventiva, conforme Bueno (2020, p. 25) “visa eliminar ou reduzir as probabilidades de falhas por manutenção, promovendo atividades rotineiras em períodos pré-determinados, de acordo com as instruções do fabricante”. Este tipo de manutenção possibilita a preparação prévia por parte dos mantenedores, com a separação de itens consumíveis que serão utilizados durante as tarefas da manutenção.

Também proporciona previsibilidade de gastos financeiros, do tempo de parada do equipamento e do pessoal envolvido na atividade, o que ocasiona uma melhor mensuração do orçamento de uma organização referente à manutenção de equipamentos.

Para Kardec e Nascif (2009, p. 41), a “manutenção corretiva planejada é a correção do desempenho menor do que o esperado ou a correção da falha por decisão gerencial, normalmente baseado nos parâmetros observados pela manutenção preditiva”. Geralmente é mais barata que uma manutenção corretiva não programada. O gestor da manutenção programa a parada do equipamento, adequando o melhor momento para sua empresa ou fábrica.

Na FAB, o chefe da manutenção de uma unidade, gerencia com os demais setores, como a Seção de Operações, pois, na maioria das vezes, estas panes não incorrem em segurança de voo e a aeronave pode continuar a voar até o melhor momento para parada. Neste caso, a indisponibilidade da aeronave não é longa, pois houve uma preparação prévia

para a manutenção, com o material necessário separado e o pessoal ciente dos serviços a serem realizados.

A manutenção detectiva, segundo Kardec e Nascif (2009, p.47), é a “atuação efetuada em sistemas de proteção, comando ou controle, buscando detectar falhas ocultas ou não perceptivas ao pessoal de manutenção ou operação”. É um tipo muito utilizado em aviação, como os painéis de alarmes de uma aeronave ou os auto testes nos sistemas de aviônicos. O pessoal de manutenção consegue realizar cheques no sistema, sem necessariamente tirá-lo de operação. Existe a capacidade de detectar as falhas e corrigi-las, mantendo o sistema em operação.

Por fim, a “manutenção preditiva é a atuação realizada com base na modificação de parâmetros de condição e desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática (Kardec e Nascif, 2009, p. 44)”.

A manutenção preditiva atua na antecipação da detecção de falha potencial em um horizonte temporal menor se comparada aos outros tipos de manutenção, além de agir na causa raiz do problema. Ainda complementa afirmando que a antecipação auxilia ainda no aproveitamento máximo deste ativo, de suas peças, e possibilita a programação de sua substituição (LEAL et al., 2022, p. 17).

A manutenção preditiva “é realizada através de monitoramento da condição e a ação de correção, quando necessária, é realizada através de uma manutenção corretiva planejada” (Kardec e Nascif, 2009, p. 45).

Manutenção preditiva é baseada em parâmetros estatísticos de confiabilidade, pré definidos, que visam caracterizar, acompanhar, diagnosticar e analisar a evolução do estado de equipamentos e sistemas, subsidiando o planejamento e a execução de ações de manutenção para quando forem efetivamente necessárias, a fim de prevenir a ocorrência de falhas, permitindo a operação contínua pelo maior tempo possível (BRASIL, 2022, p. 23/24).

É importante lembrar que a manutenção preditiva tem a necessidade de intervenção baseada no estado do equipamento, sendo a avaliação realizada por meio de medição, acompanhamento ou monitoramento dos parâmetros. O acompanhamento pode ser realizado de três maneiras: subjetivo, objetivo e contínuo.

O acompanhamento subjetivo é baseado nos sentidos do agente de manutenção, como o tato, olfato, audição e visão. Pode variar de pessoa para pessoa e é influenciado pelo treinamento e experiência do profissional de manutenção. Já o acompanhamento objetivo é realizado com base em medições utilizando equipamentos ou instrumentos especiais. Fornece valor de parâmetro independente do operador, desde que seja usado o mesmo procedimento e que o equipamento esteja calibrado e dentro da validade.

Por fim, cabe destacar a monitoração contínua, conforme Kardec e Nascif definem.

A monitoração contínua, que é também um acompanhamento objetivo, foi inicialmente adotada em situações em que o tempo de desenvolvimento do defeito era muito curto e em equipamentos de alta responsabilidade. Isso significa uma excelente proteção desde que, em um primeiro momento, alarma e em seguida promovem a parada ou desligamento do equipamento, uma vez atingido o valor-limite estipulado (Kardec e Nascif, 2009, p. 240).

Cabe ressaltar que não existe uma classificação que ordene qual destes tipos de monitoramento é mais importante que o outro. O conjunto de ações coordenadas entre eles faz com que a manutenção preditiva se torne um conjunto de medidas eficaz para prevenir problemas futuros mais graves.

No quadro a seguir, segundo Kardec e Nascif (2009), é possível verificar algumas técnicas preditivas utilizadas na área de manutenção geral:

**Quadro 1** – Quadro resumo de técnicas preditivas

TÉCNICA	CARACTERÍSTICAS	MÉTODO DE DETECÇÃO
Vibração	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Um dos mais importantes métodos de predição</li> <li>-Presente em qualquer sistema responde a uma excitação</li> <li>-Concentrada nos equipamentos rotativos</li> <li>-Expressos em termos de deslocamento, velocidade, aceleração e frequência</li> <li>-Indica “onde o ponto pesado se encontra em relação ao sensor de vibração”</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Sensores eletromagnéticos e capacitivos</li> <li>-Sensores eletrodinâmicos de velocidade</li> <li>-Acelerômetros</li> </ul>
Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Mais fácil compreensão</li> <li>-Acompanhamento da sua variação permite constatar alteração na condição de equipamentos, de componentes e do próprio processo</li> <li>-Equipamentos elétricos é um método preditivo que permite localizar e acompanhar defeitos incipientes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Termômetro de contato</li> <li>-Fita indicadora</li> <li>-Lápis e giz indicadores de temperatura</li> <li>-Tinta termossensível</li> <li>-Medição de temperatura por radiação</li> <li>-Pirômetro de radiação</li> <li>-Sistemas infravermelho</li> <li>-Termômetros infravermelho</li> <li>-Termovisores e termografia</li> </ul>
Inspeção visual	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Técnica subjetiva</li> <li>-Fundamental para definição da condição de equipamentos, componentes e estruturas</li> <li>-Possibilita realizar a inspeção interna sem desmontagem do equipamentos</li> <li>- Equipamentos e instrumentos de reflexão</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Pontas de prova de 2 a 15mm de diâmetro</li> <li>-Pontas de prova refletivas</li> <li>-Espelhos manuais</li> <li>-Endoscópios</li> <li>-Fibras ópticas</li> </ul>

	e ópticos permitem a visualização em locais de difícil acesso	-Lupa manual -Lentes -Microscópios -Periscópios
Estroboscópio	-Consiste numa lâmpada ligada a um circuito que proporciona a emissão de sinal de luz a frequências ajustáveis -Lâmpada acenderá e apagará continuamente em uma frequência ajustável através de um dial de controle	-Equipamento estroboscópio
Detecção de vazamentos	-Constituem um dos grandes problemas nas indústrias, instalações prediais e transportes -Detecção e o reparo são importantes tanto no aspecto de segurança quanto nos aspectos de custos e de preservação de energia e do meio ambiente	-Espuma de sabão ou creme de barbear -Uso de chama de maçarico de GLP ou acetileno para detecção de vazamentos de freon -Detetores de gás -Spray de amônia -Instrumentos ultrassônicos
Medição de Espessura	-Espessura do material define a condição de um componente ou do próprio equipamento	-Paquímetros e micrômetros -Ultrassom
Detecção de Defeitos em Materiais Metálicos	-Trincas e discontinuidades no material devem ser objeto de rigorosa investigação -Definição quanto à integridade e à conformidade do material	-Ultrassom -Líquido penetrante -Partículas magnéticas -Corrente parasita -Raio X -Emissão acústica
Medidor de Pulsos de Choque	-Analisar o estado de mancais de rolamentos em máquinas rotativas -Mede a amplitude dos choques mecânicos gerados nos rolamentos que apresentam algum dano, através do pulso de choque	-Equipamento medidor de pulso de choque
Análise do Lubrificante	-Verificar as propriedades mais importantes do lubrificante -Minimizar o desgaste no funcionamento das máquinas	-Análise físico-química -Ferrografia
Alinhamento de Máquinas Rotativas	-Dispor os eixos de tal modo que, à temperatura de operação, estejam seguindo uma linha reta, tomando-se como referência suas linhas de centro	-Relógio comparador -Feixe de laser

Fonte: Kardec e Nascif (2009, p. 244/298)

Dentro deste amplo leque de técnicas e possibilidades, é justo separar aquelas que mais se adequam e estejam previstas nas Ordens Técnicas da aeronave SC-105. Assim, na

sequência, serão apontadas as técnicas, bem como as aplicações que elas estão inseridas na manutenção do SC-105 Amazonas.

### 3.1 VIBRAÇÃO

Segundo Rao, vibração ou oscilação se caracteriza por ser “qualquer movimento que se repete após um intervalo de tempo” (Rao, 2008, p. 6).

O balançar de um pêndulo e o movimento de uma corda dedilhada são exemplos típicos de vibração. A teoria da vibração trata do estudo dos movimentos oscilatórios de corpos e as forças associadas a eles. Em geral, um sistema vibratório inclui um meio para armazenar energia potencial (mola), um meio para armazenar energia cinética (massa) e um meio para dissipar energia (amortecedor). A vibração ocorre quando existe uma transferência alternada entre a energia potencial armazenada e a energia cinética (RAO, 2008, p. 6).

Kardec e Nascif (2009, p. 244) apontam que os parâmetros de vibração são expressos em termos de deslocamento, velocidade e aceleração.

Todas as três representam ‘o quanto’ o equipamento está vibrando. A frequência é outra variável de importância na análise de vibração, que ajuda a identificar a sua origem, ou seja, ‘o que’ está causando a vibração. Finalmente, a fase indica ‘onde o ponto pesado se encontra em relação ao sensor de vibração’ (Kardec e Nascif, 2009, p. 244).

Para que sejam feitas as medições necessárias, existem os sensores de vibrações que são “comumente chamados de instrumentos sísmicos e se caracterizam por serem um sistema massa-mola-amortecedor montado sobre o corpo vibratório” (Rao, 2008, p. 348). Assim, os acelerômetros, que são um dos tipos de sensores, são os instrumentos mais indicados para serem utilizados na aviação, pois são pequenos e possuem alta sensibilidade.

Mais especificamente na aeronave SC-105, duas situações são utilizadas esta técnica, porém com dispositivos e finalidades distintas.

Primeiro, após a manutenção e instalação das pás de hélice na cabeça da hélice (*hub*), é necessário o giro dos motores e análise de vibração do conjunto. Este teste é importante para prevenir esforços excessivos no conjunto de pás, que podem ser transmitidas para a caixa de redução e para dentro do eixo do motor, podendo gerar danos nos rolamentos e panes severas ao motor.

Neste caso, são utilizados equipamentos analisadores de vibração, que realizam leituras e apontam as correções necessárias para atingir os parâmetros previstos.

Neste caso, são utilizados equipamentos analisadores de vibração, que realizam leituras e apontam as correções necessárias para atingir os parâmetros previstos.

Outra situação que é utilizada a técnica de vibração, é na medição de fadiga estrutural da aeronave. O sistema, denominado *Onboard Fatigue Monitoring System* (OFMS), é bastante complexo e capta informações de várias interfaces da aeronave durante o voo.

**Quadro 2** – Quadro resumo de interfaces com o sistema OFMS

Pressurization Control System	Normal Extension and Retraction
Relay Panels	Braking
Cargo Air Drop System	Nosewheel Steering
Flaps - Mechanical and Electrical Control	Landing Gear Position Indication
Fuel Quantity Indicating System - Capacitance	Instruments and Panels Lighting
Multifunction Display System (MFDS)	Angle Of Attack (AOA) System
Air Data System (ADS)	Cargo Doors Electrical System
Attitude and Heading Reference System (AHRS)	Electronic Engine Control System
Flight Management System (FMS)	

**Fonte:** CPT 31 - Indicating/Recording Systems – Description (2024)

O sistema recebe dados em formato analógico, potenciométrico, digital e discreto destas interfaces. Todos esses dados são registrados e quando o sistema de gravação atinge 80% de capacidade, é indicado no painel da aeronave para que seja feito o *download* das informações. Especificamente, as acelerações são adquiridas por meio do sistema AHRS, que transmite informações relativos aos eixos X, Y e Z da aeronave.

Os dados extraídos da aeronaves são enviados ao Parque Central do projeto. De posse destes dados, pode-se analisar qual a vida útil da estrutura do avião, dependendo das condições de voo e quantidade de horas voadas.

### 3.2 TEMPERATURA

O controle de temperatura de motores à reação é um ponto sensível para a manutenção. São vários os fatores que afetam as condições térmicas dentro da câmara de combustão e “acompanhamento da sua variação permitem constatar alteração na condição do equipamento, dos componentes e do próprio processo (Kardec e Nascif, 2009, p. 268)”. Para que as informações cheguem aos pilotos e ao pessoal de apoio da manutenção, as informações são transmitidas a partir de medidores denominados, sendo os termopares elétricos os mais comumente utilizados.

Quando dois metais diferentes são soldados e as junções são mantidas em temperaturas diferentes, aparece uma força eletromotriz e consequente circulação de corrente. O efeito é conhecido como Efeito Seebeck ou efeito termoelétrico e o par de junções é denominado par termoelétrico (Nepomuceno, 2018, p. 173).

Neste contexto, a aeronave SC-105 possui um sistema de monitoramento denominado Engine Condition Trend Monitoring (ECTMT), que realiza as gravações de parâmetros dos motores durante as operações e, depois de serem baixados, podem ser analisados e criados históricos de utilização.

### 3.3 DETECÇÃO DE DEFEITOS EM MATERIAIS METÁLICOS

A empresa SGS Group, uma das maiores do mundo no ramo de inspeções, verificações e testes define ensaios não destrutivos como sendo “ensaios praticados a um material ou equipamento, que não altere de forma permanente suas propriedades físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais (SGS, 2018)”.

Complementa ainda afirmando que são “utilizados para detectar e avaliar discontinuidades nos materiais. Também para controle da qualidade de materiais e produtos, contribuindo para reduzir os custos e aumentar a confiabilidade dos processos associados (SGS, 2018)”.

A empresa EMBRAEND Ensaios Não Destrutivos, certificada pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e pelo Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEM), traz em seu portfólio vários tipos de ensaios, dentre eles define líquido penetrante como sendo o “ensaio é utilizado para detectar discontinuidades abertas à superfície. Aplica-se a qualquer tipo de material não poroso (EMBRAEND, 2024)”.

Além deste, Kardec e Nascif definem o ensaio de partícula magnética.

O método de detecção de trincas por partículas magnéticas baseia-se na revelação de campo magnético em torno de trincas superficiais ou defeitos próximos à superfície do material magnético onde o fluxo é induzido. As partículas magnéticas são espalhadas sobre a superfície testada e um campo magnético é aplicado. As partículas tendem a se concentrar em torno das áreas de discontinuidades, tornando o método bastante sensível e capaz de detectar trincas muito pequenas (Kardec e Nascif, 2009, p. 286).

Cabe ressaltar ainda a importância do ensaio por correntes parasitas.

O ensaio por Correntes Parasitas (Eddy Current) é utilizado na detecção de descontinuidades superficiais e subsuperficiais. Consiste na indução de pequenas correntes elétricas em um material condutor de eletricidade, observando-se as mudanças nos efeitos causados pelas correntes sobre os campos magnéticos. (EMBRAEND, 2024)

Na aeronave SC-105, estes tipos de ensaios são utilizados nos cubos de rodas e parafusos de fixação deles. Além disto, podem ser utilizados em inspeções especiais em cumprimento de Boletins de Serviço, como foi o caso do suporte do estabilizador horizontal, o qual discutiremos com maiores detalhes nos capítulos seguintes.

### 3.4 ANÁLISE DO LUBRIFICANTE

A análise de óleo lubrificante se caracteriza como um tipo de manutenção preditiva, pois tem o objetivo é “antecipar e encontrar a raiz de problemas em máquinas e equipamentos industriais antes mesmo de eles se tornarem problemas em potencial. Ao agir antes que o problema de fato aconteça, as chances de prevenção são muito maiores” (ServLub, 2024).

Kardek e Nascif (2009) apontam dois tipos de análise: a físico-química e a ferrografia. A primeira consiste “na retirada de amostras, a intervalos regulares, de modo que o acompanhamento das características do lubrificante possa ser feito ao longo do tempo”. (Kardek e Nascif, 2009, p. 292).

A segundo, objeto de estudo neste trabalho, tem a seguinte definição.

A ferrografia consiste na determinação da severidade, modos e tipos de desgaste em máquinas por meio de identificação da morfologia, acabamento superficial, coloração, natureza e tamanho das partículas encontradas nas amostras de óleos ou graxas lubrificantes de qualquer viscosidade, consistência e opacidade (Kardek e Nascif, 2009, p. 294).

A análise é feita em laboratório onde “são preparados os corpos de prova, denominados ferrogramas, que contêm todas as partículas que estão em suspensão na amostra” (Kardek e Nascif, 2009, p. 295).

Outro tipo, de interesse neste trabalho, é a espectrografia de emissão, que se resume na “identificação de contaminantes inorgânicos, assim como dos elementos organometálicos dos aditivos do óleo” (Nepomuceno, 2018, p. 360).

É eficaz para determinar níveis de metais de desgaste [...]. Um súbito aumento da concentração de qualquer elemento metálico, tal como cobre, chumbo ou ferro, que estão nas partes lubrificadas do equipamento, sugere um aumento da taxa de desgaste possivelmente condições anormais de operação (Nepomuceno, 2018, p. 361).

Complementa ainda enfatizando a finalidade deste teste.

Utilizando a literatura fornecida pelos fabricantes dos equipamentos e sua própria experiência, o analista pode frequentemente detectar a evidência de uma falha incipiente e alertar o cliente antes de que ocorra um sério problema mecânico. Tendências em concentrações de metais, observadas em várias amostragens sucessivas do mesmo equipamento, são particularmente úteis para diagnosticar condições possivelmente adversas ou problemas operacionais (Nepomuceno, 2018, p. 361).

Na aeronave SC-105, tanto a ferrografia como a espectrografia de emissão tem utilidade no acompanhamento das análises de óleo lubrificante dos motores.

Assim, podemos dizer que o OE1, que seria identificar as técnicas de manutenção preditiva que podem ser aplicadas na aeronave SC-105, foi atingido ao se confirmar que as técnicas de Vibração, Temperatura, Detecção de Defeitos em Materiais Metálicos e Análise do Lubrificante são aplicadas na manutenção da aeronave SC-105.

Após apresentadas as definições e especificidades de cada tipo de manutenção preditiva, além de apontar qual sistema ou item da aeronave SC-105 que é contemplada por estas manutenções, convém apresentar as análises realizadas com os históricos de manutenção e a disponibilidade das aeronaves retirada do SILOMS, para se chegar aos OE2 e OE3.

## **4 APRESENTAÇÃO DE DADOS E ANÁLISE DE RESULTADOS**

Após apresentação do arcabouço teórico que alicerçou as análises, nas quais foram apresentadas as quatro técnicas de manutenções preditivas com as respectivas utilizações na aeronave SC-105, atingindo assim o OE1, passou-se para a busca do OE2, que é descrever como as técnicas de manutenção preditiva têm a capacidade de influenciar os índices de disponibilidade da aeronave SC-105.

Para isto, foram utilizados dados e informações extraídas do SILOMS, bem como a utilização dos manuais da aeronave, para auxiliar na descrição do funcionamento de alguns sistemas, além de publicações técnicas do fabricante para embasar as análises a seguir.

### **4.1 DA VIBRAÇÃO**

Na aeronave SC-105, em duas situações são utilizadas a técnica de vibração. Uma é a medição de vibração do conjunto de hélice e a outra é a medição de fadiga estrutural da aeronave, conforme citadas no capítulo anterior.

#### 4.1.1 Sobre a Hélice

No primeiro caso, o equipamento utilizado é o Model 2020 Analyzer, com o kit suporte composto também por Sensores de Vibração 991v, Fotocélulas e cabos para ligar ao aparelho. Os sensores são conectados em pontos pré definidos dos motores, os quais são acionados e ajustados na rotação de cruzeiro (NP), CRUISE 1, que é de 80% e CRUISE 2, 90%, com a potência de torque necessária para se manter as rotações de NP selecionados.

As leituras são realizadas e os parâmetros analisados, sendo índice máximo de vibração tolerado de 0.2 IPS (*inch per second*), porém a aeronave terá maior conforto para tripulação e menores desgaste da célula e seus componentes com índices abaixo de 0.1 IPS, conforme consta na nota de aplicação do equipamento P2020.

No período de 2018 a 2023, foram realizados cheques deste tipo nas aeronaves SC-105, pelo motivos de trocas de pás de hélice, trocas da cabeça da hélice ou quando a tripulação reportou excesso de vibração. Nos dois primeiros casos, é mandatório a realização do cheque de vibração do conjunto.

No último caso, este tipo de técnica preditiva apresenta uma das característica mais importantes, que é “agir na causa raiz do problema” (LEAL et al., 2022, p. 17). Como a tripulação tem o conhecimento que a aeronave só é liberada de uma inspeção com todos os parâmetros de vibração dentro da faixa preconizada pelo fabricante, quando alguma vibração anormal é sentida, prontamente é reportado para o pessoal de manutenção.

Assim, a aeronave é indisponibilizada para o voo e levada para refazer o cheque de hélice, sendo a principal causa deste desbalanceamento, a entrada do óleo da caixa de redução, para dentro do punho da hélice, por conta de uma gaxeta da pá. Isto faz com que óleo se acumule dentro da pá e gere maior peso nela, causando desbalanceamento quando do motor acionado.

Com o aumento destes casos, foi verificada a necessidade de melhorias nesta gaxeta e solução encontrada pelo fabricante foi a troca de todo o lote delas. Após esta ação, percebeu-se que os conjuntos de hélices, os quais foram utilizadas as gaxetas do lote novo, não apresentaram mais esta pane.

Assim, fica evidente a importância deste tipo de técnica preditiva, a qual apontou um potencial problema para o conjunto de hélice e motor da aeronave, fazendo que ações fossem tomadas para mitigar a situação.

#### 4.1.2 Sobre a Estrutura da Aeronave

No outro caso da utilização da técnica de vibração, é na medição de fadiga estrutural da aeronave. Conforme passado no capítulo anterior, o *Onboard Fatigue Monitoring System* recebe informações de várias interfaces da aeronave em todas as fases dos voos.

Os dados obtidos são gravados e enviados ao Parque Central do projeto, que tem a capacidade de analisar a vida útil da estrutura do avião, dependendo das condições de voo e quantidade de horas voadas.

Estes dados são de vital importância para as aeronaves, principalmente as aeronaves SAR. Elas possuem um perfil de voo bastante diferente das aeronaves de carga, pois são empregadas em buscas a baixa altura, suscetíveis a turbulências provocadas por correntes térmicas e orográficas, dependendo do terreno sobrevoado. Outra característica é a quantidade de curvas utilizadas durante os avistamentos dos alvos ou pontos de interesse, que requeiram esclarecimentos quanto ser ou não ser o alvo das buscas.

Também é importante frisar que a aeronave possui uma torreta de *Forward Looking Infra-Red* (FLIR) no nariz da aeronave e um radar de abertura sintética embaixo da fuselagem central e quatro janelas de observação, trazendo diferenças estruturais significativas para a célula do avião.

Assim, nota-se que o tipo de voo e as características da aeronave fazem da operação dos SC-105 no Brasil um grande desafio tanto para o operador quanto para o Parque apoiador.

Neste sentido, o acompanhamento contínuo dos esforços estruturais se faz necessário e é exatamente neste quesito que a monitoramento de fadiga da aeronave enseja a sua importância. Verifica-se num primeiro momento que as aeronaves possuem média de 2000 horas de voo e menos de oito anos de fabricação, porém, a longo prazo, torna-se vital para a operação segura e economicamente viável dos aviões.

#### 4.2 DA TEMPERATURA

Um dos métodos para acompanhar a utilização de motores na aviação é o registro de dados durante a utilização da aeronave. Na aeronave SC-105, este procedimento é realizado pelo *Engine Condition Trend Monitoring*, que realiza as gravações de parâmetros dos motores durante todas as fases de voo e, após análise, são confeccionadas cartas denominadas *Engine Health Monitoring* (EHM) *Fleet Status Report* com os resultados obtidos.

É importante destacar a efetividade deste tipo de manutenção, em um caso ocorrido em 2019, na aeronave FAB 6550. Neste evento foi observada uma queda na linha de referência do *Inter Turbine Temperature* (ITT), provavelmente causada por uma falha no sistema de indicação. Foi recomendado um cheque no sistema do ITT, conforme o Manual de Manutenção 72-01-60, item 6, "*Check Temperature Sensing System*".

O cheque consistia em verificar se os valores de resistência e isolamento estavam dentro dos limites, sendo os valores encontrados 10,45 ohms para resistência e  $0,33 \times 10^6$  ohms para isolamento. Para estes valores o manual previa apenas a limpeza da *busbar* e terminais, o que foi feito. Com este resultado o manual solicitava a execução dos cheques "3" e "7". No cheque "3", onde prevê a remoção dos termopares para medição de resistência e isolamento dos mesmos, 4 dos 9 termopares estavam com os valores de isolamento medindo  $1,2 \times 10^6$  ohms, os quais deveriam estar, segundo o referido manual, com  $2 \times 10^6$  ohms de isolamento. A providência tomada pelos mantenedores, para esta situação, foi a substituição dos termopares que não passaram no teste. No cheque "7" o manual previa a medição do *trim resistor*, valor este que estava dentro do limite.

Após o final do cheque, os valores de resistência e isolamento ficaram dentro dos limites previstos no referido manual de manutenção, sendo assim, a aeronave foi liberada para o voo.

No EHM *Fleet Status Report* seguinte às ações de manutenção realizadas, foi constatado que a linha de referência do ITT retornou ao ponto anterior ao da pane, concluindo que intervenção realizada foi adequada e não necessitando de mais nenhuma ação por parte do operador.

Este caso exemplifica bem a importância do acompanhamento contínuo de parâmetros como forma de manutenção preditiva. Neste caso, uma intervenção rápida, aproximadamente um dia de indisponibilidade, e barata, pois os valores de alguns termopares são significativamente mais baixos que uma inspeção *Hot Section Inspection* (HSI), foram suficientes para resolver a situação.

Convém destacar que houve descontinuidade do programa EHM em 2021 e os motores do SC-105 passaram a cumprir o programa Hard Time para revisões de HSI e Overhaul.

Apesar disto, nota-se que seria de bom termo que o monitoramento do motor não fosse descontinuado, com isso, seria possível realizar o acompanhamento das condições dos motores durante toda a vida de operação da aeronave.

### 4.3 DA DETECÇÃO DE DEFEITOS EM MATERIAIS METÁLICOS

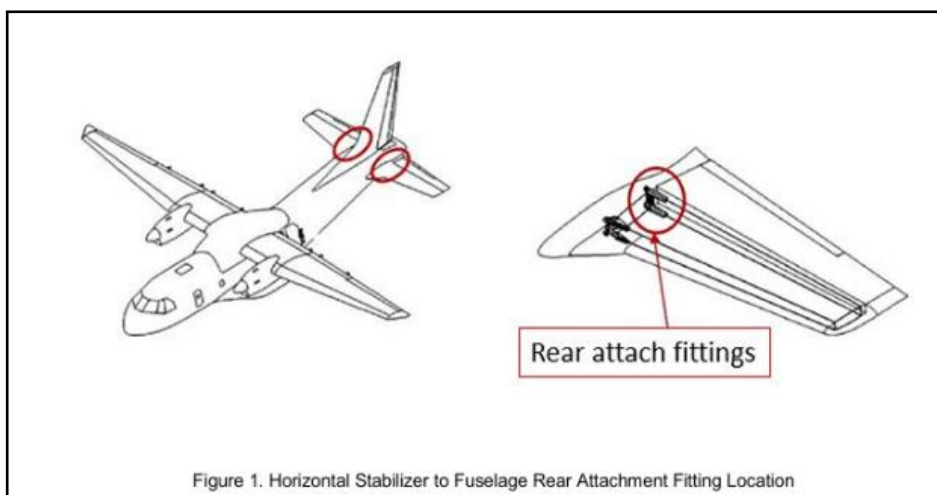
Os cubos de rodas principais da aeronave SC-105 passam por ensaio de *Eddy Current* a cada cinco montagens do conjunto, conforme consta no MRBD da aeronave. A cada troca de pneu, é contabilizado uma montagem do conjunto.

Esta inspeção é importante pois detecta descontinuidades no material, que não podem ser vistas a olho nu. Caso haja uma trinca e, conseqüentemente, a fragilização da peça, pode ocorrer uma falha de material durante o pouso ou decolagem, o que seria catastrófico para o conjunto de trem de pouso e acarretaria um acidente com a aeronave.

Desde 2018, foram feitas mais de 80 trocas de pneus principais na BACG, sendo necessários o recolhimento de 18 cubos para realizarem a inspeção. Neste período, não houve ocorrências envolvendo os SC-105 quanto a panes nos cubos de rodas, demonstrando a eficácia deste ensaio na detecção de falhas. Logo, nenhum o SC-105 não ficou indisponível no período por este motivo.

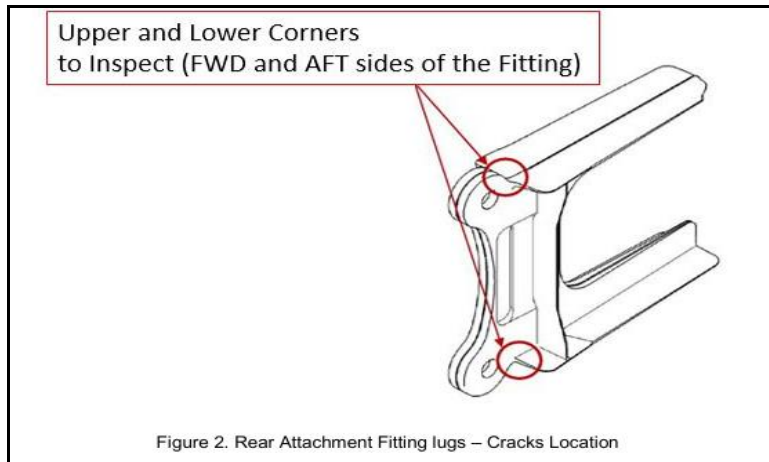
Em outra situação, o Eddy Current foi empregado nos ensaios do suporte do estabilizador horizontal. Segundo o *Alert Operators Transmission (AOT) C295-55-0008-2, Aft Fittings Of Horizontal Stabilizer Inspection*, a inspeção é requerida pois havia a possibilidade de rachaduras aparecerem na peça que faz a conexão do estabilizador horizontal com a aeronave, conforme figuras 1 e 2.

**Figura 1:** Horizontal Stabilizer to Fuselage Rear Attachment Fitting Location



**Fonte:** AOT C295-55-0008-2 (2023)

**Figura 2:** Rear Attachment Fitting Lugs – Cracks Location



**Fonte:** AOT C295-55-0008-2 (2023)

Caso esta peça se rompesse em voo, poderia ocasionar situação de muito perigo para a aeronave e a tripulação. Neste caso, após o Parque tomar conhecimento do AOT, foi emitido um Boletim de Serviço mandatório e urgente, devido à importância do assunto.

Foram realizadas as inspeções nas aeronaves SC-105, sem qualquer discrepância encontrada, sendo que a indisponibilidade do avião ficou apenas por conta do tempo necessário para se realizar o serviço, que era de aproximadamente 24 horas.

#### 4.4 DA ANÁLISE DO LUBRIFICANTE

No início da implantação e da operação da aeronave SC-105, algumas ocorrências podem acontecer. Um destes fatos foi o aparecimento de limalhas em alguns motores, especificamente com horas de voo relativamente baixas, por volta de 1500 FH. O manual trata o assunto como possível de acontecer no início de operação, “*common as a trace, could combine with Fe (Iron) to indicate bearing alloy. usually found in new or overhauled engines*” (72-00-00 - ENGINE - MAINTENANCE PRACTICES), desde que seja feito acompanhamento preditivo e contínuo dos parâmetros do motor.

Além disto, é importante que qualquer anormalidade durante o funcionamento dos motores seja reportada ao pessoal de manutenção para verificação do inter-relacionamento entre a discrepância relatada e o monitoramento contínuo que está sendo realizado.

Neste sentido, é necessário realizar coletas de óleo lubrificante para estudos e verificação da origem das limalhas. Esta análise passa por um processo de espectrometria de raio X, cujo exemplo consta no anexo 1. De posse dos resultados, a engenharia do projeto

consegue determinar a origem das limalhas e as ações necessárias para continuar a operação em segurança, sem que haja deterioração do motor.

Este tipo de amostra é retirado de 50 em 50 horas de operação do motor, após a indicação de aparecimento de debris nos filtros de óleo lubrificante do motor. “NOTE: 4. Unless otherwise specified, review of the laboratory results should be done within 50 FH of debris discovery for the correct disposition of the engine/module.” (Maintenance Manual 72-01-50, 2023)

Após este procedimento, há uma série de estudos do caso, a depender da quantidade, tamanho e intervalos de intercorrências de aparecimento dos debris/limalhas. Estes dados embasam a análise por parte do corpo de engenheiros e, caso haja a necessidade de remoção do motor e envio para reparo, estas análises auxiliam na manutenção, pois determinam qual a área e peças afetadas, reduzindo o tempo e valores do reparo.

No caso do SC-105, FAB 6551, houve aparecimento de limalhas, foram feitas as coletas de óleo e enviados para análise. Junto a isto, o operador confecciona um Relatório Técnico e remete para a engenharia do Parque apoiador, respaldando com informações pertinentes ao ocorrido, como por exemplo as horas totais do motor, providências iniciais da equipe de manutenção quanto ao ocorrido e tipo de voo que a aeronave estava sendo submetido quando do aparecimento da limalha.

Após isto e com o resultado da análise em mãos, a engenharia pode orientar quanto a manutenção na aeronave em voo, com acompanhamento periódico de coleta e cheque dos filtros nas próximas 50 horas de voo.

*Debris analysis monitors wear of oil-wetted engine parts. This procedure improves aircraft serviceability and dispatch reliability and reduces engine repair costs. This is achieved by identifying potential engine problems at the earliest possible stage, thus minimizing the possibility of in-flight shutdowns, away-from-base engine changes and secondary damage. (Maintenance Manual 72-00-00 - Engine - Maintenance Practices, 2023).*

Com isso, este tipo de manutenção preditiva evita a remoção desnecessária de motor, ocasionando períodos longos de indisponibilidade, além dos altos custos que uma ação desta magnitude requer. Para facilitar a compreensão, consta no quadro 3 as principais ideias levantadas no OE2.

**Quadro3:** Resumo dos tópicos do OE2.

<b>Técnica</b>	<b>Item</b>	<b>Cheque/verificação</b>	<b>Resultado</b>
Vibração	Hélice	Balanceamento do conjunto rotativo	Troca do lote de gaxeta
	Estrutura	Gravação de parâmetros de voo	Monitoramento da fadiga da estrutura da aeronave a longo prazo
Temperatura	Motor	Monitoramento contínuo dos parâmetros do motor	Troca de medidores termopares defeituosos
Defeito Material Metálico	Cubo de roda	Descontinuidade no material	Não houve nenhum caso de incidente relacionado a quebra do cubo de roda
	Estrutura do avião	Descontinuidade no material	Encontradas trincas no suporte do estabilizador horizontal
Análise de Lubrificante	Lubrificante do Motor	Detecção de limalhas	Monitoramento dos parâmetros evitou recolhimento do motor

**Fonte:** O autor.

De um modo geral, foram apresentadas como as técnicas de manutenção preditiva têm a capacidade de influenciar os índices de disponibilidade da aeronave SC-105, atingindo assim o OE2.

#### 4.5 DA DISPONIBILIDADE DA FROTA

A partir deste momento, com o intuito de atingir o OE3, foi feita breve análise sobre a disponibilidade do projeto entre os anos de 2018 e 2023, pontuando algumas considerações importantes para compreensão do cenário geral neste período.

Com base nos dados extraídos do SILOMS, segue um quadro resumo da média de disponibilidade da aeronave SC-105 entre os anos de 2018 e 2023.

**Quadro 4:** média de disponibilidade da aeronave SC-105.

ANO	2018	2019	2020	2021	2022	2023
DISP MÉDIA (%)	81,83	92,2	93,36	87,13	82,71	85,87
HORAS VOADAS	538:15	637:15	791:35	976:55	1037:55	1099:10

**Fonte:** SILOMS

É possível verificar que a disponibilidade do SC-105 entre os anos de 2018 e 2023 ficou acima da meta, que é de 60%. Percebe-se também o aumento das horas de voo alocadas para o projeto, resultado do recebimento das aeronaves da fábrica neste período.

Para determinar a disponibilidade da aeronave, existem outros fatores, como as manutenções não programadas, as manutenções programadas, que são as inspeções A, 2A, 3ª e 2Y, realizadas no operador, além das trocas de itens por vencimento de TBO (*Time Between Overhaul*), os quais não fazem parte do escopo deste estudo, porém abrem possibilidades para estudos futuros.

#### 4.6 DA ANÁLISE GERAL

Com os três OE atingidos no transcorrer deste trabalho, os quais se resumem em identificação das técnicas preditivas, descrição destas técnicas e análise da disponibilidade da frota de SC-105, chegou-se ao objetivo geral deste estudo.

Neste sentido, após a finalização da análise dos dados contidos neste capítulo, pode-se afirmar que a manutenção preditiva influenciou positivamente na disponibilidade, pois as paradas das aeronaves para realização de inspeções foram abreviadas quando utilizadas as técnicas preditivas, além da maior segurança de voo durante as operações, somando-se ainda uma melhor consciência situacional durante um acompanhamento de parâmetros, quando houve necessidade de monitoramento contínuo de um evento discrepante.

Visto isto, diante de todos os assuntos abordados anteriormente, segue-se para as considerações finais e conclusão deste estudo.

### 5 CONCLUSÃO

Diante da observação dos crescentes valores financeiros necessários para se manter uma frota de aeronaves modernas, principalmente após a pandemia de COVID-19, quando se verificou um aumento nos valores unitário de peças de reposição, além do aumento do valor cambial do dólar, conjugado com orçamentos governamentais mais restritivos, notou-se que a manutenção logística dos vetores da Força Aérea apresenta um futuro bastante desafiador.

Ciente que o pessoal da aviação civil enfrenta constantemente este problema, buscando-se sempre a economia de meios e de recursos, lançando mão de técnicas modernas de logística e manutenção da frota e ciente que a manutenção preditiva é um recurso usualmente empregado por eles, este autor começou a levantar questionamentos e as

inquietações vieram à tona, culminando no objetivo geral desta pesquisa que era demonstrar qual a influência da manutenção preditiva na disponibilidade da frota de aeronaves SC-105 da Base Aérea de Campo Grande, no período compreendido entre os anos de 2018 e 2023.

Para isto, foram propostos três OE, que se resumem em identificar as técnicas de manutenção preditiva que podem ser aplicadas na aeronave SC-105, descrever como as técnicas de manutenção preditiva têm a capacidade de influenciar os índices de disponibilidade da aeronave SC-105 e analisar a disponibilidade apresentada pela aeronave SC-105 entre os anos de 2018 e 2023.

Para se chegar a estes objetivos, foi empreendida uma pesquisa bibliográfica com os autores renomados da área de manutenção preditiva, como Nepomuceno (2018), Kardec e Nascif (2009), Rao (2024) na área de vibração mecânica, além de publicações técnicas mais atualizadas da aeronave, bem como, a utilização de informações do SILOMS para alicerçar as ideias apresentadas nos capítulos anteriores.

Para que fosse possível realizar uma análise mais pontual do assunto, foi necessário realizar um recorte temporal, limitando a pesquisa ao período dos anos de 2018 a 2023. Com isso, foi possível analisar quatro tipos de técnicas preditivas e discorrer sobre elas.

Inicialmente, foi feita o levantamento das técnicas preditivas existentes mais utilizadas na manutenção e, como o apoio dos manuais de manutenção da aeronave SC-105, foram determinadas quais destas técnicas eram aplicadas na aeronave, culminando no OE1.

Após, no OE2, analisou-se como as técnicas podem influenciar na disponibilidade geral da frota de SC-105. Foram analisados casos ocorridos para exemplificar e apontar os benefícios e os resultados que as técnicas preditivas trazem para a frota. Neste contexto, observou-se que as técnicas de vibração, temperatura, detecção de defeito em material metálico e análise de lubrificantes contribuíram para a manutenção segura das aeronaves, evitando gastos desnecessários de remoção de itens, além de incrementar a continuidade da aeronave em operação.

Em seguida, para o OE3, levantou-se a disponibilidade consolidada da aeronave ano a ano, entre 2018 e 2023. Cabe ressaltar algumas delimitações neste quesito, pois existem outros fatores, como as manutenções não programadas, as manutenções programadas (inspeções A, 2A, 3ª e 2Y), além das trocas de itens por vencimento de TBO (*Time Between Overhaul*), os quais não fazem parte do escopo deste estudo, porém abrem possibilidades para estudos futuros.

De posse dos resultados obtidos nos três OE, atingiu-se o objetivo geral deste trabalho, podendo-se afirmar que a influência foi positiva no contexto geral da frota, mantendo a

disponibilidade acima da meta estabelecida.

Como limitação da pesquisa, foi verificado que os dados extraídos do SILOMS, por possuírem caráter reservado, foram apenas apresentados nas formas de percentagem e números absolutos, sem aprofundamentos das informações.

É conveniente frisar a importância do assunto para a Força Aérea Brasileira, ainda mais em um contexto mundial de incertezas e volatilidades, onde os recursos, para se manter as frotas voando com segurança e operacionalidade, são escassos e dependem do esforço de cada membro da logística para conservar os equipamentos.

Assim, por fim, vale destacar que esta pesquisa foi apenas uma pequena fatia de um espectro de possibilidades na gestão logística de uma frota de aeronaves. Neste sentido, há um leque amplo de assuntos a serem estudados, especialmente ao impacto causado na cadeia de suprimento de material de aviação após a pandemia de COVID-19, ou a restrição da disponibilidade de materiais explosivos, como espoletas e detonadores, utilizados no acionamento de extintores de incêndio para motores de aeronaves, resultado da Guerra da Rússia contra a Ucrânia.

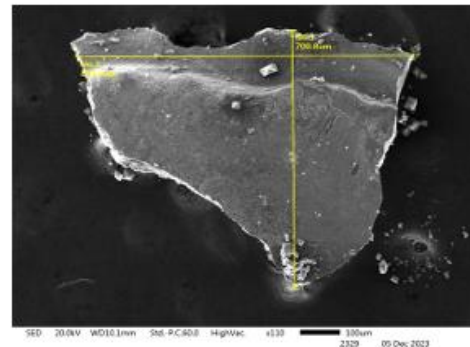
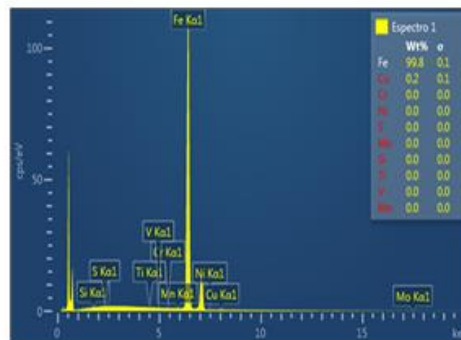
## REFERÊNCIAS

- AOT. **Alert Operators Transmission C295-55-0008**. Rev. 2. Espanha, Airbus Defence e Space, 2023.
- ANÁLISE de óleo lubrificante: o que é, como funciona e vantagens. **ServiLub**. Disponível em <https://www.servilub.com.br/analise-de-oleo-lubrificante>. Acesso em 29 abril 2024.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. **DCA 1-1 Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira**. Brasília, DF, 2020.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. **DCA 2-1 Doutrina de Logística da Aeronáutica**. Brasília, DF, 2022.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. **MCA 66-7 Manual de Manutenção: Doutrina, Processos e Documentação de Manutenção**. Brasília, DF, 2017.
- BUENO, Edson Roberto Ferreira. **Gestão da manutenção de máquinas**. 1. ed. São Paulo: Contentus, 2020. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 23 abr. 2024.
- CPT 31 – **Aircraft Maintenance - Indicating/Recording Systems** – Description. Getafe, Espanha, Airbus Defence e Space, 2024.
- EMBRAEND. **Ensaios Não Destrutivos**. Disponível em: <https://www.embraend.com.br/>. Acesso em: 02 maio 2024
- GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.
- KARDEC, A; NASCIF, J – **Manutenção: função estratégica**. 3. ed. – Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009
- LEAL, A. G. et al. **Guia de manutenção preditiva**. São Paulo: C4IR Brasil, 2022.
- MAINTENANCE MANUAL 72-00-00. **Engine - Maintenance Practices**. Espanha, Airbus Defence e Space, 2024.
- MAINTENANCE MANUAL 72-01-50. **Oil System - Inspection/Check**. Espanha, Airbus Defence e Space, 2024.
- NEPOMUCENO, Lauro Xavier. **Técnicas de Manutenção Preditiva - Vol. 1**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2018
- RAO, S. S. **Vibrações mecânicas**. 4. ed. São Paulo: Pearson, 2008. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 01 maio 2024.
- SGS Equipe Técnica. **"Ensaios Não Destrutivos: O Que É Preciso Saber? Uma Discussão Inicial Sobre os Ensaios Não Destrutivos e Suas Aplicações Diretas."** *SGS Group*. 2018.

## ANEXO A – ESPECTROMETRIA DE RAIO-X

	RUA TOBIAS BARRETO, 150 - NOVA SUISSA CEP 30.421-028 - BELO HORIZONTE - MG TEL: +55 (31) 3371-3322 engeoil@engeoil.com.br engeoil.com.br	LAB NUMBER: 6400 CUSTOMER REF:	SAMPLE DATE: 04-Dec-2023 REPORT DATE: 07/12/2023
CUSTOMER: IAS-Indústria de Aviação e Serviços Ltda  OPERATOR: IAS-Indústria de Aviação e Serviços Ltda  LOCAL: Av. Marconi Issa, 300, Bairro Perobas, São José da Lapa, MG, 33350-000, Brazil		AIRCRAFT TYPE: Não Informado AIRCRAFT REG: IAS-PW 127 AIRCRAFT SN: PW-127 G	MODULE: PW-127G MODULE SN: PCE-AX0423 COLLECTION AREA: Chip Detector/Motor
		TSN (h): 1574.40    TSO (h): 1574.40    CSN: 728.00    CSO: -	

Analysis - SEM equipped with an energy dispersive X-Ray Spectrometer (EDS)



Particle	Size (µm x µm)	Form	Condition	Main Constituent	Material
1	889.4 X 700.8	Chips	Matte	Iron	AM57225