

UMA ANÁLISE EXPLORATÓRIA DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DO MSG-3 NO PLANO DE MANUTENÇÃO DA AERONAVE C-95 DA FAB

Lucas Henrique de Souza*
Antonio de Biaso Junior†
Jardel Figueira da Silva‡

RESUMO

Este trabalho foi impulsionado pela possibilidade de reduzir custos de manutenção e aumentar a disponibilidade da frota de C-95 Bandeirante da Força Aérea Brasileira (FAB). O estudo tem como objetivo analisar o impacto da aplicação da metodologia do MSG-3 (Maintenance Steering Group-3) no aprimoramento do plano de manutenção do item mais crítico da aeronave e verificar uma melhor relação custo benefício de suas tarefas, garantindo a operação com segurança e níveis de confiabilidade adequados. Este intento foi alcançado a partir de uma pesquisa documental baseada em análise de documentos oficiais e técnicos, de forma a consolidar as bases teóricas para a aplicação do MSG-3. Escolheu-se como item o trem de pouso auxiliar devido ao levantamento da quantidade de pedidos em emergência no período de cinco anos e a criticidade desse componente na operação da aeronave. Como ferramenta de análise foi utilizado o software SILOMS para coleta de dados logísticos a fim de alimentar o software Weibull++ da ReliaSoft Corporation, com intuito de produzir relatórios para complementar as interpretações da aplicação do MSG-3 no componente. O trabalho evidenciou diversas contribuições para a melhoria do reporte dos dados logísticos, sugerindo uma padronização de escrita no formulário de defeito e análise do comportamento dos dados de vida do componente, os quais comprovaram incoerência nos intervalos e tipos de tarefas. Dessa forma, proporcionou-se a adoção de tarefas preventivas de lubrificação, serviços e cheques funcionais com vistas a otimizar os gastos com essas atividades e a disponibilidade da aeronave.

Palavras-chave: Manutenção Centrada em Confiabilidade. Metodologia MSG-3. Custos de manutenção. Manutenção de aeronave.

* Graduação em Ciências Aeronáuticas e Administração com ênfase em Administração Pública pela Academia da Força Aérea (AFA). E-mail: lucassouza0507@gmail.com

† Graduado em Ciências Náuticas pela Escola de Formação de Oficiais de Marinha Mercante - EFOMM/RJ; MBA em Logística Empresarial pela Escola Brasileira de Administração Pública - EBAPE/FGV - RJ; mestre em Logística pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC/RJ; professor Mestre Convidado do Centro Universitário do Sul de Minas - UNIS/MG. E-mail: abiaso@hotmail.com

‡ Graduação em Engenharia Aeronáutica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (2003) e mestrado em Ciências e Tecnologias Espaciais pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (2018); atualmente é consultor do Instituto de Logística da Aeronáutica (ILA), atuando principalmente nos seguintes temas: confiabilidade, programa de manutenção e logística. E-mail: jardeljfs@fab.mil.br

1 INTRODUÇÃO

No mundo contemporâneo, o objetivo de qualquer organização é buscar a eficiência, maximizando os lucros e resultados e reduzindo os custos. A logística é uma das maneiras mais efetivas com intuito de vencer todos os desafios para alcançar esses objetivos, sendo sua missão “garantir a disponibilidade do produto certo, na quantidade certa, nas condições certas, no local certo, no tempo certo, para o cliente certo, e a um custo certo” (COYLE, BARDI e LANGLEY, 1992, p. 22).

A Força Aérea Brasileira (FAB), como qualquer outra organização, visa o cumprimento de sua missão, que é manter a soberania do espaço aéreo e integrar o território nacional, com vistas à defesa da pátria. Para alcançar essa missão, faz-se necessária uma integração coesa dos elementos de seu sistema, a fim de cumprir seu propósito funcional. Para a operação eficiente desses elementos, é necessária uma boa gestão desta complexa cadeia de suprimentos, de forma a disponibilizar informações necessárias para uma melhor tomada de decisão.

Dentro dos elementos básicos do apoio logístico da FAB, encontra-se o plano de apoio e manutenção, o qual inclui todo o planejamento relacionado ao estabelecimento de requisitos para o suporte geral de um sistema ao longo do seu ciclo de vida. Diante disso, determinados os requisitos de apoio de um projeto, a frequência de manutenção dada pelo plano elaborado é de grande relevância para a confiabilidade desse referido sistema.

O Sistema de Confiabilidade (SISCONF) é a estrutura sistêmica do Sistema de Material Aeronáutico e Bélico (SISMAB), composto por diversos elos gerenciais, cuja finalidade é aumentar a disponibilidade e reduzir os custos de suporte logístico de sistemas por meio de aplicação de processos baseados na Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) (BRASIL, 2006). Em 1968, o Maintenance Steering Group (MSG), composto pela Federal Aviation Administration (FAA), fabricantes e companhias aéreas, desenvolveu o Handbook MSG-1 (Maintenance Evaluation and Program Development), o qual foi a primeira tentativa de aplicação da MCC (NOWLAN; HEAP, 1978). Nos anos seguintes, melhorias foram incorporadas a esse método, gerando o MSG-2 e, posteriormente, em 1980, o MSG-3, método utilizado até os dias de hoje.

Diante do exposto, este trabalho descreve e analisa a aplicação da metodologia do MSG-3 no *Maintenance Significant Item* (MSI) que causa maior indisponibilidade no projeto C-95, colocando-se o seguinte problema: a aplicação do método MSG-3 pode reduzir os custos do plano de manutenção do componente escolhido e aumentar a disponibilidade do projeto? Com isso, definiram-se hipóteses com a realização do trabalho. Primeiramente, a aplicação da metodologia do MSG-3 no MSI que causa maior indisponibilidade no projeto reduzirá os custos de manutenção da aeronave C-95, conforme apresentado pela Air Transport Association - ATA (2015), no que se refere ao objetivo da aplicação dessa metodologia. Supõe-se também que a aplicação da metodologia nesse MSI pode reduzir o tempo de indisponibilidade da aeronave, conforme analisado por Siqueira (2003), levando a uma possível diminuição das falhas ou do número de tarefas de manutenção realizadas no componente que produz o maior número de pedidos em emergência no software SILOMS.

Tal abordagem foi impulsionada pela possibilidade de redução de custos de manutenção e aumento da disponibilidade da frota de C-95, apresentando os benefícios da utilização do MSG-3 no plano de manutenção da aeronave para a FAB com base nos princípios da MCC e metodologia do MSG-3. A metodologia foi concebida na década de 80, enquanto a aeronave C-95 teve seu projeto desenvolvido na década de 70, sendo que o programa de manutenção atualizado da aeronave ainda não utiliza essa metodologia. Com o atual panorama econômico do país, diversos cortes no orçamento do Ministério da Defesa são realizados, o que impacta no orçamento disponibilizado para as manutenções das aeronaves. Aprimorar os serviços de manutenção, tornando-os custo-efetivos pode contribuir sobremaneira na otimização da disponibilidade de um projeto.

É importante ressaltar que, com esse trabalho, será evidenciada a magnitude da aplicação da MCC nos planos de manutenção das aeronaves da FAB, visando o aprimoramento do projeto; dessa forma, alcançando maiores índices de disponibilidade com menores custos, contribuindo ainda para futuras pesquisas na área da MCC.

O estudo tem como objetivo analisar o impacto da aplicação da metodologia do MSG-3 no programa de manutenção do MSI selecionado e na disponibilidade do projeto. Com o intuito de alcançar esse objetivo, delimitou-se os seguintes objetivos específicos:

a) Verificar qual tipo de metodologia é utilizada no programa de manutenção do C-95.

b) Identificar os benefícios de utilizar o método do MSG-3 no programa de manutenção do C-95, especificamente no item com maior grau de pedidos em emergência do projeto.

c) Examinar uma possível redução da indisponibilidade da aeronave com a aplicação do MSG-3 no item com maior número de pedidos de emergência do projeto.

Este intento foi alcançado a partir de uma pesquisa documental, baseada em análise de documentos oficiais e técnicos, de forma a consolidar as bases teóricas para análise da aplicação do MSG-3. Como ferramenta de análise, foi utilizado o software SILOMS para coleta de dados logísticos, a fim de alimentar o software Weibull++ da ReliaSoft Corporation, com intuito de produzir relatórios para complementar as interpretações da aplicação do MSG-3.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 LOGÍSTICA

Ao longo dos anos, o conceito de logística tem crescido dentro das organizações como fator essencial para o sucesso. Segundo Ballou (1993, p.24):

A logística empresarial trata de todas as atividades de movimentação e armazenagem, que possibilitam facilitar o fluxo de produtos desde o ponto de aquisição da matéria-prima até o ponto de consumo final, assim como dos fluxos de informação que colocam os produtos em movimento, com o propósito de providenciar níveis de serviços adequados aos clientes a um custo razoável.

No setor da defesa, o escopo da logística tem sido enfatizado através do apoio logístico integrado, definido como uma abordagem unificada e interativa nas atividades gerenciais e técnicas, as quais são necessárias para integrar considerações de apoio dentro do plano de um sistema ou equipamento, adquirir e desenvolver requisitos de apoio aos objetivos e providenciar o apoio para a fase operacional ao menor custo possível. A integração dos elementos de um sistema é refletida pela organização de sua cadeia de processos, produzindo resultados satisfatórios (BLANCHARD, 2004).

Atualmente, as organizações são tratadas e interpretadas a nível de um sistema que, segundo Blanchard (2004), demanda requisitos a fim de manter a sustentabilidade, sendo um deles a manutenção e apoio ao sistema ao longo de seu período de utilização.

A infraestrutura de apoio e manutenção é o segmento que representa a maior parte dos custos totais do ciclo de vida de um sistema. A avaliação do projeto passa, então, por diversos métodos de análises, previsões e modelos para conduzir a testes e demonstrações, produzindo, assim, dados que assessoram os chefes a tomarem decisões gerenciais. Entra em pauta, dessa forma, a confiabilidade do projeto que é espelhada pela frequência de manutenções exigidas no sistema.

2.2 CONFIABILIDADE

A confiabilidade é a probabilidade de que um item executará uma função especificada, sem falhar, por um tempo determinado e dentro de condições de operação predeterminadas. De forma geral, a confiabilidade do sistema aumenta na medida que a frequência de manutenções requeridas diminui, por outro lado, quanto maior a frequência de manutenções, menos confiável será o sistema (BLANCHARD, 2004).

No final da década de 50, o grande aumento da frota de aeronaves dos EUA possibilitou uma reunião de dados a fim de pesquisar formas de aprimorar as técnicas existentes, devido aos custos de manutenções terem se tornado muito elevados (AHMADI, SÖDERHOLM e KUMAR; 2007). A *Federal Aviation Administration* (FAA) criou um grupo de trabalho para investigar as potencialidades da manutenção preventiva e, no relatório final do mesmo, informou que muita ênfase era dada ao controle de intervalos de revisão geral para manter a confiabilidade. Após estudos, verificou-se que confiabilidade e tempo não estão diretamente ligados, devendo, dessa forma, serem trabalhados de formas distintas (RIBEIRO, 2009).

Com a contradição ao conceito tradicional, no qual intervalos entre revisões gerais de componentes reparáveis e estrutura era um meio de controlar a taxa de falha, duas descobertas influenciaram na eficácia das manutenções. A primeira se refere a pouca efetividade de revisões gerais em componentes reparáveis, a menos que eles possuam um modo de falha predominante. A segunda é que existem componentes reparáveis, os quais não apresentam uma forma eficaz de manutenção programada (BARROS FILHO, 2003 apud MOORE E RATH, 1998).

Com todo aprendizado desenvolvido, criou-se uma sistemática lógica e genérica no estabelecimento dos planos de manutenção preventiva das aeronaves. Através de um diagrama de decisão, foram refinadas as técnicas desenvolvidas em um manual pelo MSG

da Boeing, para a aeronave Boeing-747, sendo denominado MSG-1. Nos anos seguintes, foram incorporadas melhorias nesse diagrama de decisão; então, Nowlan e Heap (1978) publicaram o MSG-2, o qual objetivava técnicas delineadas para assegurar o máximo de segurança e confiabilidade dos equipamentos com um menor custo para qualquer tipo de aeronave. Por mais que o MSG-1 e MSG-2 tenham sido revolucionários, alguns conceitos ainda eram incompletos, por exemplo, a decisão lógica tinha o ponto de início na avaliação das tarefas propostas, ao invés de avaliar a consequência das falhas, a fim de gerar as tarefas. Problemas de determinar intervalos das inspeções, papel das falhas ocultas à tripulação e da manutenção da estrutura da aeronave foram outros óbices que ainda precisavam de melhorias. Assim, conduziu-se a procedimentos analíticos mais claros e objetivos, formando-se então o MSG-3 (ATA, 2015).

2.3 MSG-3

A MCC é utilizada para desenvolver e otimizar as manutenções preventivas e requisitos de inspeção de um item para alcançar sua confiabilidade inerente com um programa de manutenção efetivo. Em relação às metodologias mais antigas, como MSG-1 e 2, a MCC tem como princípios a análise em nível de sistema ao invés de componente; um *top-down approach*^{*}, ao contrário do *bottom-up*[†]; foco na preservação da função em oposição à prevenção da falha; orientação por tarefa em oposição à orientação por processo de manutenção e um direcionamento das consequências, em que a consequência das falhas é mais importante que as características técnicas (AHMADI, SÖDERHOLM, KUMAR; 2007).

Uma década após a publicação do MSG-2, ficou clara a necessidade de melhora na metodologia utilizada nos quesitos do rigor da lógica de decisão, a clara distinção entre economia e segurança e a adequação do tratamento das falhas funcionais ocultas (ATA, 2015). Com o alto preço do combustível, aumentou-se o custo de operação das aeronaves, permanecendo a pressão para diminuição dos custos de manutenção. Com a evolução da tecnologia das aeronaves, novos regulamentos, novas regras de tolerância a danos nas estruturas das aeronaves proporcionaram uma grande influência para o desenvolvimento

* É uma abordagem que avalia a consequência da falha de um componente para o sistema como um todo, verificando então os resultados do topo para base.

† É uma abordagem que avalia as consequências da falha no componente, após avaliar as falhas dos próximos níveis, verificando então os resultados da base para o topo.

de novos programas de manutenção e premissas nos conceitos abordados pela metodologia da MCC de Nowlan e Heap, da década de 70. Todos esses pontos geraram a publicação de uma nova e aperfeiçoada metodologia pela ATA, denominada MSG-3 (ATA, 2015).

Com bases nos trabalhos de Nowlan e Heap, o MSG-3 engloba um *top-down approach*, a nível sistêmico, e uma abordagem do gerenciamento das consequências através da análise e classificação dos efeitos de falha e categorias de suas consequências (AHMADI, SÖDERHOLM, KUMAR; 2007). As diferenças das metodologias anteriores são resumidas no quadro 1.

Quadro 1: Evolução das metodologias.

Metodologia	Características
MSG-1 (1968)	<ul style="list-style-type: none"> ● Abordagem <i>Bottom-up</i> ● Nível de componente ● Orientação por processos de manutenção ● Relacionado a um tipo de aeronave (Boeing-747) ● Usa-se manutenções <i>On-Condition</i> e <i>Condition-Based</i>
MSG-2 (1970)	<ul style="list-style-type: none"> ● Mesmas bases teóricas do MSG-1 ● Documento genérico, sem relação com um tipo específico de aeronave
MSG-3 (1980)	<ul style="list-style-type: none"> ● Documento genérico ● Abordagem <i>Top-down</i> ● Nível sistêmico ● Orientação por tarefa de manutenção ● Ênfase em programas de inspeção estrutural ● Diagrama de decisão lógica mais rigoroso ● Distinção entre segurança e economia ● Tratamento de falha funcionais ocultas

Fonte: Adaptado de AHMADI, SÖDERHOLM, KUMAR (2007, p. 6).

A metodologia tem como objetivo desenvolver as tarefas de manutenção programada e intervalos de execução, de forma a serem aceitos pelas autoridades reguladoras, levando em consideração, principalmente, os quesitos de segurança e economicidade. Esse processo consiste em um diagrama lógico de perguntas e respostas que provê um procedimento mais racional para a definição da tarefa, possuindo uma progressão linear e direta através da lógica de decisão (ATA, 2015). Através da análise criteriosa dos sistemas da aeronave como um todo, a metodologia vai se aprofundando

nas funcionalidades e consequência das falhas dos componentes, de forma a selecionar os candidatos para aplicação da metodologia. Com essa abordagem, é possível focar nos componentes que realmente afetam os quesitos citados, de forma a otimizar o programa de manutenção da aeronave, diminuindo seu tempo de indisponibilidade e custos por tarefas de manutenção desnecessárias, não efetivas ou intervalos incoerentes.

Segundo a pesquisa oficial da FAA (2003), sobre sistema de vigilância e análise contínua, o programa de manutenção de um sistema deve identificar os elementos chaves que afetam a sua eficácia, coletar dados de seu desempenho e usar indicadores para medir a efetividade desses elementos na eficácia do programa. Diante do exposto, os operadores devem executar as funções de vigilância, controle, análise, desenvolver ações corretivas, monitorar as ações e realimentar o sistema com dados colhidos.

Com intuito de aplicar os conceitos da MCC, através da metodologia MSG-3, previamente os componentes e sistemas significativos da aeronave devem ser identificados. O processo de escolha do MSI é um passo de grande relevância para resultar um programa de manutenção eficaz. Serão abordados, no próximo tópico, os critérios de seleção do MSI e as premissas adotadas para a escolha do item deste trabalho, utilizando o processo de *top-down approach*, conforme estabelecido pela ATA MSG-3 (2015).

2.4 SELEÇÃO E DESCRIÇÃO DO MSI

A metodologia MSG-3 pode ser definida por três fases principais: identificação do MSI, designação de tarefas do plano de manutenção efetivas e aplicáveis, a implementação e atualização das tarefas aplicadas; sendo a primeira um ponto chave do processo (TANG et al., 2017). A identificação é a fase de exame a fim de reduzir a quantidade de itens para aplicação da metodologia da MCC.

De acordo com a ATA MSG-3 (2015), a seleção do MSI passa por 6 passos definidos com intuito de minimizar nesse processo a subjetividade, tornando-o lógico e analítico. O primeiro é a divisão da aeronave em grandes áreas funcionais, seguindo os sistemas e subsistemas definidos pela ATA, até que todos itens substituíveis tenham sido identificados. Em seguida, utilizando o *top-down approach*, é estabelecida a lista de itens os quais as questões de seleção de MSI serão aplicadas. Com a lista definida, o próximo passo é aplicar as seguintes questões:

- a) A falha pode ser indetectável ou não provável de ser detectada pela tripulação durante as atividades normais?
- b) A falha pode afetar a segurança (no solo ou em voo), incluindo sistemas e equipamentos de segurança/ emergência?
- c) A falha pode ter impacto operacional significativo?
- d) A falha pode ter impacto econômico significativo?

Para os itens que obtiverem pelo menos uma resposta sim, a análise pelo MSG-3 é requerida e o mais alto nível tratável deve ser confirmado, sendo definido pela ATA como o nível alto o suficiente que evite análises desnecessárias, porém baixo o suficiente a fim de assegurar que a análise de todas as funções, falhas funcionais e causas de falha sejam cobertas.

Por fim, aplicar-se-á a análise do MSG-3 para validação e garantia de que o correto nível de tratamento foi selecionado. Para isso, é necessário conhecer o equipamento a ser analisado. Será abordado sobre a aeronave Embraer 110 (C-95 Bandeirante), com intuito de descrever o seu histórico.

2.5 AERONAVE EMBRAER 110 (C-95 BANDEIRANTE)

Em 1964, o Ministério da Aeronáutica solicitou ao Centro Técnico Aeroespacial (CTA) um estudo a fim de verificar a viabilidade de criar uma linha de transporte de médio porte no Brasil. Iniciou-se, então, o desenvolvimento do projeto IPD-6504, o qual futuramente originaria o Bandeirante (CIENCIA E TECNOLOGIA EM FOCO, 2015).

A aeronave começou a operar na FAB em 1973 e permanece em operação até os dias atuais, cumprindo missões de transporte aéreo logístico, transporte aéreo terrestre e treinamento para formação dos novos pilotos de transporte formados pela Academia da Força Aérea. A FAB possui a dotação de 44 aeronaves com um esforço médio anual de 17760 horas, sendo o segundo projeto com maior número de horas voadas. O avião recebeu um *midlife-upgrade* em 2008, a fim de aumentar seu ciclo de vida, sendo estimada a operação até 2029.

No âmbito do Comando da Aeronáutica (COMAER), o projeto apresentou a disponibilidade anual nos últimos 5 anos, conforme tabela 1.

Tabela 14 - Disponibilidade Anual

	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Disponibilidade	59,65%	49,63%	53,03%	56,25%	52,95%	52,24%

Fonte: Software SILOMS.

O Comando Geral de Apoio (COMGAP), que é o órgão responsável pelo gerenciamento logístico no COMAER, estabelece indicadores de desempenho como metas a serem alcançadas pelos operadores. Como disponibilidade, definiu-se a meta de 60% até o início de 2018, que foi reduzida para 50%, conforme o software de indicadores logísticos da FAB. Diante do quadro apresentado, constata-se a necessidade de melhoria no desempenho mencionado com o uso da MCC. Apresenta-se, a seguir, a descrição e características técnicas do item escolhido para análise.

2.6 ITEM ESCOLHIDO

Com o intuito de seleção do item, analisou-se o histórico de cinco anos de operação da aeronave. O primeiro indicador utilizado foi o relatório de pedidos de emergências retirado do software SILOMS do período referido. O pedido de emergência ocorre quando há a falha de um item que necessita de substituição e não existe uma unidade disponível no estoque.

Encontrou-se 18977 pedidos de emergência, dos quais foram agrupados por *Part Number* (PN), definindo-se a quantidade de pedidos por cada PN. O PN 16835, conjunto de freio, apresentou maior número de requisições durante o período avaliado, com 528 pedidos. Na sequência, o PN 23081-012-1, arranque-gerador, com 451 pedidos. O terceiro foi o PN 110P2-410-20, trem de pouso auxiliar, o qual possui mais três PN's alternados que se referem ao mesmo item, com 278 pedidos. O quarto item com número mais expressivo foi o PN MB0808F-00, *colored multi function display* (CMFD), com 248 pedidos. A distribuição anual dos pedidos de emergências encontra-se na tabela 2.

Tabela 15 - Número de pedidos em emergências por ano

PN	2013	2014	2015	2016	2017	2018
110P2-410-20/ 410-21/ 410-23/ 410-24	36	81	70	33	66	17
16835	66	185	113	54	69	41
23081-012-1	20	136	104	63	122	6
MB0808F-00	10	53	67	30	72	16

Fonte: Software SILOMS.

Como forma de mensurar qual item tem maior relevância para este trabalho, avaliou-se 2 fatores, sendo eles o fator segurança e o fator econômico. Dentro do fator segurança, foi observado se o item possui algum sistema de redundância ou proteção, se sua falha pode causar danos severos à aeronave ou tripulação e se o item é *No Go*. Considerando o fator econômico, analisou-se o custo médio da revisão geral e o tempo de indisponibilidade gerado, considerando o número de mecânicos para disponibilizar o mesmo. Obteve-se os dados representados no quadro 2.

Quadro 2 - Dados de comparação entre os itens

PN	Redundância	Possibilidade de danos causados	Item <i>No Go</i>	Custo médio da revisão geral	Tempo de indisponibilidade
110P2-410-20/ 410-21/ 410-23/ 410-24	Não	Fatalidades Múltiplas	Sim	R\$148.587,44	04h:00/ 2 mecânicos
16835	Sim	Grandes danos	Sim	R\$5.660,00	01h:30/ 1 mecânicos
23081-012-1	Sim	Sem danos	Sim	R\$4.799,00	02h:00/ 1 mecânicos
MB0808F-00	Sim	Sem danos	Não	R\$26.300,00	01h:00/ 1 mecânicos

Fonte: Dados dos contratos logísticos da FAB.

Percebe-se que o trem de pouso auxiliar, nos fatores segurança e econômico, apresenta índices de grande relevância, os quais foram determinantes para a escolha desse item como candidato a ser analisado por este trabalho. Utilizou-se uma hierarquização para análise de 4 níveis, sendo composta por: equipamento, sistema, conjunto e componente. O equipamento, que é a própria aeronave, foi descrito anteriormente. Serão detalhados nos próximos tópicos o sistema hidráulico, o conjunto do trem de pouso e as especificações do componente trem de pouso auxiliar.

2.6.1 Sistema hidráulico

O sistema hidráulico fornece pressão hidráulica constante (3000 psi), para abaixamento e levantamento do trem de pouso, para os comandos dos freios das rodas e direção da roda do nariz e atuação do freio de emergência/estacionamento. A pressão é gerada pelo conjunto de alimentação e geração através de duas bombas hidráulicas. Esse conjunto também engloba os reservatórios hidráulicos de abastecimento. O sistema é composto ainda pelo conjunto de freio das rodas, conjunto direcional da roda do trem de pouso de nariz e conjunto do trem de pouso (EMBRAER, 2008).

O conjunto do trem de pouso do C-95 é composto por um trem de pouso auxiliar (de nariz), dois trens de pouso principais, redutor de pressão, eletroválvulas, atuadores e travas para o trem e um circuito elétrico de indicação e comando. O trem de pouso auxiliar

é articulado lateralmente no interior da parte dianteira da fuselagem e será abordada sua especificidade no tópico posterior (EMBRAER, 2008).

2.6.2 Trem de pouso auxiliar

O trem de pouso auxiliar (trem de pouso de nariz) é composto por uma perna de força articulada na estrutura do avião, uma trava de trem embaixo e uma trava de trem em cima, fixadas na estrutura do avião, e um cilindro atuador de duplo efeito ligado à perna de força e à estrutura do avião. A perna de força é composta por dois elementos, sendo um deles um montante de liga de alumínio e o segundo elemento é o eixo de acoplamento, independente do amortecedor, e se conecta ao montante, sendo interligado ao conjunto atuador de direção através de um setor dentado.

O comando de direção é constituído de dois pistões atuadores em oposição, que estão atrás do montante e de um acumulador de eixo correto. Os movimentos da roda são transmitidos aos pistões por meio de uma cremalheira conectada a eles, acionada pelo setor dentado do tubo giratório. Um sistema mecânico de “*follow-up*” transmite ao distribuidor informações da angulação da roda, interrompendo o seu movimento quando é atingido o ângulo selecionado pelo *steering*. Um dispositivo de eixo correto centraliza a roda sempre que a eletroválvula for desenergizada ou não houver alimentação de pressão do distribuidor.

O cilindro atuador do trem de pouso auxiliar é de duplo efeito e está ligado horizontalmente no montante. É um cilindro no qual, internamente, um pistão desloca-se empurrando a haste para fora, a fim de recolher o trem, e deslocando-se para dentro, a fim de abaixar o mesmo.

A trava embaixo do trem é constituída de um corpo que se fixa um atuador e articula-se uma lingueta. O atuador é ligado a uma biela que engata ou desengata da lingueta através de pressão hidráulica ou de uma mola. O travamento final é garantido pela biela conectada ao atuador.

A trava em cima do trem compõe-se de um corpo no qual se aloja um cilindro atuador e dois pistões (normal e emergência), onde articula-se um gancho. Para o abaixamento, o atuador comanda o desengate hidraulicamente, por outro lado, o engate é feito mecanicamente (EMBRAER, 2008).

Com a apresentação técnica do sistema hidráulico, do conjunto do trem de pouso e do componente trem de pouso auxiliar, a seguir serão expostos o material e o método propostos pelo trabalho na análise de confiabilidade.

3 MATERIAL E MÉTODO

3.1 COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS

A coleta de todos os dados foi obtida através dos relatórios providos do software SILOMS da FAB. Primeiramente, foi necessário o levantamento dos dados de todas as fichas de coleta de dados de defeito dos anos de 2013 a 2018, com intuito de categorizar as falhas funcionais e modos de falha ocorridos no período de análise, quantificando e qualificando os dados. Encontrou-se, inicialmente, 10965 fichas de defeito, das quais, posteriormente, separou-se apenas as fichas relacionadas ao sistema hidráulico e, dentre essas, aquelas ligadas ao trem de pouso do nariz. Com isso, obteve-se 496 fichas que foram tratadas de forma a excluir os dados incoerentes com o *time since new* (TSN) e *time since overhaul* (TSO), bem como descrições incompletas da falha e sem embasamento técnico; restando 221 relatos úteis. Com a interpretação da ordem técnica 1C95A-2-4, identificou-se as falhas funcionais e modos de falha de cada relato codificando-os com letras e números, a fim de facilitar a análise estatística.

Verificou-se que as quatro primeiras falhas funcionais com maior frequência representam 56,6% das indisponibilidades geradas. Definiu-se, então, que a aplicação do MSG-3 seja realizada nas falhas funcionais referidas para obter uma melhor eficiência dos resultados. Para a aplicação da metodologia, é necessário o levantamento dos modos de falha causadores da falha funcional em análise, os quais foram obtidos através das fichas de defeito, encontrando-se os resultados com a descrição na tabela 3.

Tabela 3 - Quantificação dos modos de falha

FALHA FUNCIONAL	MODO DE FALHA	FREQUÊNCIA	%
VIBRAÇÃO NO TREM DE POUSO	Folgas excessivas na biela ou cremalheira	31	48,44%
	Não identificado	30	46,88%
	Abastecimento do amortecedor incorreto	2	3,13%
	Pistões de centralização da roda desregulados	1	1,56%
MAU FUNCIONAMENTO DO MECANISMO DE EIXO CORRETO	Vazamento interno do acumulador	17	56,67%
	Falha interna no dispositivo de centralização	7	23,33%
	Pressão incorreta no acumulador de eixo correto	4	13,33%
	Não identificado	2	6,67%
MOVIMENTO LENTO DA RODA	Cilindro atuador de direção com vazamento interno	17	70,83%
	Vazamento interno no distribuidor de direção	5	20,83%
	Não identificado	1	4,17%
	Vazamento interno na eletroválvula	1	4,17%
AUSÊNCIA DE MOVIMENTO NA RODA	Falha no mecanismo de comando	13	81,25%
	Falha na alimentação elétrica da eletroválvula	2	12,50%
	Não identificado	1	6,25%

Fonte: Software SILOMS.

Para complementar a análise da aplicação do MSG-3, analisou-se os dados de vida do trem de pouso de nariz, considerando os tempos de falha de cada *serial number* (SN). Percebeu-se que, utilizando apenas as fichas de defeito, muitos dados são perdidos, pois essas fichas não são preenchidas para todos os itens que falham por erro dos operadores, prejudicando a análise. Para sanar essa deficiência, foi pesquisado o relatório de recolhimentos de materiais, pois qualquer movimentação sistêmica fica registrada, com o tipo de manutenção realizada, qual a discrepância e os dados para cálculo de ciclos até a falha, os quais são utilizados como o número de pousos. Filtrou-se os dados para os recolhimentos devido a manutenções não programadas e programadas. Com esses dados, agrupou-se por SN e por data da solicitação do procedimento. Com isso, é possível analisar, ao longo do período avaliado, os tempos entre as falhas para aplicação no software Weibull ++.

Para uma análise mais completa, levantou-se os relatórios de utilização de cada SN após sua última falha, com intuito de acrescentar os dados em suspensão. Para evitar um erro na análise do primeiro dado de falha de 2013, o qual só possui o TSN e TSO para estudo, buscou-se a falha imediatamente anterior para contabilizar o número de ciclos. Nos casos que não foram encontradas informações úteis, contabilizou-se o TSO como ciclos até a falha, pois, segundo Moubray (1997), as tarefas preventivas de restauração visam restaurar as capacidades iniciais do item, restaurando sua operação como item

novo. Assim, os resultados obtidos forneceriam os ciclos até esse momento, evitando descartar um dado útil e propiciando uma análise conservadora. Com a verificação de todos esses dados, foram constatados diversos erros de preenchimento dos relatórios, de lançamentos de manutenções e erro de procedimento dos operadores, os quais prejudicam o tempo e qualidade da análise de confiabilidade, sendo que os mesmos serão relatados nas considerações finais. Chegou-se a 157 dados de ciclos para falha e 38 dados em suspensão aplicados no software Weibull ++.

A determinação da distribuição de probabilidade dos dados inseridos no software foi executada pela ferramenta *Distribution Wizard*. O método de estimativa de parâmetro utilizado foi o *Maximum Likelihood Estimation* (MLE), o qual é considerado o método mais robusto utilizado pelo software com intuito de obter o mais provável valor de um parâmetro para uma dada distribuição. A sua utilização para o presente estudo se torna atraente, pois é um método assintoticamente consistente, eficiente e não tendencioso, ou seja, quanto maior o tamanho da amostra, a estimativa converge para o valor mais correto e preciso em média, além de lidar melhor com dados em suspensão. Entretanto, a quantidade da amostra precisa conter pelo menos de trinta a cem dados úteis (RELIASOFT, 2015).

A ferramenta de determinação da distribuição utiliza três parâmetros para quantificar a compatibilidade dos dados a cada curva. Esses parâmetros são o AVGOF (*Average Goodness of Fit*), calculando o quão bom é o ajuste e aderência; AVPLOT (*Average Plot*), sendo a medida normalizada de quão ideal os pontos plotados se ajustam na curva; e o LKV (*Likelihood Value*), que é o valor da função logarítmica de verossimilhança, utilizando os parâmetros calculados. Através desses valores, multiplicamos por um peso determinado pelo software e classifica-se cada distribuição, encontrando-se o *ranking* final para escolha.

Verificou-se que as distribuições exponenciais apresentaram as melhores posições no *ranking*, seguida pela Weibull bi-paramétrica. Devido ao item analisado ser um componente mecânico complexo, optou-se por utilizar a distribuição Weibull bi-paramétrica, pois a mesma pode assumir a forma de outras distribuições dependendo do valor de seu parâmetro, contribuindo para uma análise mais completa de confiabilidade.

Com a aplicação dos dados para a distribuição escolhida, obteve-se o valor de $\beta = 0,9521$ e $\eta = 863,5322$. A interpretação de β , que é o parâmetro de forma, sugere qual o comportamento da taxa de falha, conforme apresentado no quadro 3 e η , que é o parâmetro

de escala e representa a característica de vida. Obteve-se, ainda, utilizando a ferramenta *Quick Calculation Pad*, o valor esperado da distribuição equivalente ao *mean time between failure* (MTBF) que foi igual a 882,8239 pousos.

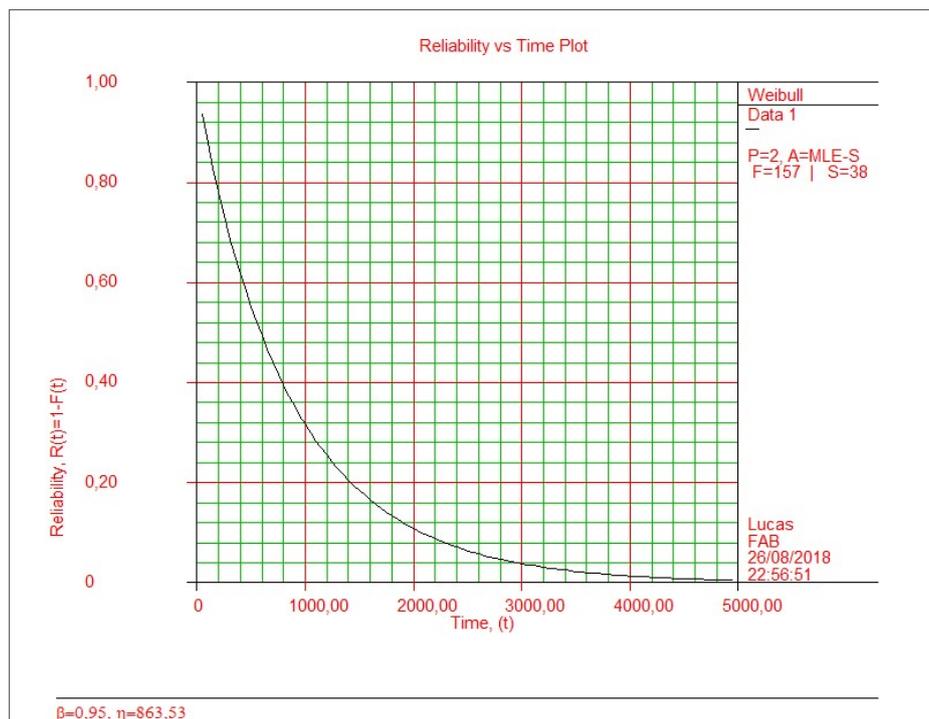
Quadro 3 - Comportamento da taxa de falha

Faixa	Taxa de Falha	Tipo
$0 < \beta < 1$	Decrescente	Prematura
$\beta = 1$	Constante	Aleatória
$1 < \beta < 2$	Crescente côncava	Desgaste leve
$\beta = 2$	Linear	Desgaste leve
$2 < \beta < 3$	Crescente convexa	Desgaste médio
$\beta > 3$	Crescente convexa	Desgaste severo

Fonte: (Adaptado de RELIASOFT; 2015, p. 118-121).

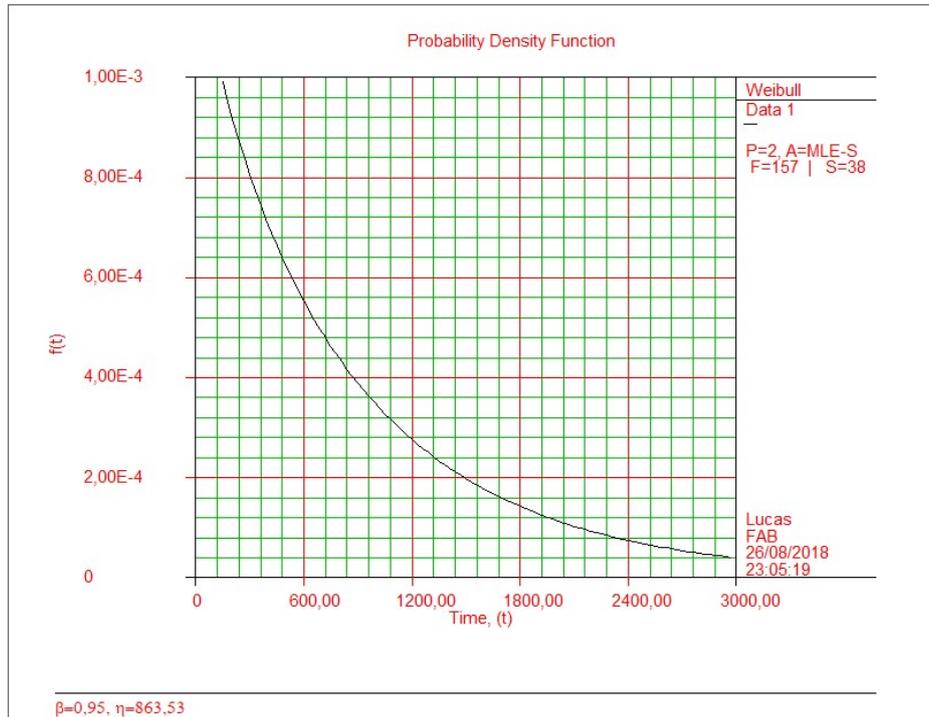
Verificou-se, então, os gráficos da função confiabilidade, densidade probabilidade e taxa de falha, apresentados nos gráficos 1, 2 e 3, respectivamente.

Gráfico 1 - Confiabilidade vs Tempo



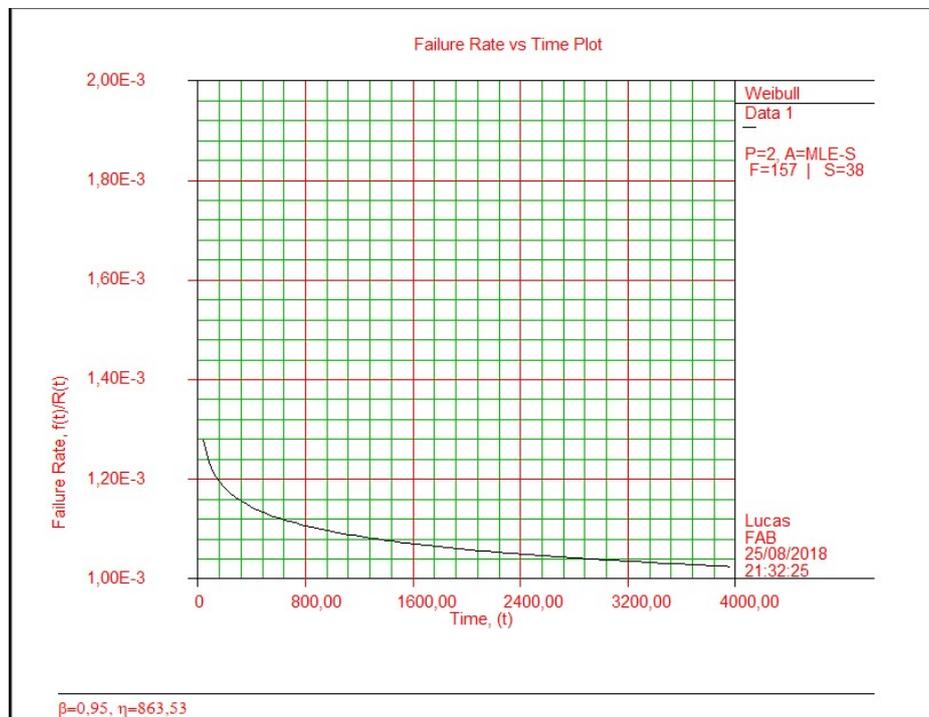
Fonte: Software Weibull ++.

Gráfico 2 - Função densidade probabilidade



Fonte: Software Weibull ++.

Gráfico 3 - Taxa de falha vs Tempo



Fonte: Software Weibull ++.

A fim de complementar e interpretar os dados verificados, será apresentado o programa de manutenção ligado ao componente trem de pouso auxiliar.

3.2 PROGRAMA DE MANUTENÇÃO DO TREM DE POUZO AUXILIAR

A aeronave analisada possui um programa de manutenções dos seus sistemas e componentes baseado em horas de voo e tempo calendário. A EMBRAER emitiu o manual técnico P.M. 110/165 com todas as informações e definições desse programa. Com os anos de operação, os órgãos centrais de gerenciamento logístico realizam análises técnicas desse programa devido à infinidade de variáveis em relação ao tipo de operação, desempenho e disponibilidade dos sistemas e orçamento para apoio logístico, a fim de emitir boletins técnicos que complementam ou alteram esse plano de manutenção para otimizar a operação da aeronave. Ao longo dos 50 anos de operação da aeronave C-95 na FAB, houve diversas mudanças nesse plano inicial e o boletim vigente é o BT AF04-1056 C-95 156, elaborado pelo Parque de Material Aeronáutico dos Afonsos. No quadro 4, pontuou-se a comparação entre as inspeções programadas e suas periodicidades entre o programa inicial e atual.

Quadro 4 – Comparação entre os programas de manutenção

BT AF 1056		EMBRAER	
INSPEÇÃO	PERIODICIDADE	INSPEÇÃO	PERIODICIDADE
A1	PRIMEIRO VOO DO DIA	A1	PRIMEIRO VOO DO DIA
A2	ENTRE VOOS CONSECUTIVOS	A2	ENTRE VOOS CONSECUTIVOS
H1	150H ± 50H	B1	150H + 15H
H2	300H ± 50H	B2	300H + 15H
1S	600H ± 50H	C	600H + 30H
2S	1200H ± 50H	2C	1200H + 30H
3S	1800H ± 50H	3C	1800H + 30H
4S	2400H ± 50H	-	-
5S	3000H ± 50H	-	-
6S	3600H ± 50H	6C	3600H + 30H
7S	4200H ± 50H	-	-
8S	4800H ± 50H	-	-
9S	5400H ± 50H	-	-
10S	6000H ± 50H	-	-
11S	6600H ± 50H	-	-
12S	7200H ± 50H	12C	7200H + 30H

Fonte: BRASIL, 2004 e EMBRAER, 2010 (Adaptado).

Verifica-se que as inspeções programadas pelo BT AF 1056 se diferem na faixa que pode ser executada a inspeção, a qual possui uma antecedência e prorrogação máxima definida; enquanto, no boletim da EMBRAER, apenas verifica-se a presença de prorrogação, sendo sua antecedência a critério do operador. Percebe-se, ainda, uma

diferença na quantidade efetiva de horas autorizadas na prorrogação. Ressalta-se que a aeronave cumprirá sempre as tarefas da inspeção mais complexa, juntamente com as tarefas das inspeções de seus submúltiplos.

Analisou-se cada tarefa e periodicidade de execução relacionadas ao componente em estudo do atual programa de inspeções, com intuito de basear as escolhas para aprimoramento das tarefas e intervalos, contabilizando o total de 18 cartões de inspeção distribuídos nas diversas inspeções. A partir da compilação de todos esses, é possível aplicar a metodologia do MSG-3, com o embasamento teórico e técnico apropriado a fim de alcançar resultados eficientes.

3.3 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DO MSG-3

Com a seleção do componente a ser analisado, coleta dos dados de vida realizada e tratada, e com o levantamento das falhas funcionais e modos de falhas é exequível a aplicação da metodologia proposta. Aplica-se, então, o diagrama lógico de decisão que é projetado para iniciar as respostas a partir do topo, sendo que as respostas SIM ou NÃO guiarão a direção do fluxo de análise.

A etapa nível 1 tem o intuito de analisar a falha funcional e categorizar as consequências da falha em 5 tipos: evidente afetando a segurança; evidente com efeitos operacionais; evidente com efeitos econômicos; oculto afetando a segurança e oculto não afetando a segurança. Após essa categorização, aplicar-se-á a etapa nível 2, a qual consiste em um outro questionário a ser aplicado para os modos de falha da falha funcional categorizada. Cada categoria tem um questionário específico, com uma sequência própria, porém bem semelhantes entre si, a ser seguida. Ao final, será determinado quais tarefas podem ser aplicadas, a fim de reduzir ou mitigar as causas da falha.

O próximo passo é a avaliação do intervalo para as tarefas, o qual considera-se, primeiramente, o parâmetro utilizado para controle; no presente caso, são ciclos de pousos e tempo calendário e, posteriormente, critérios de seleção para cada tipo de tarefa selecionada, que serão explicitados e justificados na análise dos resultados.

Concluídos os processos anteriores, analisa-se os requisitos de certificação da manutenção, realizados por uma comissão de certificação que avalia uma lista de requisitos a serem implementados através da análise do sistema. Dentre as tarefas selecionadas, a comissão verifica se aqueles requisitos estão incluídos nas tarefas

relacionadas, de forma a identificar as falhas latentes. O fluxograma guia para a definição daquele requisito como necessário, uma reavaliação das tarefas ou conclui que a tarefa já cobre a exigência do requisito. Essa etapa não será abordada pelo estudo por depender de uma comissão apropriada.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Primeiramente, em virtude do primordial fator para se chegar aos resultados advém da coleta de dados úteis, sugere-se uma padronização no preenchimento da discrepância da FCDD pelos operadores. Com essa padronização, objetiva-se que os dados possuam o que é vital para o setor de confiabilidade analisar. Na ficha, deve-se, primeiramente, ter uma atenção para o tipo de recolhimento adotado, para evitar equívoco dos conceitos de manutenção programada e não programada. A padronização de sistema e *working unit code* (WUC) deve ser estritamente seguida, pois são os melhores filtros para diminuir as informações de análises precisamente. A ficha deve ser preenchida no PN do item defeituoso e não do NHA ou LHA. Na descrição deve conter os seguintes tópicos:

- a) PN, SN, TSN e TSO (se houver) do item que falhou;
- b) PN, TSN e TSO constante na ficha histórico do NHA ou LHA controlado que o componente acima está instalado que também falhou por causa desse modo de falha;
- c) Descrição técnica, utilizando somente os termos previstos na ordem técnica do componente ou aeronave, informando momento da falha, qual foi a falha total ou parcial prevista na ordem técnica, e qual a possível causa do defeito analisado. Apesar de todos esses códigos serem padronizados pela ATA 100, os mantenedores erram muito na alocação dos códigos, dificultando sobremaneira a identificação dos dados;
- d) A mesma descrição acima deve ser preenchida pela oficina ou órgão responsável pelo reparo no campo comentário da oficina.

A avaliação dos resultados obtidos na análise dos dados de vida do componente indica índices de grande relevância para interpretação do comportamento do mesmo. Primeiramente, o parâmetro β está muito próximo a 1, que indica uma taxa de falha constante e de forma aleatória. Esse valor não é comum em itens mecânicos que apresentam desgastes, motivo pelo qual adotou-se a distribuição Weibull ao invés da exponencial. Com isso, percebeu-se que a taxa falha é decrescente ao longo do tempo e que realmente se aproxima de uma constante, exceto pela parte inicial da curva do gráfico 3, indicando uma mortalidade infantil, que, segundo Moubray (1997), cerca de 68% dos itens eletrônicos e mecânicos apresentam esse padrão de curva. Entretanto, o problema está na forma em que essa curva está distribuída em relação à utilização do componente. O trem de pouso auxiliar possui um *time between overhaul* (TBO) de 4000 pousos e a confiabilidade calculada no software para o componente em estudo com essa quantidade de pousos é de 1,35%. Verifica-se que a taxa de falha começa a se estabilizar próxima a 600 pousos. Para verificar a efetividade da inspeção de TBO, analisou-se os 13 dados de falhas logo após a realização dessa inspeção programada, resultando em um $\beta = 1,16$ e um MTBF de 785,49 pousos. Houve, então, uma diminuição no valor esperado da distribuição, mostrando que essa inspeção não está sendo eficiente.

Constatou-se que a grande parte dos cartões de inspeções mais efetivos nas detecções de degradação e prevenções das falhas são executados com 600 horas de voo. As horas de voo não refletem, na prática, a utilização do trem de pouso, pois o mesmo sofre os desgastes por ciclos de pouso e operações de taxi no solo. Através de um levantamento estatístico do número de pousos por horas de voo, chegou-se à razão de 1,05 pousos por hora, acarretando a não realização dos cartões mais efetivos devido ao alto índice de mortalidade infantil.

A concepção da missão do C-95, quando o mesmo foi projetado, era para transporte de médio porte. Essa aeronave hoje é utilizada para muitas missões de instrução, as quais promovem uma utilização muito maior de número de pousos por conta de missões de treinamento de tráfego. Devido à aeronave possuir um programa de manutenção já definido, a análise de tarefas a serem adotadas focou em reduzir ao máximo o tempo de indisponibilidade, sintomas de degradação e falhas, aplicando tarefas simples que pudessem suprir as deficiências encontradas e aumentar ao máximo o seu MTBF e diminuir os custos com manutenções corretivas.

Um fator observado foi a diferença entre as prorrogações para realização das inspeções, considerando o BT AF 1056 e o manual de inspeção do fabricante. Verifica-se que, inicialmente, pelo fabricante era colocado um limite de 15 horas para inspeções intermediárias e 30 horas para as inspeções periódicas. Com a utilização do boletim técnico da FAB, verifica-se que essa prorrogação pode chegar até 50 horas para qualquer inspeção, significando um aumento de 23% da utilização para inspeções intermediárias e 4% para as inspeções periódicas. Esse aumento na tolerância da prorrogação pode representar uma influência nos desgastes prematuros, pois, dentro dessas horas a mais, o trem de pouso pode sofrer uma demanda muito maior que as horas de voo, sendo sua tarefa cumprida tardiamente.

Através do desenvolvimento do trabalho, a aplicação do nível 1 da metodologia MSG-3 para as falhas funcionais da tabela 3, obteve-se as categorizações apresentadas no quadro 5.

Quadro 5 – Categorização das falhas funcionais

FALHA FUNCIONAL	CATEGORIA
VIBRAÇÃO NO TREM DE POUSO	Evidente afetando a segurança
MAU FUNCIONAMENTO DO MECANISMO DE EIXO CORRETO	Oculto afetando a segurança
MOVIMENTO LENTO DA RODA	Evidente com efeitos operacionais
AUSÊNCIA DE MOVIMENTO NA RODA	Evidente afetando a segurança

Fonte: Autor.

Com isso, aplicou-se a cada modo de falha, mencionado na tabela 3, o questionário da respectiva categoria designada acima, obtendo-se os resultados do quadro 6.

Quadro 6 – Identificação das tarefas efetivas pela aplicação do MSG-3

MODO DE FALHA	TAREFAS					
	LUBRIFICAÇÃO E SERVIÇO	CHEQUE OPERACIONAL/ VISUAL	INSPEÇÃO/ CHEQUE FUNCIONAL	RESTAURAÇÃO	DESCARTE	COMBINAÇÃO
Folgas excessivas na biela ou cremalheira	SIM	-	SIM	SIM	SIM	SIM
Abastecimento do amortecedor incorreto	SIM	-	SIM	SIM	NÃO	SIM
Pistões de centralização da roda desregulados	NÃO	-	SIM	SIM	NÃO	NÃO
Vazamento interno do acumulador	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM
Falha interna no dispositivo de centralização	NÃO	NÃO	SIM	SIM	NÃO	SIM
Pressão incorreta no acumulador de eixo correto	NÃO	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM
Cilindro atuador de direção com vazamento interno	NÃO	-	SIM	-	-	-
Vazamento interno no distribuidor de direção	NÃO	-	SIM	-	-	-
Vazamento interno na eletroválvula	NÃO	-	SIM	-	-	-
Falha no mecanismo de comando	SIM	-	SIM	SIM	NÃO	SIM
Falha na alimentação elétrica da eletroválvula	SIM	-	SIM	SIM	NÃO	SIM

Fonte: Autor.

Posto que o controle do trem de pouso é realizado por número de pousos, o qual define o desgaste do mesmo, a hora de voo é um parâmetro que não define a real utilização do trem. Com o apoio técnico de mantenedores inspetores nível parque e base, definiu-se que um período de 30 pousos ou duas semanas, o que ocorrer primeiro, é efetivo para aplicação de um conjunto de tarefas com intuito de otimizar a utilização, prevenção de falhas e degradação do componente. Definiu-se então, para os respectivos modos de falha analisados, as tarefas apresentadas nos subtópicos posteriores.

4.1 VIBRAÇÃO NO TREM DE POUSO

Considerando as folgas excessivas na biela ou cremalheira, identificou-se que a lubrificação da cremalheira é prevista a cada 150 horas, enquanto a da biela de acoplamento é realizada em cada pré-voo. A maioria de reportes desse modo de falha está relacionado à folga da cremalheira. A tarefa é simples, exigindo cerca de 5 minutos para a execução. O excesso de graxa não tem prejuízo ou dano ao componente. Sugere-se a aplicação da tarefa para toda a frota na periodicidade definida, a fim de reduzir ao máximo os desgastes devido ao atrito. Realiza-se uma verificação de segurança a cada 300 horas a fim de checar a instalação e jogo excessivo. Deve-se então realizar uma inspeção

detalhada no período que ocorrer a lubrificação a fim de detectar e acompanhar a evolução de possíveis folgas ou início de desgastes. A tarefa não exige a indisponibilidade da aeronave, durando cerca de dez minutos. Uma tarefa de restauração é efetiva, substituindo os *spare parts* com folga e trocando por novos. Porém essa atividade depende da complexidade dos danos, gerando assim maior tempo de indisponibilidade. Os dados atuais não permitem estabelecer tarefas de descarte com exatidão. Sugere-se um monitoramento pelo parque central para verificar a data da instalação da atual cremalheira e a utilização da mesma até a falha, a fim de contabilizar dados estatísticos de forma a verificar a viabilidade de estabelecer um tempo limite de vida para a substituição da mesma. A operação com vibração pode causar danos secundários em outros componentes, dessa forma reduzindo os prejuízos causados.

Sobre o abastecimento do amortecedor incorreto, a tarefa de abastecimento e enchimento dos amortecedores está prevista a cada 300 horas. A operação com pressão incorreta acarreta redução na capacidade de absorver impactos, produzindo as possíveis vibrações e desgastes na estrutura do componente. Propõe-se a verificação da pressão na periodicidade definida. O cheque para verificar a pressão é feito com uma mangueira, um adaptador e um manômetro calibrado, sendo a duração da tarefa menor que 5 minutos. Caso seja verificada a pressão incorreta, deve-se refazer o amortecedor, de forma corretiva, com duração de cerca de 20 minutos. Recomenda-se a execução ainda de uma inspeção detalhada, a fim de verificar possíveis vazamentos pela válvula de abastecimento no período. Dessa maneira, se reduz ao máximo os danos causados por esse modo de falha. Não é prevista nenhuma inspeção ou cheque funcional nas manutenções programadas, porém é possível e prático, durante as inspeções antes do primeiro voo e entre voos consecutivos, o procedimento obtido através do conhecimento tácito dos operadores de realizar uma inspeção visual geral da altura do amortecedor, pelo tamanho da parte espelhada, cerca de nove centímetros ou quatro dedos de altura, com intuito de checar possível pressão incorreta. Tarefas de restauração são eficazes, porém geram um tempo de indisponibilidade devido à sua movimentação para o parque central para realização das mesmas.

A respeito do modo de falha pistões de centralização da roda desregulados, o programa de manutenção prevê a regulagem e cheque funcional do sistema de direção realizados a cada 600 horas, em que se verifica, com o teste hidráulico, o cumprimento da função designada. Esse modo de falha não foi reportado em uma frequência que exija

mudança dessa tarefa. O item, quando apresenta a condição de falha, recebe a regulagem e restauração no parque central, sendo seu risco e efeito na segurança classificado em um nível aceitável de operação.

4.2 MAU FUNCIONAMENTO DO MECANISMO DE EIXO CORRETO

Acerca do vazamento interno do acumulador de eixo correto e pressão incorreta no acumulador de eixo correto, realiza-se um cheque funcional do sistema a cada 600 horas, executando a regulagem e verificação funcional. A inspeção está condizente e efetiva com o tempo médio entre as falhas apresentado. Pode-se, ainda, realizar uma inspeção detalhada, checando a pré-carga do acumulador, a qual tem duração de cerca de 5 minutos, na periodicidade determinada. Dessa forma, verifica-se a incidência de vazamento, reaplicando a pressão correta na ocorrência do mesmo, com duração de 40 minutos como ação corretiva.

A tarefa de restauração é adequada, principalmente realizando a troca das gaxetas do êmbolo interno ao acumulador, porém exige a movimentação do componente ao parque central, aumentando tempo de indisponibilidade. Recomenda-se uma tarefa de descarte da válvula de enchimento e troca por uma nova no caso da aplicação de duas tarefas de cheque da pré-carga com incidência de vazamentos consecutivos. A tarefa implica em refazer o acumulador do eixo correto, com duração de 40 minutos. Após a conclusão do serviço, exige-se a aplicação de selante em uma parte do cilindro de atuação com duração de 6 a 8 horas para cura. Em caso de necessidade operacional, pode-se aplicar o *selastic*, com tempo de cura em cerca de 2 horas para o cumprimento de uma missão, com a aplicação do selante adequado após o término da missão.

A falha interna no dispositivo de centralização também é uma das causas do mau funcionamento do acumulador. Realiza-se o cheque funcional do sistema de comando e alarme do trem de pouso a cada 600 horas, sendo efetivo considerando o tempo médio entre as falhas. A detecção da degradação da função ocorre quando se comanda o trem de pouso para recolher, e o mesmo não completa o ciclo, sendo necessário realizar novo ciclo para efetivar o recolhimento.

Existe um microcontactador que não permite o recolhimento em caso de desalinhamento do trem de pouso auxiliar, a fim de evitar danos estruturais no sistema e componente. Com a operação correta do microcontactador, anula-se o risco de danos severos devido à falha. Para verificar se o dispositivo está operando, a cada 600 horas é

realizado um teste de continuidade e calibração de todos os microcontactores do sistema. Sugere-se a tarefa de checar a continuidade apenas do microcontactador do eixo correto no intervalo determinado, sendo sua duração de 30 minutos. Assim que for detectada alguma dificuldade para realizar o recolhimento do trem de pouso auxiliar, deve-se realizar o cheque funcional do recolhimento do trem de pouso, utilizando o teste hidráulico, e confirmar a degradação ou falha. A tarefa de restauração é efetiva, implicando, porém, o maior tempo de indisponibilidade.

4.3 MOVIMENTO LENTO DA RODA

Sobre o cilindro do atuador de direção com vazamento interno, devido à categoria de sua falha ser evidente com efeitos à operacionalidade, a primeira resposta “sim” já fornece uma tarefa efetiva. É realizado um cheque visual na área do atuador de direção e cremalheira para identificar indícios de vazamentos em todas inspeções de primeiro voo do dia. Propõe-se a aplicação desse cheque entre voos consecutivos. Assim, reduz ao mínimo a operação com tal modo de falha durante uma missão inteira. Ainda é realizado no programa de manutenção, a cada 600 horas, o cheque funcional e regulagem do sistema de comando de direção. Sua degradação é perceptível quando o comando da roda, utilizando o cheque hidráulico, é muito lento. Essa tarefa é efetiva e aplicada em um intervalo coerente com o tempo médio entre as falhas. Recomenda-se que a tarefa de troca de gaxetas do cilindro atuador seja realizada pelos operadores, de forma a diminuir o tempo de indisponibilidade do equipamento.

O vazamento interno no distribuidor de direção e vazamento interno na eletroválvula podem ser detectados por um cheque funcional realizado a cada 600 horas. Devido ao componente em todo voo ser constantemente operado, seus desgastes podem ocorrer de forma mais ágil. A fim de detectar possível falha, uma inspeção visual no corpo do distribuidor e da eletroválvula, na periodicidade determinada, com intuito de verificar indícios de vazamentos é adequada, assim identificando a falha antes que os efeitos sejam mais graves. A realização da tarefa dura aproximadamente cinco minutos, de forma que, após a detecção do modo de falha, envia-se o componente para restauração.

4.4 AUSÊNCIA DE MOVIMENTO NA RODA

Considerando a falha no mecanismo de comando, recomenda-se a lubrificação do sistema do *follow-up* e do cabo teleflex que aciona a haste de comando. Realizar, ainda, a desconexão da haste de comando e observar o movimento livre da caixa de engrenagem do volante, no período determinado. Com isso, reduz-se ao máximo os danos causados por atrito e desgastes e detecta-se a degradação do componente, com duração da execução de 10 minutos para ambas as ações. Uma tarefa de restauração também é aplicável, substituindo os *spare parts* que apresentaram degradação.

Para a falha na alimentação elétrica da eletroválvula, aconselha-se a realização de limpeza com limpa contato dos pinos no plugue da eletroválvula no intervalo definido; dessa forma, retirando umidade, sujidades e retardando o processo de oxidação. É uma tarefa com duração de cerca de 10 minutos. Propõe-se, ainda, realizar uma inspeção detalhada especial, utilizando um multímetro para checar a continuidade da eletroválvula, sendo efetiva para verificar a degradação do componente, a cada 60 pousos ou um mês, o que ocorrer primeiro. Em caso de falha, uma tarefa de restauração no parque central é viável.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A manutenção centrada em confiabilidade possibilitou uma análise bem profunda do trem de pouso auxiliar, proporcionando dados importantes para a tomada de decisão do gerente do projeto. A aplicação da metodologia do MSG-3 viabilizou uma visão sistêmica para aplicação de tarefas no componente que possui um dos maiores números de pedidos de emergência nos últimos cinco anos, de forma a proporcionar um incremento em seu tempo médio entre falhas e aprimoramento do programa de manutenção, visando o aumento da disponibilidade das aeronaves e redução de custos de manutenção.

Primeiramente, foi evidenciada a grande dificuldade de agregar dados úteis à pesquisa, devido à grande falha dos operadores em preencher os dados de forma correta, clara e utilizando termos previstos na ordem técnica. Muitos dados tornam-se inconclusivos e inválidos devido a simples erros, com principal ênfase à falta da descrição da falha ou do modo de falha. Para isso, sugere-se uma padronização para preenchimento da discrepância, no tópico de análise dos dados, de forma a mitigar ao máximo a exclusão

de fichas de defeito dos estudos realizados. Outro problema encontrado nos dados foi o preenchimento da ficha para um item não controlado, o qual provoca a falha de um componente controlado, porém, na descrição do defeito, falta dados de controles estatísticos do conjunto maior, como TSO e TSN, a fim de produzir uma análise de vida que pode auxiliar em ações de correção e controle mais efetivo com uma visão sistêmica, ao invés de apenas analisar o item defeituoso. Para isso, os conceitos de *next high assembly* (NHA) e *last high assembly* (LHA) devem ser melhor difundidos entre os mantenedores e inspetores das unidades aéreas e parque central. Houve grande índice de duplicidade de fichas, contribuindo para dificuldade de tratamento de dados, sendo necessário melhor acompanhamento do sistema para evitar dados desnecessários dentro do mesmo.

Os relatórios de recolhimentos mostraram uma grande deficiência no controle, por vezes evidenciando recolhimentos e atividades de manutenção fora do sistema de controle logístico, pois os dados de TSO se alteravam sem justificativa plausível. A falta de acompanhamento do parque central com intuito de auditar a causa real da falha prejudicou sensivelmente essa coleta de dados. Essa deficiência deve ser suprida pelo comentário das ações da oficina, que é o setor que realmente identifica o motivo da falha, nas fichas e relatórios de recolhimento, produzindo uma certeza dos aspectos a serem analisados. Com essa simples informação, cria-se uma trilha auditável para identificação de problemas de projeto ou procedimentos. Deve-se, ainda, obrigar que qualquer recolhimento por manutenção não programada seja atrelado a uma ficha completa de defeito com a padronização sugerida, a fim de coletar dados estatísticos, o que atualmente não ocorre. Essas fichas ainda precisam receber o parecer do setor responsável do parque central para feedback aos operadores e futuros estudos.

As inspeções de revisão geral, no atual formato, mostraram-se ineficientes e com elevado custo. Sugere-se que o parque central averigüe todas as ações de manutenção realizadas por empresas terceirizadas, bem como oficinas do parque por meio de emissão de relatórios, a fim de criar uma trilha auditável dos serviços que realmente foram executados. Dessa forma, auxilia-se os setores de análise de confiabilidade a ter embasamento teórico e prático para tomada de decisão.

As análises, através dos questionários da metodologia aplicada, produziram dados de grande relevância para o programa de manutenção e tarefas de prevenção e detecção de falhas. Todas as tarefas sugeridas na análise de dados foram colhidas por dados de

informação entre alguns pilotos, inspetores técnicos das unidades aéreas e inspetores do parque central, a fim de chegar a um consenso de tarefas efetivas que reduzissem ao máximo a necessidade de grandes serviços e reparos. O contraste encontrado nas tarefas do programa de manutenção da aeronave que é controlada por horas de voo e o ciclo de controle e desgaste do trem de pouso auxiliar que é controlado por pousos foi um ponto relevante do estudo, pois as tarefas de prevenção podem, ao longo da utilização e demanda, ser subestimados quanto à sua efetividade. Por isso, um intervalo de ciclos simples, levando em consideração a quantidade de pousos para realização das tarefas, foi adotado na análise dos resultados.

À guisa de conclusão, a manutenção centrada em confiabilidade mostrou-se eficiente na avaliação proposta pelo trabalho e a aplicação da metodologia do MSG-3 no componente selecionado produziu dados que podem promover um possível aumento do MTBF do mesmo. Essa pesquisa pode contribuir com futuros estudos na área da manutenção centrada em confiabilidade e motiva a adequação das tarefas propostas para posterior diagnóstico para melhoria de desempenho.

AN EXPLORATORY DATA ANALYSIS OF THE MSG-3 METHODOLOGY APPLICATION IN THE COSTS REDUCTION OF BRAZILIAN AIR FORCE AIRCRAFT C-95 MAINTENANCE PROGRAM

ABSTRACT

This paper was driven forward due to the possibilities of maintenance cost reduction and the improvements of Brazilian Airforce C-95 Bandeirante fleet availability. This study aims the analysis of MSG-3 methodology application effects to improve the most critic item of C-95 aircraft maintenance program and verify the best cost-effective tasks, assuring a safety operation and suitable reliability levels. It was achieved through a documental research based in technical and official documents so as to consolidate the theoretical basis for the MSG-3 application. The item chosen was the auxiliary landing gear due to the emergency requests data collection throughout five years of operation and its importance in the aircraft performance. The analysis tools used was the software SILOMS to collect the logistic data to feed the ReliaSoft Corporation software Weibull ++ with the intention of producing reports to complement the MSG-3 application result analysis. The paper evidenced a great deal of contribution for enhancing the logistic data reports, suggesting a standard way to write the defect forms and the component life data behaviour which proved incoherent intervals and types of tasks. In this way, it provides the adoption of preventive maintenance tasks as lubrication, services and functional checks in order to optimise these activities expenditures and the aircraft availability.

Keywords: Reliability Centred Maintenance. MSG-3 Methodology. Maintenance Costs. Aircraft Maintenance.

REFERÊNCIAS

- AIR TRANSPORT ASSOCIATION (ATA). **MSG-3—operator/manufacturer scheduled maintenance development (Revision 2015.1)**. Washington, DC: Air Transport Association (ATA) of America, 2015.
- AHMADI, A., SÖDERHOLM, P. e KUMAR, U. **An Overview of Trends in Aircraft Maintenance Program Development: Past, Present, and Future**. In: European Safety and Reliability Conference (ESREL), 2007, Stavanger, Norway.
- BALLOU, R. H. **Logística Empresarial: transportes, administração de materiais, distribuição física**. 2a ed. Editora Atlas, São Paulo, 1993.
- BARROS FILHO, Adail. **Utilização de Ferramentas de Confiabilidade em um Ambiente de Manufatura de Classe Mundial**. 103 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- BLANCHARD, Benjamin S. **Logistics engineering and management**. 6. ed. Upper Saddle River, N.J: Pearson Prentice Hall, 2004.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Comando Geral de Apoio. Diretoria de Material Aeronáutico e Bélico. Sistema de Confiabilidade do SISMA e do SISMAB: **ICA 400-21**. Rio de Janeiro, RJ, 2006.
- _____. Comando da Aeronáutica. Comando Geral de Apoio. Diretoria de Material Aeronáutico e Bélico. Manual de Manutenção: Doutrina, Processos, e Documentação de Manutenção: **MCA66-7**. Rio de Janeiro, RJ, 2017.
- _____. Comando da Aeronáutica. Comando Geral de Apoio. Diretoria de Material Aeronáutico e Bélico. Programa de Manutenção das aeronaves Bandeirantes da Força Aérea Brasileira (FAB): **BT AF04-1056 C-95 156**. Rio de Janeiro, RJ, 2017.
- CIENCIA E TECNOLOGIA EM FOCO. **EMBRAER EMB-110 BANDEIRANTE**. 2015. Disponível em: <<http://cienciatecnologiafoco.blogspot.com/2015/09/embraer-emb-110-bandeirante.html>> Acesso em: 25/06/2018.
- COYLE, J.J.; BARDI, E.J.; LANGLEY, C.J. **The management of business logistics**. 5. ed. New York: West Publishing Company, 1992.
- EMBRAER. **Manual de Manutenção, Sistema Hidráulico e Trem de Pouso (O.T. 1C95A-2-4)**. São José dos Campos, SP: Empresa Brasileira de Aeronáutica S. A., 2008.
- _____. **Programa de Manutenção avião EMB-110 “BANDEIRANTE” (P.M. 110/165)**. São José dos Campos, SP: Empresa Brasileira de Aeronáutica S. A., 2010.
- FAA, Federal Aviation Administration. **Continuous Analysis and Surveillance System: Description and Models (DOT/FAA/AR- 03/70)**. Springfield, Virginia:

National Technical Information Service (NTIS), 2003.

MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance**. 2. ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.

NOWLAN, F.S.; HEAP, H.F. **Reliability Centered Maintenance (report n.AD/A066-579)**. Springfield, Virginia: National Technical Information Service (NTIS), 1978.

RELIASOFT CORPORATION. **Life Data Analysis Reference**. Tucson, Arizona: ReliaSoft Publishing, 2015.

RIBEIRO, Rita. P. F. **Controlo de Programa de Manutenção de Aeronaves – Variante Estruturas e Sistemas**. 2009. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2009.

SIQUEIRA, Iony Patriota de. **Frequência Ótima de Manutenção Centrada na Confiabilidade (Anexo 7)**. In: Seminário Internacional de Mantenimiento y Servicios Asociados em Sistemas Eléctricos, 2003, Cartagena de Indias. **Seminário Internacional de Mantenimiento y Servicios Asociados em Sistemas Eléctricos**, 2003.

TANG, Yang; LIU, Qingyou; JING, Jiajia; *et al.* A framework for identification of maintenance significant items in reliability centered maintenance. **Energy**, v. 118, p. 1295–1303, 2017.