

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Departamento de Engenharia Mecânica

**ANÁLISE DE RISCO NO PROCESSO DE
MANUTENÇÃO DE COMPONENTES
AERONÁUTICOS**

Kim Carvalho de Oliveira

Me. Angelo José Castro Alves Ferreira Filho
Me. Alaide Bayma

Taubaté – SP
2019

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Departamento de Engenharia Mecânica

**ANÁLISE DE RISCO NO PROCESSO DE
MANUTENÇÃO DE COMPONENTES
AERONÁUTICOS**

KIM CARVALHO DE OLIVEIRA

Monografia apresentada para
obtenção do Certificado de
Especialização pelo Curso de Pós-
graduação em Engenharia
Aeronáutica do Departamento de
Engenharia Mecânica da
Universidade de Taubaté.

Orientador: Prof. Me Angelo José Castro Alves Ferreira Filho
Co-Orientadora: Me. Alaide Bayma

Taubaté – SP
2019

SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU

O48a Oliveira, Kim Carvalho de
Análise de risco no processo de manutenção de componentes aeronáuticos / Kim Carvalho de Oliveira. -- 2019.
55 f. : il.

Monografia (Especialização) – Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2019.

Orientação: Prof. Me. Angelo José Castro Alves Ferreira Filho,
Departamento de Pesquisa e Pós-graduação.

Coorientação: Profa. Alaide Bayma.

1. Aeronaves. 2. Análise de Risco. 3. Fator Humano. 4. FMEA.
5. Manutenção. I. Título. II. Especialização em Engenharia Aeronáutica.

CDD – 629.13

COMISSÃO JULGADORA

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Angelo José Castro Alves Ferreira Filho – Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Eng. Me. Alaide Bayma - EMBRAER

Assinatura _____

Prof. Me. Pedro Marcelo Alves Ferreira Pinto – Universidade de Taubaté

Assinatura _____

Data: _____

Resultado: _____

DE OLIVEIRA, C., KIM– *Análise de risco no processo de manutenção de componentes aeronáuticos*, Monografia, Especialização em Engenharia Aeronáutica pelo Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté, Taubaté, SP, 2019, 55 p.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador, Prof.Me Angelo José Castro Alves Ferreira Filho e co-orientadora Eng^a. Me Alaide Bayma pelos ensinamentos, disponibilidade, incentivo e orientação durante a elaboração desta monografia

Aos meus pais Bárbara e Nelson, por sempre acreditarem em mim e embarcarem em todas as aventuras comigo

Aos meus amigos do curso, sem vocês teria sido difícil sobreviver aos sábados em Taubaté.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma análise de riscos, analisando o processo de manutenção de componentes aeronáuticos em uma empresa RBAC-145. Fizeram parte de tal análise a identificação dos possíveis modos de falha (aplicação do método *Failure Mode Effect Analysis*), análise de risco e desenvolvimento de opções para controle de risco. Os modos de falha identificados são diretamente relacionados com a falha do sistema devido a um erro humano. O fator humano foi uma variável determinante para a elaboração da análise de risco realizada nesse trabalho. Utilizando os dados obtidos através da análise de risco foi possível implementar diversas ações corretivas melhorando o serviço oferecido pela empresa. Levando em consideração o alto padrão de qualidade exigidos na indústria aeronáutica, é importante que as empresas de manutenção de componente trabalhem sempre para atender todos os requisitos necessários para uma operação segura.

Palavras-chave: Aeronaves. Manutenção. FMEA. Análise de Risco. Fator Humano.

ABSTRACT

RISK ANALYSIS IN THE AERONAUTICAL COMPONENT MAINTENANCE PROCESS.

This paper has as the objective to develop a risk analysis analyzing the aeronautical component maintenance process in a RBAC-145 repair shop. The steps of the analysis were: identification of possible failure mode (application of Failure Mode Effect Analysis method), analysis of risk and development of risk control options. The identified failure modes are directly related to system failure due to a human error. Human factor was determinant variable to the elaboration of the risk analysis developed in this paper. Using the data derived from the risk analysis it was possible to implement several corrective actions, improving the service provided by the company. Taking in consideration the high-quality level standards expected in the aeronautical industry, it is important that component maintenance shops work to meet all requirements for a safe operation.

Key Words: Aircraft. Maintenance. FMEA. Risk Analysis. Human Factor.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE TABELAS.....	10
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	11
1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROJETO.....	12
1.2 MOTIVAÇÃO E OBJETIVO DO PROJETO.....	12
1.3 METODOLOGIA.....	15
1.4 ORGANIZAÇÃO DO PROJETO.....	15
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1 INFLUÊNCIA DA MANUTENÇÃO EM ACIDENTES AÉREOS.....	17
2.2 FATORES HUMANOS.....	21
2.3 METODOLOGIA FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (FMEA).....	23
2.4 EMPRESAS DE MANUTENÇÃO – RBAC 145.....	28
3. ESTUDO DE CASO.....	33
3.2 FASE 2: COLETA DE DADOS.....	34
3.3 FASE 3: ANÁLISE.....	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
5. CONCLUSÃO.....	51
6. BIBLIOGRAFIA.....	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de aeronaves envolvidas em acidentes nos últimos 10 anos (CENIPA, 2018)	13
Figura 2 - Atividade de manutenção relacionadas a acidentes devidos a manutenção (MARAIS E ROBICHAUD, 2012).....	18
Figura 3 - Distribuição por sistema de acidentes relacionados a manutenção (BOYD E STOLZER, 2015)	19
Figura 4 - Fatores contribuintes e os erros de manutenção (BAO E DING, 2013)	20
Figura 5 - Teoria do queijo suíço (REASON, 2000)	22
Figura 6 - Fluxograma de serviços de MRO na indústria aeronáutica (VIEIRA E LOURES, 2016).....	30
Figura 7 - Exemplo de ficha de inspeção dimensional (Fonte: Autor)	40
Figura 8 - Exemplo de ficha de inspeção de END (Fonte: Autor).....	41
Figura 9 - Subparte identificada (Fonte: Autor)	42
Figura 10 - Lupa de bancada (Fonte: Autor)	42
Figura 11 - Recipiente de bancada para descartar detritos (Fonte: Autor)	44
Figura 12 - Container maior para esvaziar os recipientes menores (Fonte: Autor)	44
Figura 13 - Ficha de execução de serviço (Fonte: Autor).....	45
Figura 14 - Manômetro com etiqueta com informação de calibração (Fonte: Autor).....	47
Figura 15 - Tabela com os itens por vencimento (Fonte: Autor).....	48
Figura 16 - Produto consumável com etiqueta de identificação de data de vencimento (Fonte: Autor).....	49
Figura 17 - Ficha de teste preenchida (Fonte: Autor)	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação e critério para determinação de ocorrência de falha (ANAC,2018)	25
Tabela 2 - Classificação e Critério para determinação de severidade (ANAC, 2018)	25
Tabela 3 - Matriz de avaliação de Risco (ANAC, 2018)	27
Tabela 4 - Resultados da FMEA	35
Tabela 5 - Matriz de Risco	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil (Brasil)
CAA	Civil Aviation Authority (Canada)
CENIPA	Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos
CMM	Component Maintenance Manual
COM	Cerificado de Operação de Manutenção
CSN	Cycles since new
CSO	Cycles since overhaul
EASA	European Aviation Safety Agency
END	Ensaio não Destrutivo
FAA	Federal Aviation Administration (USA)
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
FO	Foreign Object
FOD	Foreign Object Damage
IATA	International Air Transport Association
ICAO	International Civil Aviation Organization
IS	Instrução Suplementar
L.P	Líquido Penetrante
MEDA	Maintenance Error Decision Aid
MOM	Manual da Organização de Manutenção
MRO	Maintenance, Repair and Overhaul
P.M	Partícula Magnética
RBAC	Regulamento Brasileiro de Aviação Civil
SGSO	Sistema de Gerenciamento de Segurança Operacional
SMM	Safety Management Manual
TSN	Time since new
TSO	Time since overhaul

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROJETO

A indústria aeronáutica internacional está presente em praticamente todos os pontos do mundo, tendo importante participação na criação e crescimento da economia global. A indústria em si é um dos gigantes da econômica mundial, influenciando diretamente diversos outros ramos. Com o EUA como precursor, a liberalização do mercado na década de 80, permitiu que o mercado se tornasse cada vez mais competitivo e continuasse a evoluir. Um ambiente mais competitivo para as empresas aéreas e com regulação mais flexível resulta em mais oferta de voos e tarifas mais baixas para o consumidor. Atualmente 95.3 mil voos são realizados, transportando 98 milhões de passageiros diariamente. O faturamento da indústria em 2018 foi de aproximadamente U\$ 38 bilhões representando 3.5% da economia global, gerando 2.7 milhões de empregos. (IATA, 2017)

O Brasil, com suas dimensões continentais, é considerado um dos dez mercados de aviação mais dinâmicos do mundo. Atualmente são 591 aeródromos públicos e 3.263 aeródromos particulares no país reconhecidos pela ANAC. O Brasil conta com 12 empresas de linha aérea regular nacionais, 58 empresas de linha aérea regular internacionais, 120 empresas de taxi-aéreo e 334 empresas de serviços aéreos especializados. Além disso, existem 9746 pessoas físicas/jurídicas autorizadas a operar aeronaves. O mercado da aviação brasileiro, conta com uma gama completa de aeronaves, contando com aeronaves turboélices, jatos, anfíbios, monomotores, helicópteros, experimentais, etc. (CENIPA, 2018)

1.2 MOTIVAÇÃO E OBJETIVO DO PROJETO

Uma característica marcante do setor aeronáutico, é a elevada vida útil dos produtos, que pode atingir de 25 a 40 anos, dependendo do tipo de aeronave e do tipo de operação. Tamanha vida útil enseja cuidados continuados, que movimentam o segmento denominado “*maintenance, repair, and overhaul*” (MRO), ou

manutenção, reparo e revisões gerais. Em 2017, foram contabilizadas 507 bases de manutenção com Certificado de Organização de Manutenção (COM) emitidos pela ANAC válidos.

Apesar do grande número de empresas de manutenção presentes no país o número de acidentes ainda é alto. De acordo com o Relatório do CENIPA(2018) de janeiro de 2008 à Julho de 2018 ocorreram 1.704 acidentes com aeronaves em todo o país, representando uma média de um acidente a cada dois dias, conforme ilustrado na Figura 1 abaixo. É importante ressaltar que a maioria dos acidentes contabilizados na estatística acima se concentram na aviação geral. A aviação regular, na qual entram as linhas aéreas comercial, representa uma pequena porção desse total de acidentes. Ainda de acordo com o Relatório CENIPA (2018) as principais causas dos acidentes foram falhas de motor e perda de controle de voo. É de comum acordo que maior e melhor controle de manutenção das aeronaves e maior rigor no treinamento de pilotos são medidas que podem diminuir a quantidade de acidentes.

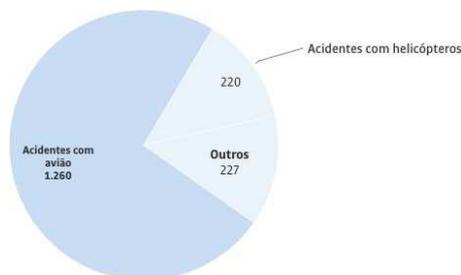


Figura 1 - Tipos de aeronaves envolvidas em acidentes nos últimos 10 anos (CENIPA, 2018)

Tendo em vista a importância da manutenção para a prevenção de acidentes aéreos, a proposta deste trabalho é apresentar uma análise de risco, nos processos de uma oficina de manutenção de componentes aeronáuticos. Inicialmente foram identificados os possíveis perigos, para então efetuar a análise de riscos e mapear opções para o controle de consequências.

A empresa escolhida para fazer o estudo de análise de risco é a COMAF INDÚSTRIA AERONÁUTICA, uma empresa quem tem como principal atividade

a revisão e/ou reparo de componentes aeronáuticos, bem como a coordenação da logística envolvida nesta prática. Em 40 anos de atividades ininterruptas, acompanhou o crescimento da indústria aeronáutica no Brasil e no mundo, sempre fornecendo serviços com qualidade, competência, e preços competitivos para todos os seus clientes. Homologada pela ANAC e EASA, conforme as normas do RBAC 145, sob o Certificado de Homologação CHE # 7710-01/ANAC, Acessórios (Classe 1,2,3), Célula (Classe 3 e 4), Rádio (Classe 1 e 2), Instrumento (Classes 1,2,3, e 4) e Serviços Especializados classe única.

Na qualidade de empresa aeronáutica, é constantemente submetida a inspeções técnicas, com o objetivo de avaliação de suas capacidades técnicas e renovação de homologações. Com isso, também possui as certificações dos órgãos de outros países da América Latina, assim como de forças aéreas. As instalações contam com diversas oficinas, entre elas: rodas e freios, hélices, ensaio não-destrutivo, elétrica e pneumática, bateria, reparos estruturais, hidráulica, eletrônica e instrumentos. Além das oficinas, contam também com seções de apoio como sala de usinagem, ferramentaria, área de limpeza de peças, almoxarifado, biblioteca técnica, pintura e testes.

A empresa conta com aproximadamente 100 funcionários, a maioria de alguma forma envolvido no processo de manutenção de componentes. Todos os engenheiros e técnicos possuem Carteira de Mecânico de Manutenção de Aeronaves expedida pela ANAC, e são permanentemente reciclados através de cursos oferecidos pela empresa. Todos os funcionários passam por constante treinamento que envolve temas como *human factors*, e treinamento sobre regulamentos.

Com a publicação da Instrução Suplementar 145.214-001B (ANAC) em junho de 2018, se tornou obrigatório em 2019 que todas as organizações de manutenção enquadradas no regulamento RBAC-145 elaborem e implementem um Sistema de Gerenciamento de Segurança Operacional (SGSO). Anteriormente, o SGSO era obrigatório apenas para operadores de aeronaves. O procedimento de análise de risco associado ao processo de manutenção é uma importante etapa do programa de implementação deste sistema na organização de manutenção.

1.3 METODOLOGIA

O método de Estudo de Caso foi escolhido para este estudo pois permite uma análise em profundidade, longitudinal, com uma riqueza de detalhes que não é possível obter, por exemplo, em uma *survey*.

Além disto, conforme Yin (2002), trata-se do método a ser adotado quando a pergunta de pesquisa é do tipo “Como” ou “Por que”.

Conforme afirmado por Yin (2002), um estudo de caso deve seguir um design de pesquisa. Este design é a sequência lógica que conecta os dados coletados durante a pesquisa à questão inicial que motivou o estudo e, finalmente, a conclusão do mesmo.

Neste caso, o estudo se caracterizou por três fases distintas: ambientação, coleta de dados e análise.

Na análise preliminar de riscos, realizou-se a ferramenta *What If* e FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*). Com o resultado desses processos, foi possível elaborar a matriz de criticidade, em que o grau de severidade e a probabilidade de ocorrência foram avaliados. Com os resultados obtidos por essa pesquisa foi possível identificar os riscos associados às operações de manutenção realizadas pela empresa estudada, afim de aplicar melhorias no processo de manutenção para garantir sempre a segurança e melhor qualidade dos componentes liberados para voo.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO PROJETO

O presente trabalho é composto por cinco capítulos. Esta introdução, que apresenta o tema e inclui a descrição dos objetivos e características da monografia.

O segundo capítulo contém a revisão bibliográfica do projeto, onde se aborda as bases conceituais aplicadas ao projeto, definições e métodos utilizados. O referencial teórico inclui revisão sobre estatísticas envolvendo acidentes aéreos devido a erros de manutenção, fatores humanos, método FMEA, processo de manutenção de uma empresa RBAC 145, etc.

O terceiro capítulo (estudo de caso) descreve a aplicação do método FMEA

no processo de manutenção de componentes da empresa e os resultados obtidos. Apresenta também os resultados encontrados na análise de risco efetuada, e como isso afeta a segurança da operação dos componentes reparados na oficina

Finalmente, no último capítulo são apresentadas as conclusões deste estudo, recomendações e considerações finais sobre o estudo de caso realizado.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 INFLUÊNCIA DA MANUTENÇÃO EM ACIDENTES AÉREOS

A segurança das operações aeronáuticas depende fortemente dos processos de manutenção. Sem a devida manutenção, os sistemas começam a deteriorar, e a performance da aeronave pode ser degradada, prejudicando a segurança da operação. De acordo com Hobbs (2008), é estimado que para cada hora do voo, doze horas de manutenção sejam realizadas.

As pesquisas relacionadas as influências dos fatores humanos na manutenção, em acidentes aéreos são separadas em dois grupos: (1) fatores relacionados a erros de um indivíduo que causam falhas de manutenção (2) fatores relacionados a erros gerenciais que causam falhas de manutenção.

O primeiro grupo se concentra em estudos que mostram que a performance de um indivíduo pode causar um incidente ou acidente.

Já o segundo grupo mostra que os erros individuais acontecem como reflexo da interação pessoal, ambiente de trabalho, e fatores organizacionais. (BAO E DING ,2013)

Acidentes ocorrem como resultado de uma combinação de fatores, como erros de fabricação, falha mecânica, erro de software, erro do usuário, fatores organizacionais, fatores regulatórios.

De acordo com Marais e Robichaud (2012), esses fatores podem ser classificados em: causa imediata (i.e., falha de um trem de pouso), causa raiz (i.e., inspeção inadequada), causa ativa (i.e, fogo) e causa latente (i.e treinamento inapropriado de mecânicos).

Foi encontrado que 4,1% dos acidentes entre 1999 e 2008 ocorreram devido a um fator relacionado a manutenção. Acidentes relacionados a erro de manutenção tem 6,5 vezes mais chance de causar fatalidades que acidentes em geral.

No período de 1999 a 2008 representou 27,4% de todas as fatalidades

envolvidas em acidentes aéreos. (MARAIS E ROBICHAUD, 2012).

Marais e Robichaud (2012) desenvolveram a tabela mostrada na figura 2 abaixo com a frequência de ocorrência de acidentes na aviação geral relacionados a cada atividade de manutenção. Os dados foram retirados do banco de dados da *Civilian Aviation Authority (CAA)* dos Reino Unido. É possível ver que erros de instalação de componentes são a maior causa dos acidentes seguido de erros de manutenção e inspeção. Estudos da Boeing revelaram que mudanças nos procedimentos de manutenção e inspeção poderiam ter prevenido 20% dos acidentes entre 1982 e 1991 (LATORELLA E PRABHU, 2000)

Frequency of maintenance activity for all GA maintenance-related accidents 1998-1997.

Maintenance activity	Frequency	Percent
Installation	295	20.0
Maintenance**	217	14.7
Maintenance inspection	202	13.7
Annual inspection	124	8.4
Service of aircraft	91	6.1
Adjustment	82	5.5
Modification	62	4.2
Overhaul	59	4.0
Other	312	21.1
Non-maintenance*	30	2.0
Total	1474	100.0

* Non-maintenance refers to codes used in the NTSB accident reports that are not labeled as 'maintenance,' Some examples include landing gear, tailwheel lock, flight manuals, and radar assistance to VFR aircraft.

** Most likely maintenance-related activities which could not be classified in any other category.

Figura 2 - Atividade de manutenção relacionadas a acidentes devidos a manutenção (MARAIS E ROBICHAUD, 2012)

A pesquisa de Boyd e Stolzer (2015), foca em acidentes envolvendo aeronaves monomotores certificadas pelo FAA. A manutenção inadequada foi considerada como sendo a maior causa dos acidentes desse grupo de aeronaves. Os erros de manutenção mais encontrados foram aplicação de torques inadequados, e ajustes inadequados (trem de pouso, superfícies, hélice). Instalação inapropriada foi a segunda causa mais encontrada, seguida de inspeção inadequada. A tabela da

figura 3 mostra em quais sistemas das aeronaves ocorreram os erros que causaram mais acidentes ou incidentes. Erros de manutenção envolvendo o sistema do motor foram os que mais ocorreram, porém não representam um número alto de fatalidades proporcionalmente. Já os acidentes relacionados a erros na fuselagem das aeronaves, apesar de raros (5 casos), são extremamente fatais.

Distribution of maintenance-related accidents by aircraft system.

Aircraft System	Accidents Caused or Contributed to by Maintenance Error			
	Nonfatal (n)	Fatal (n)	% Fatal	p Value
Airframe	2	3	60	<0.001
Brake System	17	0	0	0.162
Electrical System	8	2	20	0.23
Flight Control System	20	1	5	0.484
Fuel System	40	5	11	0.689
Landing Gear	55	1	2	0.036
Powerplant/Mixture/Throttle Controls	149	20	12	0.134
Propeller	18	0	0	0.162
TOTAL	309	32		

Fatal/nonfatal accident count (n) distribution by aircraft system is shown. Post hoc analysis using adjusted residuals to derive p values was used to determine the significance of over-/underrepresentation of fatal accidents for each aircraft system.

Figura 3 - Distribuição por sistema de acidentes relacionados a manutenção (BOYD E STOLZER, 2015)

Os autores concluem que para monomotores, nos últimos 25 anos, acidentes relacionados a erros de manutenção representam 4,8% de todos os acidentes. Esta estatística se aproxima da encontrada por Marais e Robichaud no universo da aviação geral (4,1%) apresentada anteriormente. Essa diferença de 0,7% pode ocorrer devido ao fato de que as aeronaves da pesquisa de Marais e Robichaud são aeronaves mais rápidas, e com maior autonomia de voo fazendo com que as aeronaves tenham perfis de voo diferentes e mais propícios a acidentes. Essa diferença pode também ser atribuída a diferentes metodologias utilizadas pelos autores.

Bao e Ding (2014) demonstram em sua pesquisa qual é a probabilidade dos potenciais fatores que causam incidentes relacionados a manutenção, utilizando o método conhecido como “*Maintenance Error Decision Aid (MEDA)*”.

A Figura 4 apresenta a relação qualitativa entre o erro, e os fatores que contribuíram para que o mesmo ocorresse.

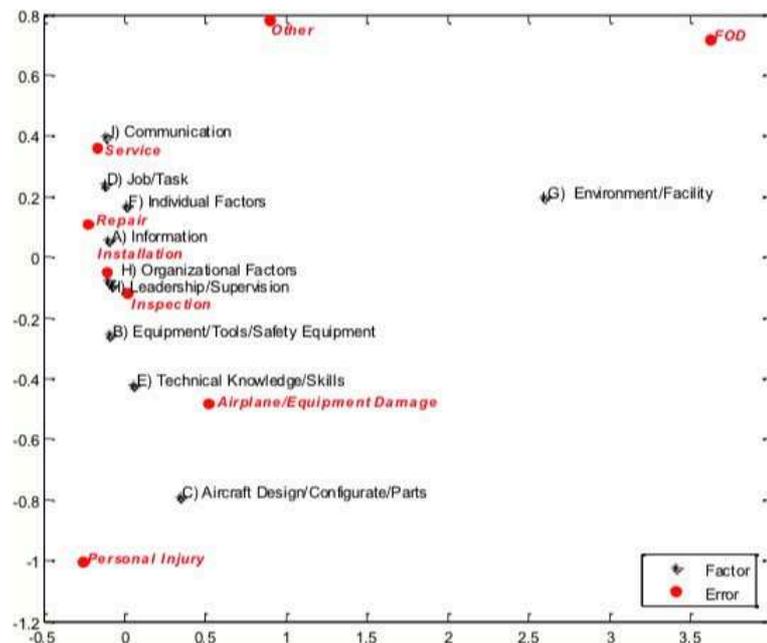


Figura 4 - Fatores contribuintes e os erros de manutenção (BAO E DING, 2013)

No gráfico acima é possível observar que os itens em vermelho são os erros relacionados a manutenção, e os em preto as causas. A proximidade do ponto (0,0) representa maior frequência de ocorrência de um erro, e a proximidade entre erro, e causa representa que existe a relação de causa e efeito.

Prosseguindo com a interpretação dos resultados, é possível notar que instalação e inspeção, como estão mais próximos do ponto (0,0) representam o tipo de erros mais frequentes. Conforme pode ser visto no gráfico, estes erros estão fortemente relacionados com erros de fatores organizacionais (H), e supervisão/liderança (I). Similarmente, erros relacionados com reparos efetuados estão relacionados com informação (A) e fatores ligados ao indivíduo realizando a tarefa (F).

Os autores concluem que erros devido a fatores humanos são maioria quando se trata de acidentes relacionados a manutenção e que erros gerenciais podem afetar a performance individual de um mecânico. Sendo assim é importante ter jornadas de trabalho bem planejadas, supervisão de qualidade, comunicação eficiente e

processos de manutenção bem definidos.

2.2 FATORES HUMANOS

Todos os seres humanos estão sujeitos a cometer erros devido à natureza e comportamento nem sempre racional do indivíduo. Porém, apesar de os motivos que podem levar ao erro humano serem infinitos é possível tentar prever, identificar e controlar alguns cenários. O fator humano envolve variáveis que influenciam o desempenho individual e variáveis que influenciam o desempenho de uma equipe.

Erro humano é definido por Reason(1997) como sendo a falha de ações planejadas para atingir um certo objetivo sem que um evento não previsível ocorra.

Os erros humanos podem ser estudados sob duas perspectivas: aproximação pessoal e aproximação do sistema, cada qual possuindo um modelo próprio de causa dos erros (REASON, 2000).

A aproximação pessoal foca em ações como esquecimentos, desatenção, baixa motivação, negligência, imprudência, etc. As medidas preventivas para este caso são dirigidas na restrição de variabilidade do comportamento humano.

O modelo mais conhecido no mercado da aviação que serve como orientação para a compreensão de Fatores Humanos é o Modelo de James Reason (2000), também conhecido como o Modelo do Queijo Suíço. Este modelo se baseia em duas premissas: (1) que camadas defensivas tem a função de proteger vítimas e o patrimônio de qualquer perigo (2) que maioria das defesas, barreiras e salvaguardas funcionam bem, mas sempre existem fraquezas. Sistemas de alta tecnologia têm muitas camadas defensivas, tais como alarmes, barreiras físicas, e outras defesas são os indivíduos (pessoais) (pilotos, operadores, mecânico) e ainda algumas outras dependem de procedimentos, e controles administrativos.

No modelo de James Reason (2000), cada barreira deveria estar íntegra,

porém, ocasionalmente devido há alguma falha do sistema elas são cheias de buracos(fraquezas). Estes buracos estão sempre abrindo e fechando em diferentes momentos. Teoricamente, buracos em uma só barreira são inofensivos, mas quando buracos de diferentes barreiras de proteção se alinham que a falha ocorre. A figura 5 ilustra a teoria do queijo suíço elaborada por James Reason (2000).

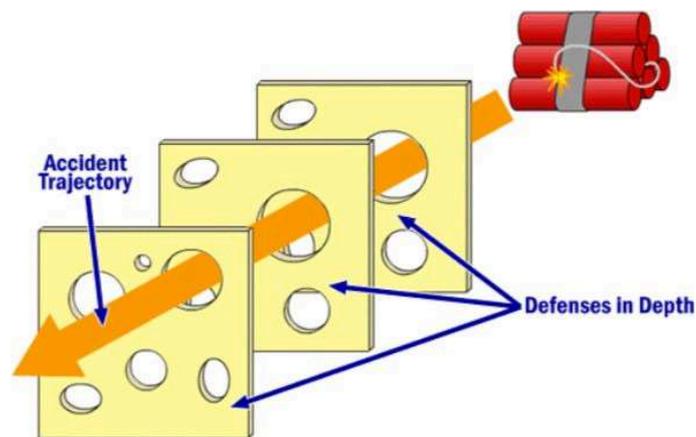


Figura 5 - Teoria do queijo suíço (REASON, 2000)

Os buracos nas defesas se alinham por duas razões: falhas ativas e condições latentes. As falhas ativas são representadas pelos atos inseguros cometidos pelas pessoas que estão em contato direto com o sistema, podendo assumir diferentes formas: deslizos, lapsos, perdas, erros e violações de procedimentos. As condições latentes são representadas pelas patologias intrínsecas do sistema, e surgem a partir de decisões dos projetistas, construtores, elaboradores de procedimentos e do nível gerencial mais alto. As condições latentes, como o nome sugere, podem permanecer dormentes no sistema por anos antes que se combinem com as falhas ativas provocando acidentes. As falhas ativas não podem ser previstas facilmente, mas as condições latentes podem ser identificadas e corrigidas antes de um evento adverso. (REASON, 2000)

Gerenciar os fatores de risco humanos nunca será 100% efetivo. Os erros humanos podem ser controlados, mas nunca eliminados. O processo de gerenciamento do erro é tão importante quanto o próprio produto ou serviço

considerado. Diferentes tipos de erros com variados mecanismos de sustentação ocorrem nas organizações e requerem métodos de gerenciamento específicos. O grande desafio é o de propiciar condições para que sejam eliminadas as condições que potencializam os erros, aumentando as chances de detecção e de recuperação das falhas humanas que inevitavelmente ocorrerão. (Reason, 2002)

O erro humano é, de longe, a causa mais ligada aos acidentes e incidentes nos sistemas complexos, tais como, o transporte aéreo. Os acidentes, em sua maior parte, entre os acidentes de transporte de jato, têm como base principal a falha humana, com um índice de 65%. Para a fase de voo de aproximação e de aterrissagem, que conta com 4% do tempo total de exposição e 49% de todos os acidentes, o erro da tripulação de voo é citado em 80% como fator causal. Outras fontes de erro humano, incluindo a manutenção, o despacho, o controle de tráfego aéreo, são, igualmente importantes, e levados em conta como uma proporção significativa de tais acidentes. Estudos indicam que, entre 80 e 90% de todos os acidentes, são atribuíveis ao erro humano, de uma forma ou de outra. (Manual do Facilitador em CRM, ANAC).

Em termos trágicos de perda de vidas humanas, esses acidentes têm sido responsáveis por muitas mortes. Deve-se, ainda, ter em mente que os acidentes dos transportes aéreos comerciais são somente a ponta do iceberg; a aviação geral, sozinha, nos países principais da aviação, sofrem cerca de 3000 acidentes e 1000 fatalidades, a cada ano. Está claro, através desses dados, que o desempenho humano é crítico e um assunto sério em a operação e a supervisão na aviação. O desenvolvimento de soluções para aqueles problemas de longa duração e perplexidade dos problemas de Fatores Humanos é essencial. (Manual do Facilitador em CRM, ANAC).

2.3 METODOLOGIA FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (FMEA)

A *Failure Mode and Effects Analysis* ou em português Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos é uma das primeiras técnicas estruturadas e sistemáticas de análise de falha desenvolvida.

A técnica foi desenvolvida na década de 50 para estudar problemas de funcionamento nos sistemas militares. O FMEA tem como objetivo identificar potenciais modos de falha de um produto ou processo de forma a avaliar o risco associado aos modos de falhas, para que sejam classificados em termos de importância e receber ações corretivas para diminuir a incidência de falhas. (SILVERA, 2012)

É um método que pode ser utilizado em diferentes áreas tais como: projetos, processos, manutenção, confiabilidade, etc.

Os principais tipos de FMEA são: de produto, de processos, de sistema, e de serviço.

Primeiramente é identificado as possíveis falhas, causas e efeitos derivados da falha. Em seguida é analisado o risco de cada falha para então avaliar quais ações corretivas podem ser aplicadas para minimizar os riscos.

Para poder desenvolver o processo FMEA é necessário definir os critérios de ocorrência, severidade, e tolerabilidade. É importante em um estudo de caso que os valores estabelecidos aos critérios utilizados sejam relevantes ao universo da investigação.

Nesse estudo de caso, foram utilizados os critérios estabelecidos Instrução Suplementar no. 145.214-001 elaborada pela ANAC e publicada em junho de 2018. Essa instrução suplementar teve seus critérios baseados no *Safety Management Manual* (SMM) de 2013 elaborado pela *International Civil Aviation Organization* (ICAO). O objetivo dessa IS é detalhar critérios e recomendações a serem utilizados como métodos aceitáveis de cumprimento de requisitos constantes do RBAC 145 relativos ao estabelecimento, implementação e manutenção do Sistema de

Gerenciamento da Segurança Operacional - SGSO das Organizações de Manutenção de Produto Aeronáutico.

Primeiramente é necessário encontrar o valor de ocorrência da falha, consultando a tabela 1 mostrada abaixo.

Tabela 1 - Classificação e critério para determinação de ocorrência de falha (INSTRUÇÃO SUPLEMENTAR - ANAC, 2018)

CLASSIFICAÇÃO	CRITÉRIO	VALOR
RARO	Apenas uma ocorrência em 10 anos, em circunstâncias muito particulares	1
IMPROVÁVEL	Ocorre uma vez em cada 6-9 anos	2
PROVÁVEL	Ocorre uma vez em cada 2-5 anos	3
OCASIONAL	Ocorre de 1 a 3 vezes ao ano	4
FREQUENTE	Ocorre rotineiramente, em diversas circunstâncias	5

Uma vez obtido o valor de ocorrência devemos obter o valor de severidade ou gravidade da falha e seu respectivo efeito. A tabela 2 abaixo contém a classificação de severidade.

Tabela 2 - Classificação e Critério para determinação de severidade (INSTRUÇÃO SUPLEMENTAR - ANAC, 2018)

CLASSIFICAÇÃO	CRITÉRIO	VALOR
CATASTRÓFICO	Ocorrência de: acidente de pelo menos uma aeronave resultando em pelo menos uma fatalidade com fatores contribuintes incluindo realização de serviços de manutenção inadequados; perda total de equipamentos ou instalações da organização independente dos valores; perda total de bens de terceiros independente dos valores; impactos ambientais de larga escala ou de grande repercussão; sanções	E

	administrativas pela ANAC, envolvendo pessoal habilitado da oficina ou seus responsáveis (GR ou RT); suspensão do certificado pela ANAC; processos/ações judiciais; condenações penais; danos à imagem/credibilidade da organização; críticas pelos meios de comunicação; impactos políticos de alto nível.	
MAIOR	Ocorrência de: acidente de pelo menos uma aeronave com fatores contribuintes incluindo realização de serviços de manutenção inadequados; lesões graves a qualquer pessoa; graves danos aos equipamentos ou instalações da organização ou de terceiros; graves impactos ambientais; autuações pela ANAC, envolvendo pessoal habilitado da oficina ou seus responsáveis (GR ou RT); reincidência	D
CRÍTICO	Ocorrência de: dificuldades em serviço em aeronaves de mais de um operador atribuídas como consequência de serviços de manutenção inadequados; lesões moderadas a qualquer pessoa; danos materiais aos equipamentos ou instalações da organização ou de terceiros; várias denúncias contra a oficina; múltiplas autuações pela ANAC.	C
SIGNIFICATIVO	Ocorrência de: dificuldades em serviço em mais de uma aeronave de um mesmo operador atribuídas como consequência de serviços de manutenção inadequados; lesões a qualquer pessoa, e que requeiram primeiros socorros; danos materiais de baixo valor aos equipamentos ou instalações da organização ou de terceiros; pelo menos uma denúncia contra a oficina; pelo menos uma autuação pela ANAC.	B
MENOR	Ocorrência de: pelo menos uma dificuldade em serviço em uma aeronave de um operador atribuída aos serviços de manutenção inadequados realizados; não há lesões a qualquer pessoa ou danos materiais significativos.	A

Após a análise do risco em termos de probabilidade e de severidade, o terceiro passo do processo de gerenciamento de riscos é avaliar se o risco é

aceitável, tolerável ou intolerável. Assim, a tolerabilidade do risco é obtida por uma concatenação entre a probabilidade e a severidade do risco. A Tabela 3 mostra como se dá a construção da tolerabilidade do risco dentro da matriz de avaliação de riscos.

Tabela 3 - Matriz de avaliação de Risco (INSTRUÇÃO SUPLEMENTAR - ANAC, 2018)

PROBILIDADE DO RISCO	SEVERIDADE DO RISCO				
	CATASTRÓFICA	CRÍTICA	SIGNIFICATIVA	PEQUENA	INSIGNIFICATIVA
	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)
FREQUENTE (5)	5A	5B	5C	5D	5E
OCASIONAL (4)	4A	4B	4C	4D	4E
REMOTA (3)	3A	3B	3C	3D	3E
IMPROVÁVEL (2)	2A	2B	2C	2D	2E
EXTREMAMENTE IMPROVÁVEL (1)	1A	1B	1C	1D	1E

Os níveis de risco (tolerabilidade) são associados a cores, sendo os de cor vermelha considerados de nível extremo, em laranja classificado como risco elevado, em amarelo risco com nível moderado e em verde risco aceitável. Os riscos em vermelhos são intoleráveis e devem ser resolvidos imediatamente (até 24 horas). Os riscos em laranja são os toleráveis com mitigação de curto prazo, deve-se elaborar um plano de ação em até 48 horas. Em amarelo são os riscos toleráveis com mitigação de médio prazo, necessitando de plano de ação em até 120 horas. Os riscos em verde são aceitáveis no processo.

O gerenciamento de riscos deve ser tal que os riscos sejam controlados a um nível tão baixo quanto seja racionalmente praticável. Na literatura, este nível de risco é conhecido como ALARP (*As Low as Reasonably Practicable*). A redução da tolerabilidade é feita por meio da redução de sua probabilidade ou da sua severidade através de medidas previamente planejadas com o objetivo de mitigar os riscos. (ICAO, 2013)

O FMEA nos mostra que podemos sim correr riscos calculados, desde que saibamos quais são estes riscos e estejamos dando prioridade a riscos mais importantes.

Devemos ficar sempre atentos no fato de que um risco baixo pode setornar alto caso não seja monitorado corretamente. Já um risco considerado alto, pode vir a ser menos prioritário com o passar do tempo. Por este motivo é importante que todos os modos de falha sejam listados e monitorados constantemente. O formulário deve sofrer atualizações constantes e as ações revisadas com o tempo.

Como resultado, a FMEA impacta diretamente no retorno financeiro da empresa que reduz ou elimina falhas e desenvolve ações e procedimentos para lidar com os riscos.

Do ponto de vista dos funcionários que trabalham na empresa, como a FMEA é uma ferramenta que estimula o trabalho em equipe, ela possibilita ganhos motivacionais obtidos a partir da colaboração e o comprometimento das pessoas, que, juntas podem desenvolver uma atividade em prol do futuro da organização e de si mesmas. (SILVEIRA, 2012)

2.4 EMPRESAS DE MANUTENÇÃO – RBAC 145

Conforme dito anteriormente, a indústria aeronáutica é mundialmente reconhecida por sua preocupação com a segurança. Todos os ramos desta indústria

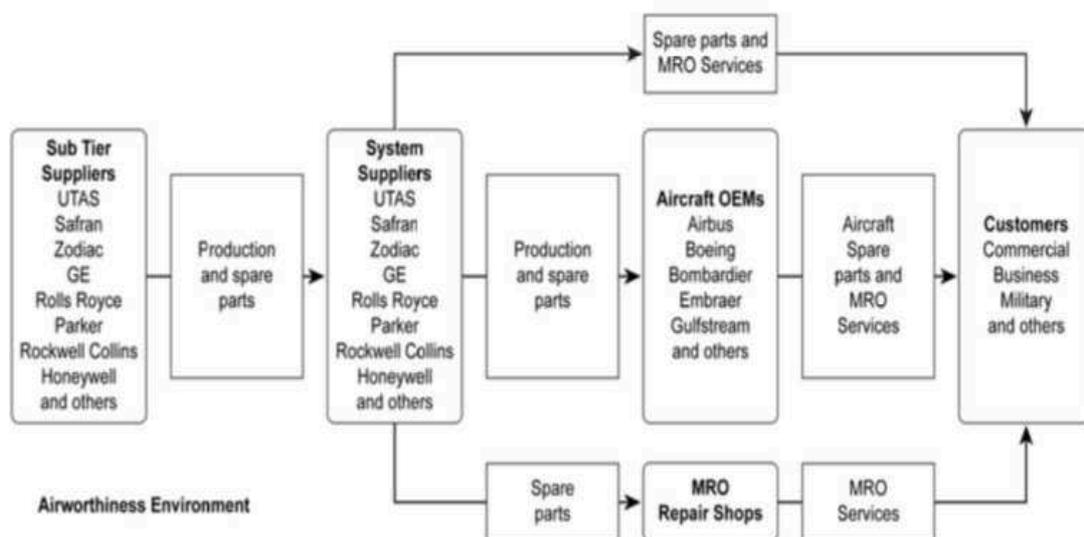
são constantemente cobrados para que seja assegurado que os serviços estejam sendo realizados com os mais altos padrões de qualidade e tecnologia. Em um destes ramos se encontram as oficinas de manutenção e revisão de componentes aeronáuticos (*MROs - Maintenance, Repair and Overhaul*), elo vital na corrente de garantia de segurança de voo. De acordo com Vieira e Loures (2016), o custo de manutenção representa entre 12-15% do custo de operação de uma linha área. O mercado de manutenção movimenta algo em torno de US\$ 50 bilhões, e empresa cerca de 480 mil pessoas no mundo inteiro.

A indústria aeronáutica é conhecida pela alta complexidade e pelos riscos à segurança associadas as suas atividades. Por este motivo, o controle de qualidade e a prevenção de falhas aplicados em todos os diferentes processos devem ser robustos. O setor, em larga expansão requer cada vez mais o domínio sobre todos os parâmetros que assegurem qualidade. De acordo com o CENIPA (Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes) existem mais de quatrocentas empresas de manutenção homologadas pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) no Brasil com a responsabilidade de fazer o retorno ao serviço de todo material aeronáutico que requeira reparo ou manutenção. (CRUZ, 2016)

As oficinas de manutenção são responsáveis pela manutenção de componentes individuais instalados em aeronaves, tais como geradores elétricos, bombas, válvulas, atuadores, entre outros. Todas estas oficinas necessitam ser homologadas pela agência reguladora apropriada do país de operação da mesma, de acordo com regulamento padrão 145.

No Brasil, esta homologação é feita pela ANAC, através de auditorias anuais que conferem que a oficina revisora está dentro dos padrões do regulamento RBAC-145.

A figura 6 abaixo dos autores Vieira e Loures (2016) mostra um organograma de como funciona o mercado de manutenção aeronáutica envolvendo os grandes fabricantes/fornecedores, os operadores, e as oficinas terceirizadas para manutenção.



**Figura 6 - Fluxograma de serviços de MRO na indústria aeronáutica
(VIEIRA E LOURES, 2016)**

Para atender os requisitos da ANAC, um dos documentos mais importantes que a empresa deve desenvolver é o Manual da Organização de Manutenção (MOM). O objetivo do MOM é o de estabelecer políticas, procedimentos e critérios técnicos para o desenvolvimento seguro eficaz e eficiente das tarefas de manutenção dos componentes, manutenção preventiva, modificações, reparos e inspeções em produtos aeronáuticos de nossos clientes de forma a assegurar total conformidade do manual com a legislação vigente, amparado dos regulamentos e dados técnicos aprovados pela ANAC, assim como as informações emitidas pelos fabricantes que incluem (dados técnicos): desenhos técnicos, cartas de serviços, boletins de serviço, entre outros dados aprovados pelos fabricantes. Junto ao MOM, outro documento importante a ser apresentada para a ANAC é a lista de capacidade da empresa. Nesse documento constam todos os *part numbers*, nomenclatura, fabricante e escopo de serviço que a empresa está autorizada a emitir o *seg-voo* de liberação do item.

Existem diversos níveis de manutenção previstos para os componentes aeronáuticos, dependendo do grau de risco que esse componente tem para a operação de uma aeronave. Todos os procedimentos de manutenção estão descritos no manual de manutenção do componente e denominado de *Component Maintenance Manual* (CMM) ou no manual de operação e manutenção de aeronave. Os componentes aeronáuticos que são controlados por hora de voo, como por exemplo, geradores de arranque e pás de hélice têm seu histórico e programação de manutenção controlado pelos índices de TSN/TSO (*TIME SINCE NEW/TIME SINCE OVERHAUL*). Componentes que são controlados por ciclo, como rodas e trem de pouso tem seu histórico e programação de manutenção controlado pelos índices de CSN/CSO (*CYCLES SINCE NEW/CYCLES SINCE OVERHAUL*). O fabricante de cada item determina com qual frequência (tempo ou ciclos) o componente deve sofrer uma revisão geral, zerando seu índice de TSO ou CSO, configurando, portanto, uma manutenção preventiva. Porém, durante a operação é possível que o componente sofra alguma pane, e precise ser reparado. Esse caso, como o TSO/CSO não é zerado é denominado de manutenção corretiva. É importante ressaltar que o TSN/CSN de um item nunca é zerado, apenas acumulado. Alguns fabricantes limitam a vida útil do componente mesmo que sofra manutenções periódicas corretamente.

A manutenção de um componente consiste em alguns passos específicos listados abaixo, aplicados para qualquer categoria de item (elétrico, eletrônico, mecânico, hidráulico, etc.):

- 1) Inspeção de recebimento e abertura de ordem de serviço
- 2) Teste Preliminar
- 3) Desmontagem
- 4) Limpeza
- 5) Inspeção do componente e de suas peças internas (visual, dimensional, não destrutiva)
- 6) Requisição/separação de peças para efetuar o serviço requerido pelo cliente
- 7) Montagem

- 8) Teste Final
- 9) Emissão de documentação de liberação do item (seg-vo0)
- 10) Embalagem

É importante que os processos envolvidos em cada etapa de manutenção estejam bem definidos para minimizar a possibilidade de erros críticos a segurança de operação de um componente. Assim como é importante constantemente realizar treinamentos com os funcionários envolvidos nas etapas de manutenção para reforçar a importância de seguir procedimentos e instruções.

A partir dos conceitos e metodologia discutidos extensamente no capítulo de revisão bibliográfica, foi possível desenvolver o estudo de caso apresentado no decorrer deste trabalho.

3. ESTUDO DE CASO

Conforme já apresentado no item 1.3 sobre a metodologia do presente trabalho, o estudo de caso foi escolhido como sendo o método de pesquisa. Assim, o estudo de caso se caracterizou por três fases distintas: ambientação, coleta de dados e análise.

A fase de ambientação caracterizou-se pelo contato inicial da pesquisadora com os elementos que seriam estudados e decisão do escopo do estudo de caso. Esta fase se deu de forma interessante pois a pesquisadora estava diretamente envolvida, nas atribuições de sua profissão, com o processo de reparo da empresa estudada.

A segunda fase, de coleta de dados, se constitui do ajuntamento de informações pertinentes à pesquisa através das diversas técnicas necessárias e aplicadas. Esta fase foi constituída de diversos métodos de coleta de informação que proporcionaram todos os dados necessários para o avanço à próxima fase do estudo. Este é um ponto interessante sobre a eficácia do modelo estudo de caso, pois permite que a pesquisadora continue buscando a coleta de dados, em diferentes formas, até que sejam atingidas todas as respostas e interpretações necessárias (GHAURI, 2004).

Foi necessária uma pesquisa na fase de coleta de dados para que se obtivessem maiores informações sobre o caso analisado.

A utilização mais importante desta pesquisa é feita para corroborar e chancelar as evidências coletadas em outras fontes (YIN, 2002). Além disto, devido ao seu posto dentro da empresa brasileira, a pesquisadora foi autorizada a obter dados sobre os recentes resultados dos serviços. Isto permitiu uma análise dos resultados obtidos.

Nessa fase foram identificados os perigos e cenários associados priorizando o nível do risco, usando a avaliação de dados e julgamentos (LUIZ ET AL., 2016).

Por último, partiu-se para a fase de análise. Nesta fase, foi necessário um agrupamento de todos os dados coletados como forma de organização do objeto de estudo. Muito importante, conforme dito por Ghauri (2004), é a união entre as fases de coleta de dados e análise dos mesmos. A melhor prática é a realização da análise da maneira mais conjunta possível com a coleta de dados, permitindo assim que as

conclusões sejam atingidas gradualmente com o crescimento da quantidade de informações agrupadas. Na fase de análise, foi efetuada uma avaliação dos riscos. Nessa avaliação as causas e consequências dos cenários mais críticos, identificados na etapa de coleta de dados. Na fase de análise também foram consideradas opções para controle de risco e elaboradas recomendações para serem implementadas na empresa.

3.2 FASE 2: COLETA DE DADOS

A fase de coleta de dados consistiu em efetuar a pergunta *What If* para identificar os possíveis perigos relacionados a prática de manutenção adotada pela empresa para desenvolver a análise preliminar de riscos. O *What If* é uma ferramenta qualitativa comumente utilizada na primeira abordagem de identificação de riscos. Foi partir desta ferramenta que foi desenvolvida a primeira etapa da coleta de dados. Foi também realizada a FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) para elaborar uma matriz de criticidade, de severidade e tolerabilidade de risco. Nesse estudo de caso a etapa de coleta de dados foi elaborada por um grupo diretamente envolvido nos processos da empresa, sendo eles:

- Responsável técnico;
- Gerente de qualidade;
- Gerente de manutenção;
- Engenheiro de produção;
- Inspetor de aviãoico;
- Inspetor de célula;
- Inspetor de testes;

A análise dos cenários que podem resultar no evento não desejado, tanto

daqueles causados por falhas de componentes como das operações humanas, foi realizada de forma conjugada. Nesta etapa do trabalho, elegeram-se, a partir da ferramenta *What If*, os modos de falhas mais críticos, ou seja, aqueles que apresentavam maior probabilidade de ocorrência e de severidade.

A partir das reuniões realizadas com o grupo mencionado acima, foram identificadas três etapas de manutenção nas quais falhas podem causar eventos não desejados mais críticos: inspeção, reparo/montagem, e teste em bancada. É importante ressaltar que foram identificados fatores humanos que podem causar falhas no sistema no qual estão inseridos. Com essas etapas definidas, foram definidos os efeitos indesejáveis de potenciais falhas:

- Desbalanceamento de um sistema rotativo, causando a falha/quebra de um componente
- Falha de um componente (em bancada de teste ou em voo) devido a falha de uma subparte.
- Diminuição do ciclo de reparo de um componente devido a processos de reparo não conformes.

Foi então desenvolvido uma FMEA, cujos resultados estão apresentados na tabela 4 abaixo:

Tabela 4 - Resultados da FMEA (Fonte: Autor)

ETAPA	MODO DE FALHA	EFEITO DA POTENCIAL FALHA
INSPEÇÃO	Aprovar subparte com desgaste excessivo	Folga da sub-parte, causando desbalanceamento do conjunto e possível falha prematura do componente
	Aprovar subparte sem efetuar ensaios não-destrutivos previstos	Falha da sub-parte, causando falha prematura do componente
	Aprovar subparte com corrosão excessiva	Falha da sub-parte, causando falha prematura do componente
REPARO/ MONTAGEM	Permanência de um FOD no interior do componente	Quebra do componente durante o teste final em bancada
	Utilizar procedimentos não previstos pelo CMM	Desgaste prematuro das sub-partes, causando falha prematura do componente
	Utilizar sub-partes não originais	Desgaste prematuro das sub-partes, causando falha prematura do componente
	Não observação da validade de calibração de ferramentas	Medição de grandezas com valores errados, causando falha prematura do componente

	Não observação da validade de produto consumável	Utilização de produtos com características diferentes das previstas pelo fabricante podendo causar falha do componente
TESTE EM BANCADA	Utilizar procedimentos não previstos pelo CMM	Causar falha no componente na bancada de teste por funcionamento indevido
	Não realizar todos os testes previstos	Falha do componente em voo

3.3 FASE 3: ANÁLISE

Com base nas informações obtidas na etapa de coleta de dados, foi possível desenvolver uma matriz de criticidade dos potenciais modos de falhas, apresentando os níveis de riscos associado à ocorrência de danos críticos. Para o desenvolvimento da matriz de criticidade, foi considerado o grau de severidade de cada falha e qual o efeito que a mesma poderia ter para segurança de voo. Utilizando os parâmetros descritos no item 2.3 para determinação do valor de ocorrência, severidade e tolerabilidade da falha, foi calculado um risco associado a cada modo de falha. Os resultados encontrados são apresentados na tabela 5 abaixo:

Tabela 5 - Matriz de Risco (Fonte: Autor)

MODO DE FALHA	EFEITO DA POTENCIAL FALHA	OCORRÊNCIA	SEVERIDADE	TOLERABILIDADE
Aprovar subparte com desgaste excessivo	Folga da sub-parte, causando desbalanceamento do conjunto e possível falha prematura do componente	4	A	4A
Aprovar subparte sem efetuar ensaios não-destrutivos previstos	Falha da sub-parte, causando falha prematura do componente	4	A	4A
Aprovar subparte com corrosão excessiva	Falha da sub-parte, causando falha prematura do componente	2	B	2B
Permanência de um FO no interior do componente	Falha do componente durante o teste final em bancada	3	A	3A
Utilizar procedimentos não previstos pelo CMM (Reparo)	Desgaste prematuro das sub-partes, causando falha prematura do componente	4	B	4B
Utilizar sub-partes não originais	Desgaste prematuro das sub-partes, causando falha prematura do componente	2	B	2B

Não observação da validade de calibração de ferramentas	Medição de grandezas com valores errados, causando falha prematura do componente	5	B	4B
Não observação da validade de produto consumável	Utilização de produtos com características diferentes das previstas pelo fabricante podendo causar falha do componente	5	B	4B
Utilizar procedimentos não previstos pelo CMM (Testes)	Causar falha no componente na bancada de teste por funcionamento indevido	5	A	5A
Não realizar todos os testes previstos	Falha do componente em voo	3	B	3B

É importante ressaltar que a etapa aonde cada falha pode ocorrer, assim como a gravidade da falha afetam diretamente o risco associado calculado. Após a elaboração da matriz de risco foi efetuada uma análise detalhada de cada evento que teve um risco elevado associado para se entender melhor como esse processo ocorre, constatou-se que:

- **Etapa de inspeção e/ou reparo e montagem - Utilizar procedimentos não previstos pelo CMM:** Esta etapa pode contribuir para um evento não desejado, pois vai de desacordo com as instruções de manutenção previstas pelo fabricante do componente. Pode-se considerar um procedimento não previsto efetuar uma etapa diferentemente de como foi indicado pelo fabricante, ou mesmo, não efetuar uma etapa prevista a ser realizada. Esse modo de falha pode acarretar em aprovar uma subparte que está fora dos padrões de aceitação, utilizar uma ferramenta incorreta na montagem, ou até efetuar a montagem incorretamente. Outro ponto é que como as instruções de manutenção são geralmente em língua inglesa, é comum que interpretações incorretas do CMM gerem manutenções de maneira incorreta. Nessa etapa é importante a presença de um inspetor de oficina, supervisionado a manutenção sendo realizada para garantir que todos os procedimentos estão sendo seguidos de forma correta.
- **Etapa de inspeção e/ou reparo e montagem–Não observação de validade de calibração de ferramentas:** Na indústria aeronáutica todas as ferramentas de

medição de grandezas físicas necessitam ser calibradas periodicamente para garantir a precisão das medições. As ferramentas são utilizadas tanto para efetuar inspeções dimensionais (paquímetro, micrômetro, etc.) para avaliar se peças internas estão com desgaste, tanto para efetuar montagens (torquímetro). Utilizando o caso do torquímetro como exemplo, um torque de parafusos efetuado por uma ferramenta descalibrada pode ocasionar em dois cenários: (1) torque excessivo – sobrecarregando os parafusos e causando uma eventual falha; (2) torque inferior ao previsto – deixando a estrutura sem a fixação necessária causando uma possível desmontagem indesejada.

- **Etapa de reparo e montagem – Não observação de validade de um produto consumável:** A grande maioria dos produtos consumáveis utilizados durante o processo de manutenção (selantes, tintas, álcool, *primers*, etc.) é controlado com data de validade garantindo que se utilizado no prazo de validade o produto mantém suas características física/químicas de fábrica. A utilização de um produto fora da validade pode causar uma falha imediata ou em pior cenário uma falha latente que só será detectada com o tempo. Por exemplo, selantes fora da validade tem as propriedades químicas alteradas fazendo com que não curem totalmente e podendo ocasionar em vazamento de combustível caso utilizados em tanques.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Concluída a etapa de avaliação dos riscos e da tolerabilidade, a etapa seguinte consiste em avaliar as defesas e controles preexistentes na organização para mitigar os riscos iniciais em consideração. A mitigação dos riscos depende da suficiência e eficácia dos mecanismos de intervenção (defesas e controles) dos quais a organização dispõe para reduzir a probabilidade e/ou a severidade dos riscos inicialmente considerados inaceitáveis aos níveis toleráveis ou aceitáveis, conforme requerido. (ANAC, 2018)

O processo de manutenção de componentes aeronáuticos tem pouco espaço para erros já que as consequências podem ser gravíssimas. Pode-se observar que a maioria dos modos de falha ocorreram uma vez por ano ou uma vez por semestre, mostrando que apesar de possíveis de ocorrerem são eventuais e em situações isoladas. O poder de detecção das falhas ainda em bancada, ou durante o teste de liberação do item também diminui consideravelmente o risco associado ao modo de falha.

A partir da matriz de avaliação de risco apresentada acima, e de diversas reuniões com o grupo diretamente envolvido com o processo de manutenção dos componentes foi possível identificar as causas raiz associadas a cada modo de falha e então implementar melhorias para reduzir esses riscos da operação. As melhorias implementadas não garantem totalmente a eliminação do risco, mas reduzem a possibilidade de ocorrência. Para cada modo de falha, foram implementadas ações de controle de risco, apresentadas detalhadamente a seguir.

- **Aprovação de subparte com desgaste excessivo:** Foi descoberto, no processo de observação, que esse modo de falha ocorre muitas vezes por dificuldade de interpretação do CMM, ou então de desenhos técnicos. Para minimizar esse modo de falha, foram desenvolvidas fichas de inspeção de componentes, conforme Figura 7. As fichas incluem um passo-a-passo de todas as subpartes que devem

sofrer inspeção dimensional. Além de garantir que todas as inspeções dimensionais sejam efetuadas, a ficha cria um registro permanente de rastreabilidade das dimensões encontradas. No momento de abertura da Ordem de Serviço do item, a ficha é anexada a documentação. Após o fim da inspeção efetuada pelo mecânico responsável, o inspetor deverá verificar se todos os campos foram preenchidos corretamente.

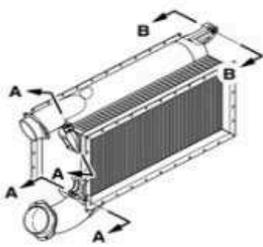
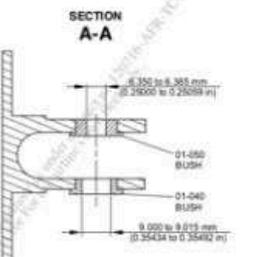
ITEM	TESTE	CRITÉRIO DE APROVAÇÃO	RESULTADO OBTIDO	EXECUTADO POR
1	Utilizando um micrômetro faça as medidas abaixo usando a figura abaixo para localizar a bucha correta a ser medida. 	N/A	N/A	
2	Fazer a medição das buchas abaixo (ITEM 1-050 e ITEM 1-040) e registrar o valor encontrado. 	<p><u>BUCHA ITEM 1-050</u></p> $6.350 \leq D \leq 6.365 \text{ mm}$	<p><u>BUCHA ITEM 1-050:</u></p> D = _____ mm	
		<p><u>BUCHA ITEM 1-040</u></p> $9.000 \leq D \leq 9.015 \text{ mm}$	<p><u>BUCHA ITEM 1-040:</u></p> D = _____ mm	

Figura 7 - Exemplo de ficha de inspeção dimensional (Fonte: Autor)

- **Aprovação de subparte sem efetuar os ensaios não destrutivos (END) previstos:** Similar ao modo de falha anterior, esse modo de falha ocorre em grande parte por falta de leitura completa do CMM. Como os ensaios não destrutivos são efetuados em setor dedicado apenas para esse fim, é importante que os mecânicos separem as peças a serem inspecionadas, e instruem o inspetor de END sobre qual ensaio deverá ser realizado em cada peça. Nessa etapa, é importante que todas as peças estejam corretamente identificadas, conforme Figura 9, para que não seja efetuado o ensaio incorreto na peça. Para esse modo de falha foram implementadas duas ações. Primeiramente foi desenvolvida uma ficha de END,

conforme Figura 8, com todas as peças que devem ser ensaiadas, com qual tipo de ensaio a ser realizado, e espaço para indicar se a peça foi aprovada ou reprovada. Na tabela abaixo L.P representa o ensaio de Líquido Penetrante e M.P o ensaio de partícula magnética. Dois dos ensaios mais comuns no universo dos ensaios não-destrutivos. Assim como foi dito anteriormente, essa ficha cria um registro de rastreabilidade das subpartes do componente em reparo.

FIG	ITEM	Qty.	P/N	DESCRIPTION	S/N	L.P	M.P	RESULTS
2	20	01	D60965	ARM UPPER	MN367	-	X	
2	80	01	D62074	ARM LOWER	MN317	-	X	
2	160	01	D61061	PIN	08MN137	-	X	
2	240	01	D61065	PIN	93606	-	X	
2	280	01	D61072	PIN	ISS 05 MN924148	-	X	
3	310	01	D61073	ARM LOWER	MN353	X	-	
3	20	01	D61074	ARM UPPER	MN317	-	X	
3	80	01	D61078	PIN	MN918126	-	X	
3	430	01	D61084	PIN	12919	-	X	
3	640	01	D61085	PIN	MN350	-	X	
3	580	01	D61087	SUPPORT	---	X	-	
3	490	01	D61088	SUPPORT	---	X	-	

OBSERVATIONS:

Figura 8 - Exemplo de ficha de inspeção de END (Fonte: Autor)

Além da ficha, foi desenvolvido um procedimento para que todas as peças a serem ensaiadas, fossem identificadas corretamente, com nomenclatura, *part number*, fabricante, etc. Foi utilizada a mesma ficha que já existia para identificar os componentes na abertura da OS para facilitar a adaptação dos mecânicos e inspetores.



Figura 9 - Subparte identificada (Fonte: Autor)

- **Aprovação de subparte com corrosão excessiva:** Durante as reuniões com os mecânicos e os responsáveis pelo processo de manutenção do componente, foi constatado que muitas vezes uma peça com corrosão é aprovada pois não é possível visualizar a corrosão corretamente devido à sua dimensão reduzida. Pontos de corrosão geralmente são pequenos e concentrados, dificultando a visualização da sua extensão a olho nu. Para reduzir esse modo de falha foi disponibilizado uma lupa de bancada (Figura 10) com iluminação de LED para cada setor, aonde as peças devem ser inspecionadas antes da aprovação.



Figura 10 - Lupa de bancada (Fonte: Autor)

- **Permanência de um FO no interior do componente:** O conceito de *Foreign Objects* (FO) na manutenção e operação de aeronaves, é uma tendência que ganhou força nos últimos dez anos. Os FOs podem ser qualquer tipo de objeto como por exemplo limalha, arame de freio, barbante, etc. Caso um FO permaneça no interior do componente durante a montagem, o mesmo pode ocasionar em um dano interno quebrando o item. Um dano ocorrido devido a um FO é chamado de *Foreign Object Damage* (FOD). Foi detectado que a chance de ter um FO no interior de um componente aumenta significativamente quando a bancada de trabalho contém detritos proveniente de desmontagens de componente. Para esse modo de falha foram implementados recipientes de descarte de detritos em todos os setores. Em cada bancada de trabalho foi colocado um recipiente menor (figura 11) com apenas um furo na tampa superior, para descartar peças e detritos inutilizáveis. Foi também colocado em cada setor um container maior (figura 12) para esvaziar os recipientes menores de bancada ao fim do dia de trabalho. Junto a essas medidas foi realizado um treinamento intensivo para conscientizar os mecânicos e inspetores dos perigos de FOs e ações para minimizar esses riscos. Anualmente todos da empresa envolvidos na manutenção devem passar por uma reciclagem desse treinamento.



Figura 11 - Recipiente de bancada para descartar detritos (Fonte: Autor)



Figura 12 - Container maior para esvaziar os recipientes menores (Fonte: Autor)

- **Utilizar procedimentos não previstos no CMM:** Esse modo de falha é o que obteve maior risco associado calculado na matriz de risco apresentada anteriormente, portanto foi o que recebeu maior atenção na fase de implementação de medidas para diminuição de risco. Para minimizar a ocorrência desse modo de falha, além das fichas de inspeção dimensional e inspeção de ensaios não destrutivos foram desenvolvidas fichas de execução de serviço. As fichas de execução de serviço contêm as páginas do manual com as instruções a serem seguidas. A Figura 13 abaixo é a etapa de limpeza extraída de uma ficha de execução.

3. LIMPEZA / CLEANING

Executado de acordo com / executed according to:

CLEANING

- PAGE 401 – 402 - ITEM 1 - General de A a D (see Table 401)
- PAGE 402 – ITEM 2 – Cleaning Procedures de A a B.
- PAGE 402 – ITEM 2A – Seat and Filter (see IPL Figure 1 – item 155) de 1 a 3.
- PAGE 402 – ITEM 2B – Pull Solenoid (see IPL Figure 1 – item 15).

Técnico Responsável / Responsible Technician: _____

Assinatura / Signature: _____

Carimbo / Stamp: _____

Data / Date: _____

Se não executado, por favor explicar motivo abaixo / if not executed please explain reason below:

Figura 13 - Ficha de execução de serviço (Fonte: Autor)

Além da ficha de execução foram realizados diversos treinamentos com os mecânicos e inspetores para reafirmar a importância de seguir todos os procedimentos previstos pelo fabricante no manual de manutenção. Foram demonstrados os riscos associados ao não cumprimento das etapas corretamente. Para os inspetores foi reiterada a necessidade de estar sempre presente nas oficinas, supervisionando o trabalho dos mecânicos para garantir o cumprimento de todos os procedimentos do *CMM*.

- **Utilizar subpartes não originais nos reparos:** Durante as reuniões com os envolvidos no processo de manutenção foi detectado que esse modo de falha ocorre devido a erros no suprimento técnico e não por responsabilidade do mecânico

efetuando o reparo dos componentes. Quando um cliente aprova um orçamento, o suprimento técnico é informado para fazer a separação das peças que foram requisitadas para o reparo, e então entregam o kit de peças de reposição para o mecânico efetuar a manutenção. É também no suprimento técnico que é efetuada a inspeção de recebimento de subpartes adquiridas pelo setor de compras. Foi então criado um *checklist* a ser cumprido durante a inspeção de recebimento de subpartes. Uma das etapas do *checklist* inclui a conferência do *form* da peça. Todas as peças de reposição aeronáuticas devem possuir um FORM 8130 ou seg-voos emitido pelo fabricante da peça. Durante treinamento efetuado com os funcionários do suprimento foi instruído que caso uma peça não tivesse a documentação necessária, a mesma deveria ser segregada em quarentena até que a situação fosse resolvida. Caso confirmasse que a peça era não-conforme a mesma deverá ser descartada, e o *broker* responsável pela venda da peça deve ser eliminado dos fornecedores da empresa. O grande risco associado ao uso de peças não-originais se dá ao fato de que a falha que elas podem causar não é imediata e sim latente.

- **Não observação da validade de calibração de ferramentas:** Na indústria aeronáutica todas as ferramentas de medição de grandezas físicas necessitam ser calibradas periodicamente para garantir a precisão das medições. As ferramentas são utilizadas tanto para efetuar inspeções dimensionais, como nas montagens e também nos testes finais. Foi então contratado um funcionário especialista em metrologia para fazer o controle de calibrações dos equipamentos e implementar as ações propostas em reunião. A primeira etapa foi efetuar um inventário com todas as ferramentas calibráveis da empresa e exportar essa lista para uma planilha, incluindo informação de quando a mesma foi calibrada, qual o vencimento da calibração e o setor aonde se encontra a ferramenta. Essa planilha foi programada para indicar em cores a situação de calibração de cada ferramenta inventariada. A cor verde indica que a ferramenta está dentro do prazo de calibração, a cor amarela indica que falta menos de um mês para o vencimento da calibração, e vermelho indica ferramentas fora de calibração. Caso uma ferramenta apareça com o código vermelho, a mesma deve ser retirada de uso e segregada imediatamente. A planilha permite fazer uma verificação diária da situação das ferramentas, e programar o envio dos equipamentos para calibração sem afetar a operação da empresa.

Além da planilha, foram desenvolvidas etiquetas para serem coladas nos equipamentos para que o mecânico possa garantir que a mesma está dentro de calibração quando for utilizar a mesma. A figura 14 abaixo mostra uma etiqueta fixada em um manômetro de uma bancada de testes. A etiqueta contém informação de quando o equipamento foi calibrado e até quando a calibração está válida.



Figura 14 - Manômetro com etiqueta com informação de calibração (Fonte: Autor)

- **Não observação da validade de um produto consumável:** Similar ao modo de falha apresentado anteriormente, é de extrema importância que todos os produtos consumáveis estejam dentro da validade na data de uso. As ações para minimizar esse modo de falha foram divididas em dois procedimentos realizados pelo suprimento. Dentro do sistema de estoque já existente, foi desenvolvido uma maneira para verificar os itens que irão vencer em uma data desejada. A figura 15 abaixo mostra o resultado da pesquisa dos itens que vencem até 31/05/2019.

POR VENCIMENTO

Busca : 31/05/2019 dd/mm/aaaa

1 a 18 / 18

Lote	Pn	Nomenclatura	Caixa	Saldo	Data Fabricação	Data Vencimento
NA	732 INCOLOR			2	02/05/2018	02/05/2019
	PRETO CADILAC	TINTA	INFLAMAVEL	3	01/04/2016	01/04/2019
L37CAF3674	680 LOCTITE	LOCTITE	ALMOXARIFADO	1	31/03/2017	31/03/2019
	NAS1612-16A	PACKING		40	31/03/2004	31/03/2019
0009280528	MS29513-012	O-RING	A/06	43	31/03/2004	31/03/2019
8002575958	7011MT-952-T	O-RING	A-168	1	31/03/2009	31/03/2019
000115000	MS29513-012	O-RING	A/06	19	31/03/2004	31/03/2019
	MS29513-219	O-RING	A 2/09	70	31/03/2004	31/03/2019
	MS29513-121	O-RING	A-222	94	31/03/2004	31/03/2019
0001149882	MS29513-012	O-RING	A/06	18	31/03/2004	31/03/2019
80018349	271133	PACKING	A-126	54	31/03/2004	31/03/2019
	271128	PACKING	A-125	82	31/03/2004	31/03/2019

Figura 15 - Tabela com os itens por vencimento (Fonte: Autor)

Além do novo recurso do sistema de estoque, foi desenvolvida uma etiqueta para ser colada nos produtos para facilitar a visualização da data de validade do produto. Muitas vezes a data de validade de um produto está difícil de identificar ou então com o tempo pode ser apagada. A etiqueta facilita esse processo, não deixando dúvida de qual o vencimento do produto. A figura 16 abaixo mostra uma bomba de fluído de silicone utilizado em testes de sensores térmicos devidamente identificada com a etiqueta de controle de vencimento. No caso de ser identificado que um produto está fora da validade o mesmo deve ser descartado imediatamente, eliminando a possibilidade de o mesmo ser utilizado.

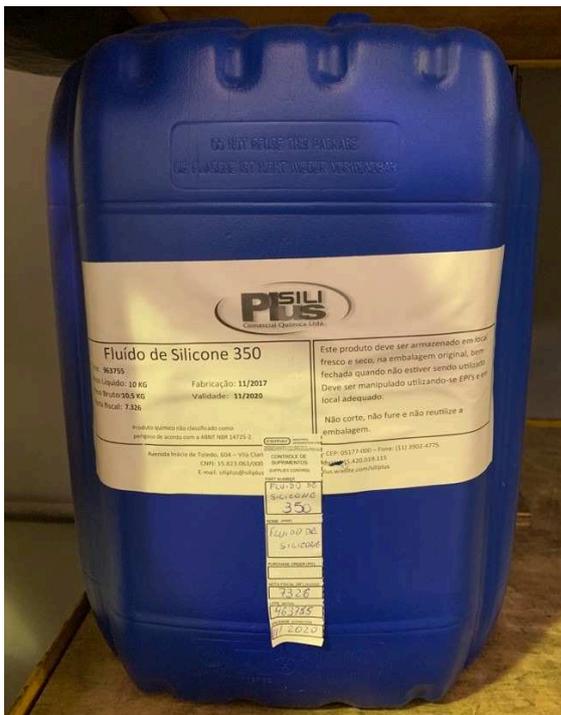


Figura 16 - Produto consumável com etiqueta de identificação de data de vencimento (Fonte: Autor)

- **Não realizar todos os testes previstos:** Similar ao que já foi discutido anteriormente para outros modos de falha, a ação para garantir que todas as etapas do teste de liberação sejam respeitadas foi a elaboração de fichas de teste para os componentes. As fichas de teste são anexadas a documentação de reparo no momento da abertura da ordem de serviço e preenchidas no momento do teste de liberação. Elas incluem o passo-a-passo dos testes, critérios de aprovação, espaço para preenchimento dos parâmetros encontrados e espaço para assinatura do executante. A figura 17 abaixo mostra um exemplo extraído de uma ficha de teste. A ficha de teste além de servir como roteiro de testes para os diferentes componentes é também um documento de rastreabilidade compondo o pacote de documentação do processo de manutenção.

DESCRIÇÃO DAS OPERAÇÕES / DESCRIPTION OF OPERATIONS				
ITEM ITEN	TESTE/TEST	CRITÉRIO DE APROVAÇÃO/ APROVAL CRITERIA	RESULTADO OBTIDO/ OBTAINED RESULT	EXECUTADO POR/ EXECUTED BY
(d)	ESTABILIDADE			
1	Com o drive a 7200±50 rpm, rapidamente abra e feche a válvula de restrição várias vezes. Cheque a pressão no manômetro de saída e o fluxômetro e verifique a estabilidade quando fecha a válvula.	Estabilidade da pressão e do fluxo	OK	Francisco T. Neto MMA / CANAC 140784
(e)	FLUXO DE PRESSÃO			
1	Com o drive a 7200±50 rpm, feche a válvula de restrição para FLUXO ZERO e anote a pressão indicada. Mantenha estas condições por 5 min. e cheque a pressão de saída. A diferença de pressão não poderá exceder 25 psig	Diferença entre pressões não podem exceder a 25 psig	30 PSI	Francisco T. Neto MMA / CANAC 140784
(f)	FLUXO DE VAZAMENTO DO DRENO			
1	Com a velocidade do motor Drive a 7200±50 rpm. Abra a válvula de restrição de modo a prover uma pressão menor que 2850 psig indicado no manômetro de saída	Fluxo de vazamento pelo dreno ≤0,24gal/min. (1,1 L/min.)	S/VAZ	Francisco T. Neto MMA / CANAC 140784
2	Feche a válvula restritora e seleccione a pressão de saída para 3000 psig, e zera fluxo de saída.	Fluxo de vazamento pelo dreno ≤0,3gal/min. (1,4 L/min.)	S/VAZ	Francisco T. Neto MMA / CANAC 140784

Figura 17 - Ficha de teste preenchida (Fonte: Autor)

5. CONCLUSÃO

O objetivo deste estudo de caso foi plenamente atingido já que desenvolveu uma matriz de risco utilizando o método FMEA da operação de uma empresa de manutenção de componentes aeronáuticos. A partir da matriz de risco foi possível determinar as causas raiz dos modos de falha encontradas, e implementar ações concretas para minimizar a possibilidade de ocorrência dessas falhas. Certamente as ações implementadas a partir do estudo de caso desse trabalho trouxeram mudanças positivas na operação da empresa, melhorando a qualidade do serviço prestado aos seus diversos clientes.

Conforme foi discutido anteriormente, o erro é algo inerente ao ser humano, e que quando inserido em um sistema, o mesmo irá eventualmente falhar. Por esse motivo a identificação de perigos e mitigação das falhas é tão crítico no processo de manutenção. O fator humano deverá sempre ser uma variável a ser considerada na análise de risco.

Durante a elaboração do estudo de caso foram identificadas possibilidades de desdobramentos para trabalhos futuros. Melhorias podem ser desenvolvidas no sentido de elaborar um programa de auditoria interna para empresa. Além de verificar o cumprimento das ações implementadas nesse estudo, a auditoria interna pode identificar outras não-conformidades antes que as mesmas causem algum dano aos componentes. A elaboração de um programa de auditoria mitiga os possíveis erros no processo de manutenção, podendo minimizar não-conformidades encontradas em auditorias de clientes e agências reguladoras. Um programa de auditoria interna com premiações para as seções com maior pontuação, pode incentivar os funcionários a trabalhar em um nível elevado de qualidade, trazendo grandes benefícios para a empresa.

É possível concluir que objetivo originalmente formulado de diminuir o risco associado a operação da empresa para trazer mais segurança para a operação das aeronaves nas quais os componentes são instalados resultou em um projeto bem-sucedido. Devido a recente exigência da ANAC de que as organizações de

manutenção devem implementar um programa de gerenciamento de segurança operacional, pode-se dizer que o projeto tem uma finalidade real e extremamente atual para a indústria de manutenção aeronáutica. O estudo de caso desenvolvido pode servir como exemplo para outras empresas do setor, auxiliando nas melhorias do processo de manutenção e agregando mais segurança ao setor, podendo evitar incidentes e até acidentes fatais.

6. BIBLIOGRAFIA

BAO, MENG YAO, AND SHUITING DING. **“Individual-Related Factors and Management-Related Factors in Aviation Maintenance.”** *Procedia Engineering*, vol. 80, 2014, pp. 293–302.

BOYD, DOUGLAS, AND ALAN STOLZER. **“Causes and Trends in Maintenance-Related Accidents in FAA-Certified Single Engine Piston Aircraft.”** *Journal of Aviation Technology and Engineering*, vol. 5, no. 1, Sept. 2015, p. 17.

BRAZIL, AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL **“Instrução Suplementar 145.214-001B.”** *Instrução Suplementar 145.214-001B*, 6 June 2018. www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-145-214-001b/@@display-file/arquivo_norma/IS145.214-001B.pdf.

BREVES, TEREZA. **“Manual Do Facilitador Em CRM.”** *Agência Nacional Da Aviação Civil*, ww2.anac.gov.br/arquivos/pdf/manualTreinamentoFacilitadorCRM3.pdf. Accessed Dec. 2018.

CRUZ, P.R.F. **“QUALIDADE NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA: APLICAÇÃO DA FERRAMENTA FMEA EM UM SETOR DE MONTAGEM DE COMPONENTES DE MOTORES AERONÁUTICOS.”** *Congresso Nacional Em Excelência de Gestão*, Rio de Janeiro, 2016.

GHAURI, P. **Designing and Conducting Case Studies in International Business Research**. Handbook of Qualitative Research Method for International Business. 2004.

HOBBS A. **An overview of human factor in aviation maintenance**. Report no. AR-208-055. Australian Transport Safety Bureau. Australia, 2008.

IATA. **“Strong Airline Profitability Continues in 2018 - Press Release No.: 70.”** *Iata.Org*, 5 Dec. 2011, www.iata.org/pressroom/pr/Pages/2017-12-05-01.aspx.

AVIAÇÃO PARTICULAR - SUMÁRIO ESTATÍSTICO 2008-2017. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronautico (CENIPA), 2018.

LATORELLA, KARA A., AND PRASAD V. PRABHU. **“A Review of Human Error in Aviation Maintenance and Inspection.”** *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 26, no. 2, Aug. 2000, pp. 133–61.

LUIZ, J., BAYMA, A., PIMENTEL BANDEIRA, C., RAMOS MARTINS, M., BOTTER, R.. **Análise de riscos nas operações com granéis de origem vegetal de um terminal portuário**. IV Simpósio de Engenharia de Produção. Recife, 2016

MARAIS, KAREN B., AND MATTHEW R. ROBICHAUD. **“Analysis of Trends in Aviation Maintenance Risk: An Empirical Approach.”** *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 106, June 2012, pp. 104–18.

REASON, J “**Combating Omission Errors through Task Analysis and Good Reminders.**” *Quality and Safety in Health Care*, vol. 11, no. 1, Mar. 2002, pp. 40–44.

REASON, J “**Human Error: Models and Management.**” *BMJ*, vol. 320, no. 7237, Mar. 2000, pp. 768–70.

REASON J, **Managing the Risks of Organizational Accidents.** Ashgate, 1997.
“Safety Management Manual.” International Civil Aviation Organization, 2013.

SILVEIRA, CRISTIANO. “**FMEA – Análise Dos Modos de Falha e Seus Efeitos.**” *Citi Systems*, 2012, <www.citisystems.com.br/fmea-processo-analise-modos-falhas-efeitos/>.

VIEIRA, DARLI, AND PAULA LOURES. “**Maintenance, Repair and Overhaul (MRO) Fundamentals and Strategies: An Aeronautical Industry Overview.**” *International Journal of Computer Applications*, vol. 135, no. 12, Feb. 2016, pp. 21–29.

YIN, R. K. (2002). **Case study research: Design and methods.** Thousand Oaks, CA: SAGE Publications.