

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**

**Alfredo Rodrigues Brabo**

**SISTEMA DE ANÁLISE E SUPERVISÃO CONTINUADA  
POR CONFIABILIDADE AERONÁUTICA**

**Taubaté - SP**

**2016**

**Alfredo Rodrigues Brabo**

**SISTEMA DE ANÁLISE E SUPERVISÃO CONTINUADA  
POR CONFIABILIDADE AERONÁUTICA**

Monografia apresentada para obtenção do título de especialista em Engenharia Aeronáutica pelo Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Mestra Samantha González Tessele

**Taubaté - SP**

**2016**

BRABO, Alfredo Rodrigues

Sistema de análise e supervisão continuada por confiabilidade aeronáutica / Alfredo Rodrigues Brabo. – Taubaté: Unitau, 2016.

49p.

Monografia (Especialização) – Universidade de Taubaté. Faculdade de Engenharia Mecânica. Curso de Especialização em Engenharia Aeronáutica.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Mestra Samantha González Tessele

1. Confiabilidade. 2. Aeronavegabilidade continuada. 3. SASC.  
I. Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica. II. Título.

**ALFREDO RODRIGUES BRABO**

**SISTEMA DE ANÁLISE E SUPERVISÃO CONTINUADA  
POR CONFIABILIDADE AERONÁUTICA**

Monografia apresentada para obtenção do título de especialista em Engenharia Aeronáutica pelo Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Mestra Samantha González Tessele

Data: \_\_\_\_\_

Resultado: \_\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Assinatura: \_\_\_\_\_

Este trabalho é dedicado a todas as pessoas que anonimamente, no dia a dia, superam adversidades e suas próprias limitações, tanto quanto aos meus professores, que sempre entregaram exemplos inspiradores de atuação em prol do próximo e da sociedade.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pela existência.

Ao meu pai, mãe, tios e tias que sempre me incentivaram aos estudos. À minha esposa, Vilmara e minhas filhas Larissa e Leticia, pelo apoio e pela compreensão durante meu tempo ausente devido a este trabalho.

Agradeço especialmente a Prof<sup>ª</sup>. Mestra Samantha González Tessele pela sua orientação e a todos aqueles que de alguma forma colaboraram para a concretização deste trabalho.

“Os analfabetos do século 21 não serão aqueles que não sabem ler e escrever, mas aqueles que não sabem aprender, desaprender e reaprender.” (Alvin Toffer)

## RESUMO

Este projeto apresenta e modela um sistema de vigilância continuada por confiabilidade a fim de medir a eficácia do programa de manutenção aplicado a uma frota B767. Inicialmente são apresentadas as publicações que dão sustentabilidade a tratativa do tema, mas deixando livre o caminho para a fundamentação e formulações estatísticas de confiabilidade. Entendendo que este sistema é imprescindível para operadores aéreos de médio e grande porte, e que normalmente exige o envolvimento de um grupo de engenheiros com conhecimento específico desde o início do projeto. Foi feito um estudo de caso com a coleta de dados em um período de 12 meses, com tabelas e gráficos modelados para melhor tomada de decisão, no que tange a manter a confiabilidade de projeto durante a operação de aeronaves.

Palavras-chave: Confiabilidade. Aeronavegabilidade continuada. SASC.

## **ABSTRACT**

This paper features and model a continuous monitoring system to measure the effectiveness of the maintenance program applied to a B767 fleet. There are initially presented the publications that give sustainability theme dealings, but leaving the way clear for the reasoning and statistical formulations reliability. Understanding this system is essential for air operators of medium and large size, and usually requires the involvement of a group of engineers with specific knowledge from the beginning of the project. A case study was done with data collection over a period of 12 months with tables and graphs modeled to a better decision-making with respect to keep the design reliability during operation of the aircraft.

**Keywords:** Reliability. Continuing Airworthiness. CASS.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>1.1</b>	<b>DEFINIÇÃO DO PROBLEMA</b> .....	14
<b>1.2</b>	HIPÓTESE.....	15
<b>1.3</b>	OBJETIVOS.....	15
<b>1.4</b>	RELEVÂNCIA.....	15
<b>1.5</b>	METODOLOGIA.....	16
<b>1.6</b>	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	16
<b>2</b>	<b>CONCEITOS DE CONFIABILIDADE</b> .....	17
<b>2.1</b>	DEFINIÇÕES DE CONFIABILIDADE .....	17
<b>2.2</b>	CONFIABILIDADE INERENTE.....	17
<b>2.3</b>	CONFIABILIDADE OPERACIONAL .....	18
<b>2.4</b>	PROGRAMA DE CONFIABILIDADE E SISTEMA SASC .....	19
2.4.1	Desempenho do programa de manutenção.....	20
2.4.2	Auditorias SASC .....	21
2.4.3	Efetividade do Programa de Manutenção .....	21
<b>2.5</b>	CICLO DE FUNCIONAMENTO DO PROGRAMA DE CONFIABILIDADE .....	23
<b>2.6</b>	PROGRAMA DE CONFIABILIDADE PARA SISTEMAS ENVOLVIDOS EM APROXIMAÇÕES DE BAIXA VISIBILIDADE.....	24
<b>2.7</b>	PROGRAMA DE CONFIABILIDADE PARA SISTEMAS ENVOLVIDOS EM OPERAÇÕES ETOPS .....	24
<b>3</b>	<b>SISTEMA DE COLETA DE DADOS</b> .....	26
<b>3.1</b>	GENERALIDADES.....	26
<b>3.2</b>	FONTES DE INFORMAÇÃO DE DADOS .....	26
3.2.1	Atrasos e cancelamentos.....	26
3.2.2	Confirmação de falha de componente .....	26

3.2.3	Relatório da Oficina .....	27
3.2.4	Trabalhos não rotineiros de verificações maiores de manutenção ( <i>Check's</i> ).....	27
3.2.5	Relatórios de eventos significantes.....	27
3.2.6	Remoções e instalações de componentes.....	28
3.2.7	Relato de pilotos – PIREPS ( <i>Pilot Reports</i> ) .....	29
3.2.8	Parada de funcionamento de motor em voo .....	29
3.2.9	Ingestão de motores .....	30
3.2.10	Dados de rendimento de motor em voo .....	30
<b>4</b>	<b>METODO DE ANÁLISE DE DADOS E APLICAÇÃO DE CONTROLE DE RENDIMENTO .....</b>	<b>31</b>
4.1	EMISSÃO DE AVISOS DE ALERTA .....	31
4.2	ANALISE DE DADOS.....	31
4.3	PROGRAMA DE AÇÕES CORRETIVAS .....	32
4.4	VALOR DE ALERTA.....	32
4.5	CÁLCULO DO VALOR DE ALERTA .....	33
4.6	REVISÃO DO VALOR DE ALERTA .....	33
4.7	DEFINIÇÕES DE PARAMETROS.....	35
4.7.1	Sistemas .....	35
4.7.2	Componentes.....	35
<b>5</b>	<b>ESTUDO DE CASO - ANÁLISE DOS RESULTADOS DE DADOS COPIADOS DE FROTA B767 .....</b>	<b>36</b>
5.1	UTILIZAÇÃO DIÁRIA ( <i>AIR TIME</i> ).....	36
5.2	ATRASOS E CANCELAMENTOS MENSAIS .....	37
5.3	EVENTOS SIGNIFICANTES .....	39
5.4	IFSD – <i>IN FLIGHT SHUTDOWN</i> .....	41
5.5	OPERAÇÕES DE POUSO AUTOMÁTICO POR BAIXA VISIBILIDADE .....	42
5.6	CONTROLE DE CONSUMO DE ÓLEO DOS MOTORES.....	42

5.7	RELATO DE PILOTOS – PIREPS ( <i>PILOT REPORTS</i> ) E ALERTAS POR ATA.....	43
5.8	MTBUR – TEMPO MÉDIO ENTRE REMOÇÕES NÃO PROGRAMADAS.....	45
6	<b>CONCLUSÃO</b> .....	47

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ciclo SASC .....	22
Figura 2 – ISFD Rates.....	31
Figura 3 – GE Engine CF680C2 – Takeoff FAN Vibration .....	32
Figura 4 – Média de utilização diária por aeronave.....	38
Figura 5 – Gráfico comparativo da média de utilização da frota.....	38
Figura 6 – Gráfico de utilização mensal da frota.....	39
Figura 7 – Atrasos e cancelamentos do mês de Março de 2016.....	39
Figura 8 – Confiabilidade de despacho operacional.....	40
Figura 9 – <i>Air and Ground turn back</i> em 12 meses.....	41
Figura 10 – <i>Hard landing</i> e <i>Others</i> em 12 meses.....	42
Figura 11 – Taxa de IFSD .....	43
Figura 12 – Condição de operação CAT II/III .....	44
Figura 13 – Consumo de óleo dos motores.....	44
Figura 14 – Taxa de Relato de falha por ATA .....	45
Figura 15 – Alertas por ATA.....	46
Figura 16 – MTBUR .....	47

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	<i>Advisory Circulars</i>
AD	<i>Airworthiness Directives</i> (Diretrizes de Aeronavegabilidade)
ANAC	Agencia Nacional de Aviação Civil
APU	<i>Auxiliar Power Unit</i>
ATA 100	<i>Air Transport Association 100 Chapter System</i>
B767	<i>Boeing Aircraft Model number 767</i>
CASS	<i>Continuing Analysis And Surveillance System</i>
CAT II/III	<i>Category of automatic landing system operations</i>
CI	Confiabilidade Inerente
CO	Confiabilidade Operacional
ETOPS	<i>Extended Twin Engine Operations</i>
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i> – Agencia de Aviação civil Americana
HT	<i>High Time Components</i>
IATA	<i>International Air Transport Association</i>
IFSD	<i>In-flight shutdown</i>
IS	Instrução Suplementar
MAREPS	Relatos da Manutenção
MTBUR	<i>Mean Time Between Unscheduled Removal</i>
NTSB	<i>National Transportation Safety Board</i>
OC	<i>On Condition Components</i>
PIREPS	Relatos do Piloto
PncEM	Probabilidade de não cometer Erros de Manutenção
PnOI	Probabilidade de Operar Inadequadamente
RBAC	Regulamentos Brasileiros da Aviação Civil
RVR	<i>Runway Visual Range</i>
SASC	Sistema de Análise e Supervisão Continuada
SB	<i>Service Bulletin</i> (Boletim de Serviço)

## LISTA DE SÍMBOLOS

X	Taxa mensal de Relatos
$\mu$	Valor médio de X
K	Coefficiente multiplicador
$\sigma$	Desvio padrão
N	Numero de meses no período considerado

## 1 INTRODUÇÃO

Em resposta a um estudo conjunto realizado pela – FAA - *Federal Aviation Administration* e pelo - NTSB - *National Transportation Safety Board* indicando uma série de acidentes e incidentes relacionados à manutenção, foram introduzidos requisitos regulamentares em 1964 exigindo aos operadores aéreos estabelecer e manter um Sistema de Vigilância e Análise Continuada, denominado - CASS. Isso proporcionaria um processo estruturado para monitorar o desempenho e eficácia da sua inspeção, manutenção, manutenção preventiva e programas de alterações. O CASS garante um meio para corrigir qualquer deficiência nesses programas, independentemente se os programas são realizados pelo próprio operador ou por qualquer outra entidade.

Desde 1964, os operadores buscaram formas para atender aos requisitos. Mas somente em 2002, com a publicação do *Continuing Analysis and Surveillance System (CASS) Comprehensive Research Report for the Development of a CASS Model, July 15, 2002*, que iniciou mesmo a montagem do sistema. Bem como, ajudou ao pessoal de manutenção da indústria e os inspetores das autoridades a compreender melhor e cumprir com a exigência CASS.

No Brasil o documento de balizamento surgiu em 2009 com a publicação da IS N° 120-79A – denominada por SASC – Sistema de Análise e Supervisão Continuada, que segue em processo de maturação por parte dos operadores e autoridade de aviação civil brasileira.

Dentro deste contexto, esta pesquisa visa expor melhor o assunto, apresentar um modelo como estrutura deste sistema SASC, bem como, apresentar dados de um ano de uma frota de aeronaves B767-300F para análise a fim de autenticar tal modelo e servir em futuras aplicações em outras frotas e operadores.

### 1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Por ser assunto recente na indústria aeronáutica, desenvolver, implementar e manter um sistema de análise e supervisão continuada mostra-se bastante complexo, em virtude da ausência de referências de trabalhos científicos apresentando modelos de resultados deste tema.

Os documentos de referência disponibilizados pelas diversas autoridades apresentam descrições genéricas das necessidades deste sistema, mas não há descritivo ou indicações claras de como o desenvolver.

Imbuído desta demanda este trabalho busca entregar um método que satisfaça os requisitos de autoridades e que possa servir de referência para futuras implementações de sistemas de análise e supervisão continuada.

## **1.2 HIPÓTESE**

Neste trabalho será testada a premissa de que, a partir das referências da legislação, é possível criar um modelo estatístico relativamente simples, mas que pode ser suficiente para atender às necessidades de implementação de um sistema de análise e supervisão continuada para operadores segundo os RBACs 121 e 135, mantendo a confiabilidade de projeto das aeronaves.

## **1.3 OBJETIVOS**

O Objetivo Geral é estudar técnicas especializadas de conhecimentos de engenharia para reduzir ou evitar a probabilidade de frequência de falhas.

O Objetivo Específico é descrever a metodologia de desenvolvimento de um sistema de análise e supervisão continuada baseado em confiabilidade.

## **1.4 RELEVÂNCIA**

Para Leonelli (2003, p.6), “os benefícios de um SASC eficaz incluem a melhoria contínua, operações mais seguras, o aumento da eficiência da manutenção, aumento da confiabilidade de despacho de aeronaves, redução de manutenção e de erros sistêmicos operacionais”.

Dentro deste contexto se espera que esta abordagem prática e objetiva do tema favoreça o entendimento e a adaptação eficiente do conceito em qualquer tipo de frota ou operador aéreo.

## 1.5 METODOLOGIA

Este trabalho tem o caráter de uma pesquisa aplicada, onde os conhecimentos apresentados podem ser utilizados de forma direta, contribuindo para a resolução de problemas vinculados ao tema apresentado.

Quanto ao objetivo e procedimentos, trata-se de uma pesquisa exploratória, baseada em pesquisa bibliográfica e um estudo de caso.

Como estudo de caso, é criado a partir de uma amostragem e é esperado que o resultado indique que o modelo seja adequado para atender às necessidades da indústria.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está organizado em 6 capítulos:

No capítulo 1 (introdução) são apresentados o tema, a situação-problema, os objetivos do trabalho, a hipótese considerada e a metodologia de pesquisa, assim como são estabelecidas as delimitações a serem observadas.

O capítulo 2 trata da revisão bibliográfica, onde abordam as bases conceituais aplicáveis ao tema, definições.

No capítulo 3 trata do desenvolvimento do modelo de um sistema de análise e supervisão continuada por confiabilidade.

No capítulo 4 apresenta um método de análise dos dados,

O capítulo 5 apresentação e a análise dos resultados obtidos.

Finalmente, no capítulo 6 são apresentadas as conclusões deste estudo e considerações finais.

## 2 CONCEITOS DE CONFIABILIDADE

Hoang (2003, p.3) afirma que, em teoria, a confiabilidade tradicional, tanto o sistema quanto seus componentes têm como premissa tomar apenas dois estados possíveis: ou trabalha ou não. Em um sistema de estados múltiplo, tanto o sistema quanto seus componentes estão permitidos a experimentar mais do que dois estados possíveis, por exemplo, completamente trabalhando, parcialmente trabalhando ou parcialmente falhou, e falhou completamente. Um modelo de confiabilidade do sistema de múltiplo estado fornece mais flexibilidade para a modelagem de condições dos equipamentos.

### 2.1 DEFINIÇÕES DE CONFIABILIDADE

Dhillon (2002, p.15) define como a probabilidade de que um item irá desempenhar a sua função satisfatoriamente indicada para o período desejado quando utilizado de acordo com as condições especificadas.

Também podemos definir como a probabilidade de que um equipamento ou sistema realize as funções para o qual foi projetado, sem falhar e submetido à condição de operação específica de projeto ou dito de outra maneira, confiabilidade é o “grau de cumprimento” de um componente ou sistema sem que este falhe.

Um componente ou sistema é considerado “confiável” quando segue um padrão de comportamento esperado e é considerado “inconfiável” quando não cumpri este comportamento.

### 2.2 CONFIABILIDADE INERENTE

A confiabilidade inerente de um sistema ou componente é a confiabilidade estabelecida em seu projeto. Não sendo possível atingir um nível de confiabilidade maior que o previsto no projeto original, salvo com aplicações de AD's ou SB's que venham a substituir sua confiabilidade original, redesenhando o componente ou sistema e por consequência a confiabilidade inerente esperada.

Dhillon (2002, p.90) afirma que o objetivo da confiabilidade centralizada na manutenção é o de manter a confiabilidade inerente do projeto de equipamento / sistema e, ao mesmo tempo reconhecer que as mudanças na confiabilidade inerente

só podem ser feita através do projeto em vez de manutenção. Manutenção na melhor das vezes só pode atingir e manter um nível de confiabilidade projetada.

Um sistema de manutenção programada pode somente assegurar que um nível de confiabilidade inerente seja mantido, mas não há uma forma de manutenção que possa produzir um nível maior ao inerente do projeto. A chave é desenvolver um programa de manutenção efetivo, o qual minimize as reduções deste nível inerente.

### 2.3 CONFIABILIDADE OPERACIONAL

Existe um fator adicional o qual pode incrementar a media de falhas de forma imprescindível, este é o fator humano relacionado às atividades de operação e manutenção dos equipamentos. Este aspecto não está considerado na confiabilidade de projeto dos componentes. O projetor deve efetuar o projeto para minimizar as possibilidades de uma operação inadequada e fazer o sistema de manutenção, o quanto possível, mais simples.

Confiabilidade operacional se define como:

$$\text{CO} = \text{CI} \times \text{PnOI} \times \text{PncEM}$$

CO :	Confiabilidade Operacional
CI :	Confiabilidade Inerente
PnOI :	Probabilidade de Operar Inadequadamente
PncEM :	Probabilidade de não cometer Erros de Manutenção

Este trabalho indicará como medir efetivamente parâmetros de confiabilidade operacional, onde já estão incluídas as atividades de uma correta ou incorreta ação de operação ou manutenção, de qualquer forma, não é fácil separa-las.

Os fatores humanos (PnOI e PncEM), anteriormente indicados, estão afetados por conceitos, tais como; conhecimento, treinamento, desempenho, habilidade, iniciativa, concentração, etc. Por se tratar de fator humano estão diretamente afetados por condições pedagógicas, sociológicas e psicológicas das pessoas envolvidas no processo de manutenção das aeronaves

## 2.4 PROGRAMA DE CONFIABILIDADE E SISTEMA SASC

SASC é um sistema de garantia de qualidade de operador aéreo. De uma forma estruturada e metódica, o SASC fornece aos operadores as informações necessárias para tomar decisões e alcançar seus objetivos com a melhoria do programa de manutenção. Além disso, se o SASC for usado corretamente, torna-se uma parte inerente da forma como o operador aéreo trata os negócios e ajuda a promover uma cultura de segurança dentro da empresa.

O programa de confiabilidade é um processo contínuo para avaliar os programas de manutenção de cada frota, aeronaves, sistemas ou componentes através da compilação e análise de dados, para a comparação dos resultados com padrões estabelecidos e implementando determinadas ações corretivas com o devido acompanhamento para monitoramento e verificação da eficácia da ação tomada.

Deste ciclo pode resultar inclusive a necessidade de alteração do programa de manutenção, de modo a restituir a confiabilidade a níveis predeterminados. A aplicação deste programa, como já comentado anteriormente, não poderá produzir uma confiabilidade maior que a de nível de projeto, porém, um inapropriado ou inadequado nível de manutenção poderá sim degradar a confiabilidade.

Um sistema SASC assegura que o operador aplique seu programa de manutenção conforme as regulações e os manuais vigentes. Assim como também mantém a efetividade em alcançar os resultados desejados de manter a aeronave navegabilidade para aprovar o retorno ao serviço das aeronaves de acordo aos requerimentos estabelecidos nos regulamentos RBAC 121, RBAC 145, RBAC 43, os manuais dos fabricantes e outros requisitos aplicáveis à aviação civil.

A implementação de um sistema SASC reduz ou elimina a probabilidade de que um avião seja aprovado para retorno ao serviço em condições não aeronavegáveis quando monitorado por um ciclo SASC mostrado na figura 1.

A IS Nº 120-079 emitida pela ANAC (2009, p.9) descreve que a regulamentação requer que o SASC consiga acompanhar e analisar os programas de inspeção e manutenção sob duas perspectivas: constatar o desempenho e a eficácia. Os dois primeiros passos nos processos do SASC (supervisão e análise) são conduzidos de dois modos diferentes. Um é baseado em auditorias e o segundo é baseado na coleta e análise de dados operacionais. Os resultados dos dois tipos

de supervisão e análise alimentam a terceira e a quarta atividade do SASC: ação corretiva e acompanhamento.

Como mencionado anteriormente, dos resultados da vigilância e análise, o sistema requer a implementação de ações corretivas e correspondentes seguimentos, a fim de alcançar a melhoria contínua.

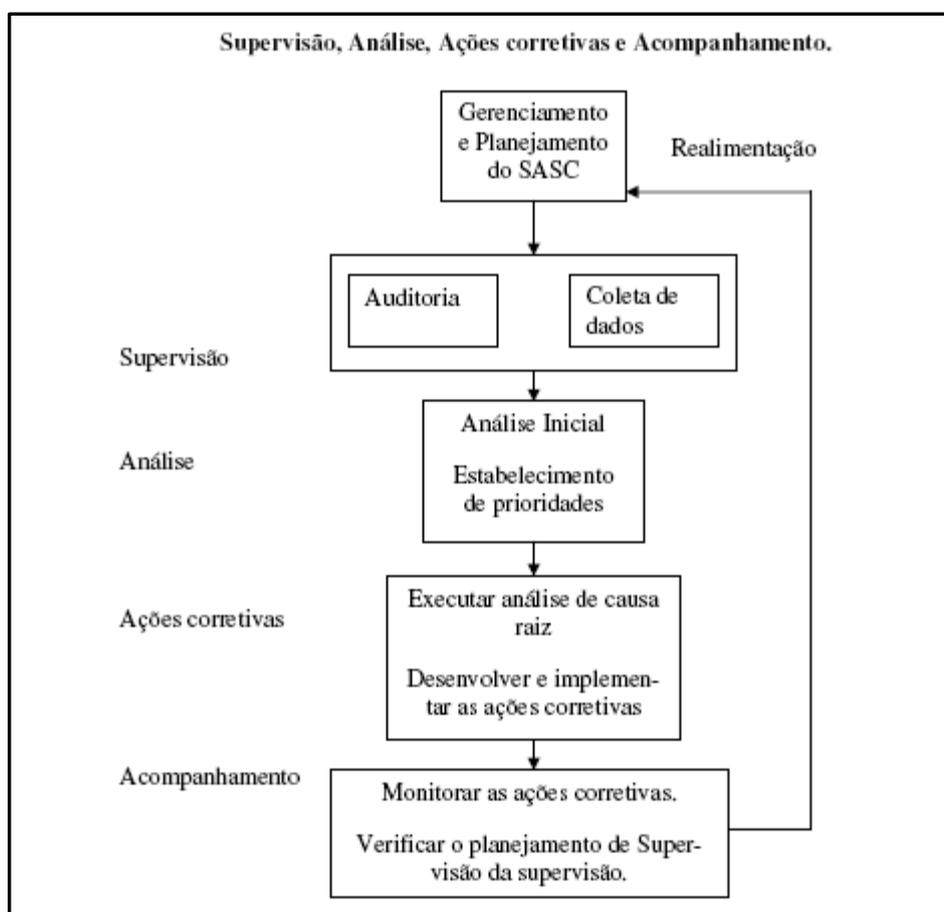


Figura 1 – Ciclo SASC

Fonte: ANAC (2009)

#### 2.4.1 Desempenho do programa de manutenção

Um sistema de análise e vigilância contínua do desempenho do programa de manutenção se refere ao processo de copilar e avaliar informações para determinar que a execução do programa de manutenção esteja sendo realizado em acordo com as regulações, manuais vigentes e qualquer outro requerimento aplicável.

### 2.4.2 Auditorias SASC

Esta parte do sistema SASC consiste na realização de auditorias e a análise das não conformidades encontradas para verificação de tendências.

As auditorias do SASC se orientam com a verificação de que:

- i. Os provedores de manutenção executem toda a manutenção corretiva, manutenção preventiva e alterações conforme previsto nos manuais gerais de manutenção, manuais dos fabricantes e documentos aprovados pelas autoridades;
- ii. A organização de gestão de aeronavegabilidade, bem como os provedores de manutenção, devem contar com pessoal competente, dependências adequadas e equipamentos para o adequado cumprimento dos trabalhos de manutenção corretiva, manutenção preventiva e alterações;
- iii. Cada aeronave entregue ao serviço tenha sido mantida apropriadamente e se encontre apto para a operação de transporte aéreo.

Dentro deste sistema as auditorias têm função fiscalizatória para manter acompanhamento, bem como a análise continuada da execução e eficácia da manutenção, visando identificar riscos às operações de manutenção, condições indesejáveis, áreas que requerem melhorias, discrepâncias, deficiências dos processos ou falta de aderência aos regulamentos estabelecidos, a fim de traçar avaliação, correção e quando possível, implementação de ações de melhorias, que atendam as necessidades especificadas pela empresa para atividades de manutenção.

### 2.4.3 Efetividade do Programa de Manutenção

Um sistema de análise e vigilância contínua da efetividade do Programa de Manutenção refere-se ao processo de coleta e avaliação de informações para determinar que a execução da manutenção seja feita de acordo com os regulamentos, manuais e qualquer outro requisito aplicável.

Neste contexto, se entende por confiabilidade, a dependência e probabilidade que um item (avião, motor ou componente) realize sua função sob condições

específicas sem apresentar falhas durante um período de tempo esperado. A verificação desta efetividade se dá através da coleta e análise de dados operacionais tais como:

- a. Atrasos e cancelamentos de voos;
- b. Incidentes (*Ground turn back, Air Turn Back, Flight Control Malfunction, Etc*);
- c. Falhas de sistemas por Relatos de pilotos ou de manutenção;
- d. Remoções de componentes (*Mean Time Between Unscheduled Removal – MTBUR*).

Com os resultados do monitoramento, análise de desempenho e eficácia do programa de manutenção é realizada a análise final através da detecção da causa raiz e define-se ações para corrigir os resultados objetivando a obtenção de uma melhoria ou manutenção da confiabilidade.

O processo de implementação de ações corretivas, por vezes, requer a tomada de decisões em níveis superiores dentro da organização. Assim a organização pode considerar a participação ativa do grupo responsável e os níveis de autoridade para a tomada de decisão dos gestores da confiabilidade.

Monitoramento ou *follow-up* neste processo contínuo permite identificar a eficácia das ações corretivas implementadas.

A eficácia do sistema de manutenção deve ser acompanhada mensalmente por comitê técnico de frota, que de acordo com informações baseadas em uma análise contínua dos dados permitirão:

- a. Aumentar a confiabilidade operacional de aeronaves, sistemas, motores e componentes;
- b. Identificar sistemas de aeronaves que mostram um aumento de falhas relatadas pelos pilotos, resultando em uma deterioração da confiabilidade da frota;
- c. Assegurar a confiabilidade desses componentes que têm como seu processo de manutenção primária o monitoramento por condição;
- d. Determinar a necessidade de mudanças nos processos de manutenção primárias HT e OC;
- e. Determinar a necessidade ou conveniência de modificar as aeronaves, motores e componentes, a fim de restaurar a sua confiabilidade

inerente, diminuir o envelhecimento dos materiais ou aprimorar propostas aos fabricantes;

- f. Reduzir a frequência de substituição de um componente;
- g. Determinar a necessidade de alteração nos programas de manutenção;
- h. Determinar a necessidade de ajustar as configurações de alerta.

O programa de confiabilidade deve reconhecer que os níveis de confiabilidade inerentes construídos em torno de uma aeronave, são influenciados pelo ambiente e pelo tipo de operação que está sendo realizada. É essencial estabelecer um meio de monitorar a confiabilidade operacional para verificar a eficácia do sistema de manutenção utilizado.

## **2.5 CICLO DE FUNCIONAMENTO DO PROGRAMA DE CONFIABILIDADE**

O programa de confiabilidade é a principal ferramenta utilizada para determinar o funcionamento desses componentes que são controlados sob o monitoramento da condição processo de manutenção primária.

O programa de confiabilidade deve ser projetado para fornecer um meio de detectar deficiências na manutenção e fornecer um mecanismo de ajuste para sistemas de manutenção de aeronaves, componentes e motores.

O programa de confiabilidade deve ser um processo fechado e realimentado, que pode ser descrito pelo seguinte:

- a. Originam-se dados de confiabilidade operacional;
- b. Os dados são copilados e estatisticamente tratados para que as tendências possam ser identificadas;
- c. Analisa-se e investigam-se possíveis deficiências ou focos de problemas;
- d. Determina-se e implementa-se ações corretivas;
- e. As ações corretivas são monitoradas para garantir os resultados desejados e, assim, voltar ao primeiro passo que renova o ciclo.

## 2.6 PROGRAMA DE CONFIABILIDADE PARA SISTEMAS ENVOLVIDOS EM APROXIMAÇÕES DE BAIXA VISIBILIDADE

O programa de confiabilidade para operações CAT II/III deve cumprir com os requisitos da AC 120-29A do FAA (2002, p. 121), que requer para o relatório de confiabilidade a apresentação de um resumo mensal por um período de 1 ano após o requerente ter sido autorizado para Categoria II/III, este resumo mensal deve ser apresentado a autoridade local que autorizou a certificação.

As informações a seguir devem ser relatadas no relatório de confiabilidade:

- a. O número total de aproximações controladas, o número de abordagens satisfatórias rastreadas, por aeronaves / tipo de sistema, e visibilidade (RVR - *Runway Visual Range*), se for conhecido ou gravado;
- b. O número total de aproximações não satisfatórias, e as razões para o desempenho insatisfatório, se conhecido, podem ser listados por categoria adequada. Por exemplo: o mau desempenho do sistema, equipamentos do avião com problema ou falha, problema com os equipamentos de solo, manipulação do serviço de tráfego aéreo, falta de proteção em área crítica ou outros.
- c. O número total de remoções não programadas de componentes dos sistemas aviônicos relacionados.
- d. Relatos após o período inicial devem ser de acordo aos requisitos de confiabilidade estabelecidos pelos operadores.

## 2.7 PROGRAMA DE CONFIABILIDADE PARA SISTEMAS ENVOLVIDOS EM OPERAÇÕES ETOPS

Programa de Confiabilidade envolvido em operações ETOPS (*Extended Twin Engine Operations*) deve cumprir com os requisitos da AC 120-42B FAA (2008, p. 12), detalha que todos os sistemas de aeronaves ou componentes devem fazer parte do programa.

O relatório mensal deve incluir um Relato que confiabilidade com índices que afetam esta operação, como se segue:

- a. O consumo de óleo de monitoramento do motor;
- b. Razões para IFSD acumulada últimos 12 meses;
- c. Confiabilidade de despacho;
- d. Remoções de componentes e motores;
- e. Comportamento de sistemas;
- f. Relatórios de incidentes;
- g. Controle de partidas de APU em voo.

### **3 SISTEMA DE COLETA DE DADOS**

#### **3.1 GENERALIDADES**

O Sistema de Coleta de Dados é a chave para assegurar a aplicação efetiva do programa de confiabilidade. Os dados devem ser confiáveis, precisos e oportunos.

Os dados devem ser coletados de todas as estações de manutenção, livros de bordo, livros de manutenção, ordens de serviço, oficinas, hangares, ordens de compra, etc.

Todos os dados devem ser devidamente classificados e se possível inseridos em sistema computacional para melhor tratativa.

A responsabilidade de inserção ou informação completa de todos os dados de manutenção em tempo útil (por exemplo, notas de consumo de óleo de motor, movimentação de componentes, etc.), tendo ou não sistema computacional, deve cair diretamente sobre cada área envolvida na inserção direta dos dados.

#### **3.2 FONTES DE INFORMAÇÃO DE DADOS**

##### **3.2.1 Atrasos e cancelamentos**

Inclui atrasos e cancelamentos de voos por motivos de manutenção. Eles podem ser compilados a partir de Relatos de diferentes áreas operacionais e pode ficar disponíveis a organização através de seu sistema de controle computacional.

Os eventos acima mencionados podem ser classificados pelo código IATA, a fim de identificar os atrasos ou cancelamentos onde o desempenho técnico de manutenção está envolvido.

##### **3.2.2 Confirmação de falha de componente**

Esta informação pode ser obtida a partir dos Relatos de falha do componente, conhecido por SFR - *System Failure Report*, que indicam o detalhe da condição e disponibilidade do componente no momento da recepção na oficina.

Normalmente a responsabilidade de disponibilizar em sistema de controle estas informações se destina a área materiais.

### 3.2.3 Relatório da Oficina

Esta informação deve está junto à ordem de serviço executado no componente pela oficina. O controle destes documentos e sua disponibilização devem ser transversais, com acesso á todos da organização, bem como, está atrelado ao numero da peça e numero de série do componente.

### 3.2.4 Trabalhos não rotineiros de verificações maiores de manutenção (*Check's*)

Estes trabalhos descritos como não rotineiros são oriundos de inspeções de rotinas do programa de manutenção e devem ser inseridos em sistema de controle computacional, bem como, classificados por sistema de especificação ATA 100.

O departamento de programa de manutenção pode realizar uma análise nestes itens gerados e estudar tendências que poderiam permitir melhoria no programa de manutenção por frota.

Atenção especial deve ser dada a todos os itens gerados cujo sua solução exceda o estabelecido nos manuais do fabricante, pois nestes casos deve ser acionado o fabricante a fim de instruções específicas para a solução do item. Esta condição também pode ser aplicada a manutenção de linha.

### 3.2.5 Relatórios de eventos significantes

Dados normalmente gerados por operações de voo devem ser copilados e distribuídos em gráficos por número de eventos e por razão para cada 100 ciclos. Eles têm importância fundamental para tomada de decisão de melhorias e para o sistema de segurança operacional, os eventos significantes ou incidentes podem ser:

- i. *Hard landing* - pouso com força gravitacional acima do limite;
- ii. *Service difficulty report* - Relatório por dificuldade de serviços (conforme previsto na legislação);

- iii. *Diversion* - Desvio de rota ou pouso por falha durante o voo de cruzeiro;
- iv. *Engine - Foreign Object Damage* - Dano no motor por objeto estranho (também conhecido como FOD);
- v. *Flight control malfunction* - Falha de comandos durante o voo;
- vi. *In flight shutdown* - Desligamento de motor em voo (pode ser comandado ou não);
- vii. *Rejected take-off* - Aborto de decolagem;
- viii. *Air turn back* - Retorno de voo por falha de sistema;
- ix. *Ground turn back* - Retorno durante o taxiamento por falha de sistema;
- x. *Others* – que pode ser Impacto da aeronave com pássaros, Impacto da aeronave com raios, bem como, pouso acima do peso.

Todos estes eventos podem ser incluídos nos relatórios de confiabilidade para projeção estatística e estudo de tendências.

### 3.2.6 Remoções e instalações de componentes

O pessoal de manutenção origina um registro para cada remoção e instalação de componentes, este registro deve estar disponível em sistema computacional ou equivalente e deve refletir as horas de voo e ciclos que este componente esteve em operação na aeronave.

É natural fazer uma lista de controle de componentes entendidos como críticos e a partir desta lista efetuar a medição de MTBUR - *Mean Time Between Unscheduled Removals* – que pode ser medido pela fórmula abaixo para cada componente desejado. O analista poderá comparar esta média de substituição não programada dos componentes da frota da organização com resultados de outras frotas que têm operações similares, a fim de detectar se há a necessidade de ajuste no programa de manutenção para o sistema em que os componentes que estejam sendo substituídos precocemente.

$$MTBUR = (FH \times n \times N) / NR$$

FH = *Flight hour per aircraft*

n = *Number of aircraft*

N = *Quantity of Units removed from aircraft*

NR = *Number of removals of item*

### 3.2.7 Relato de pilotos – PIREPS (*Pilot Reports*)

Como o comportamento de falhas das aeronaves devem sempre ser reportadas pelos pilotos no livro técnico de bordo da aeronave, então estes Relatos irão indicar falhas de sistemas que podem ser balizados pela ATA 100. O livro de bordo pode se tornar a principal fonte de detecção de falhas nos sistemas das aeronaves, compilando estas falhas por fatias mensais, onde pode-se detectar tendências de excesso de falhas por sistema.

A determinação de excessos se dá por determinar limites de controle desejável para emissão de alertas e para a geração de plano de ação de correção de problema que pode ser crônico na frota da organização.

A formulação destes limites de controle para alerta serão tratados em tópicos posteriores desta pesquisa.

### 3.2.8 Parada de funcionamento de motor em voo

Tem importância fundamental para determinação da confiabilidade e continuidade de operação ETOPS - *Extended Twin Engine Operations*. Esta informação de parada de motor em voo pode ser detectada a partir do livro de bordo da aeronave e ingressada em sistema de controle computacional para criação de um índice médio de IFSD – *In Flight Shut Down*. A AC 120-42B [2008, p. 20], declara que se a taxa de IFSD, calculado em média móvel de 12 meses, exceder os valores na tabela abaixo, a organização, em conjunto com a sua autoridade aeronáutica, deve investigar os efeitos de causa comum ou erros sistêmicos e apresentar os resultados dentro de 30 dias.

In Flight Shut Down Rates		
Number of Engines	Engine Hours ETOPS	ETOPS Authorization
2	.05/1000	Up to and including 120 minutes.
2	.03/1000	Beyond 120 minutes up to and including 180 minutes and 207 minutes in North Pacific.
2	.02/1000	Greater than 180 minutes (Except for 207 minutes in North Pacific).

Figura 2 – IFSD Rates

Fonte: FAA (2008)

### 3.2.9 Ingestão de motores

Identifica o nível de FOD - *Foreign Object Damage* ou ameaça aviária que há nos aeroportos de operação da organização, podendo balizar Relatórios as autoridades de aviação civil para tomada de plano de ação corretiva. Esta informação pode ser obtida a partir de Relatos do livro de bordo da aeronave, e compilada em sistema computacional para serem transformadas em dados estatísticos.

### 3.2.10 Dados de rendimento de motor em voo

Nos motores a turbina, menos modernos, os parâmetros como (temperatura do motor, rotação, fluxo de combustível, temperatura do óleo, etc) eram captados pela tripulação em voo estável de cruzeiro e reportados nos livros de bordo. Mas nas aeronaves com motores mais modernos, os parâmetros são transmitidos periodicamente e de forma digital durante etapas do voo.

Estes dados quando compilados e plotados em gráficos, demonstram linhas de tendência que podem balizar diversos níveis de manutenção preditiva.

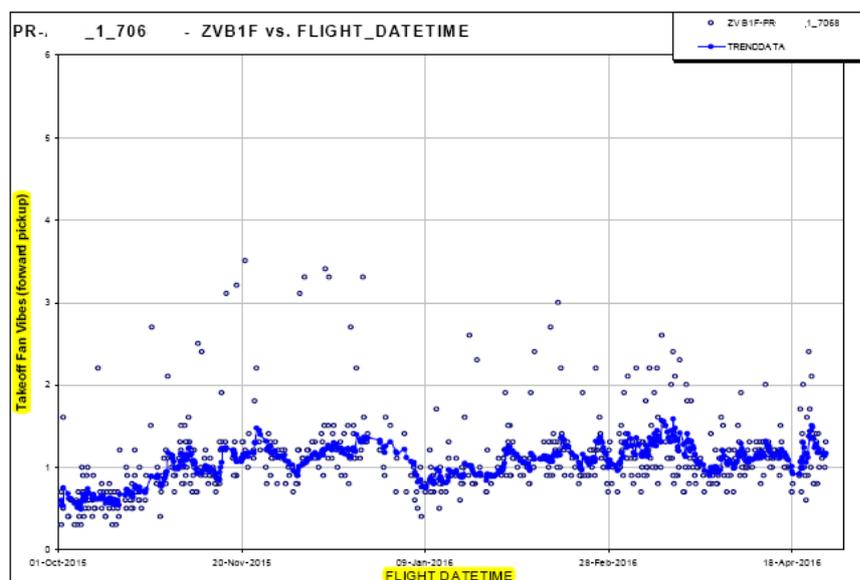


Figura 3 – GE Engine CF680C2 - Takeoff Fan Vibration

Fonte: GE (2016)

## **4 METODO DE ANÁLISE DE DADOS E APLICAÇÃO DE CONTROLE DE RENDIMENTO**

### **4.1 EMISSÃO DE AVISOS DE ALERTA**

Rendimento de aeronaves, sistemas, motores e componentes devem ser monitorados por um sistema de "alerta", que simplesmente, é um sistema comparativo, que pode ser com dados da mesma frota de operação similar fornecidos por associação internacional de operadores aéreos.

Utiliza-se um nível de rendimento (taxa) mensal e/ou trimestral, que em suas diversas combinações é comparado com os valores de alerta estabelecidos para determinar sua condição atual.

Quando os componentes, sistemas ou motores alcancem uma condição de alerta, o pessoal responsável pela confiabilidade deve gerar um "AVISO DE ALERTA", desencadeando a realização de análise de suporte técnico, proposta de ação corretiva e acompanhamento para verificação se há retorno aos níveis desejáveis de taxas de falha.

É desejável que o plano de ação corretiva contemple a informação de impacto econômico, incluindo recursos humanos, materiais e tempo de aeronave fora de operação para a implementação desta ação corretiva proposta.

Os parâmetros usados para o seguimento, avaliação e determinação das ações corretivas a serem aplicadas podem ser classificados em primários e secundários. Os primários podem ser aqueles que afetam diretamente a confiabilidade da operação e secundários os que afetam de forma indireta.

### **4.2 ANALISE DE DADOS**

Análises de engenharia devem ser realizadas à medida que surjam estados de alerta. A proposta de ação corretiva feita deve ser tal a restaurar o desempenho do sistema afetado em níveis aceitáveis de confiabilidade.

As análises relacionadas às discrepâncias derivadas da aplicação de tarefas de manutenção programada, devem ter plano de ação corretiva implementado ou plano de contingenciamento antes da próxima execução da tarefa objeto da análise.

### 4.3 PROGRAMA DE AÇÕES CORRETIVAS

Uma vez que a ação corretiva foi definida pela comissão de alerta e aceito pelo comitê técnico de frota, as implementações correspondentes das tais ações geradas para restaurar o nível de confiabilidade deve ser tratada em caráter mandatório.

Os prazos de implementação de ações corretivas, bem como, os responsáveis pela implementação devem ser definidos, controlados e acompanhados periodicamente a fim de não se perder de foco até que estejam encerrados e a eficácia comprovada.

### 4.4 VALOR DE ALERTA

Os rendimentos funcionais considerados como operação normal de um sistema ou componente podem ser controlados por monitoramento de frequências na ocorrência da falha de um sistema ou a remoção de um componente. Os desvios destas frequências de falhas ou remoção de componentes além da distribuição normal calculada e esperada, deverão gerar uma condição de alerta.

O valor de alerta se baseia em calculo de razão ou frequência de falhas, tal que se for excedido, gera uma ação de investigação a fim de encontrar a causa desta situação.

Os valores de alerta podem ser calculados e designados para cada sistema da aeronave e componentes entendidos como críticos. O cálculo é baseado em método estatístico da média que é utilizado para determinar tendências, condições desejáveis ou indesejáveis.

Os valores de alerta devem ser calculados com base nos registros obtidos a partir de operações diárias e considerando um período de 12 meses. No término deste período, estes valores devem ser recalculados em base os dados coletados dos últimos 12 meses.

Para estabelecer os valores de alerta pode-se utilizar o método estatístico de desvio padrão. Segundo Montgomery (2009, p. 184), estes valores de alertas ou controle podem ser fixados em três desvios padrão sobre a taxa de falha calculada, conhecido como "*three-sigma control limits*", o qual estabelece o nível de tolerância que é proporcional as variáveis da taxa de falha obtida. A fixação de nível de alerta

dependerá normalmente da distribuição ou dispersão observada nas taxas de falhas do sistema em questão.

Os limites não devem ser fixados mais alto que a maior das taxas de falha calculada, de tal forma que não produza nenhuma situação de deterioração da confiabilidade e nem tão baixo que a distribuição normal de falhas produza excessiva geração de alertas.

O valor de alerta deve ser então definido como o ULC – *Upper Control Limit* ou Limite Superior de Controle da faixa de tolerância.

#### 4.5 CÁLCULO DO VALOR DE ALERTA

Os valores de alerta são calculados de acordo com o método do desvio padrão como se segue:

$$\text{Valor de Alerta} = f(X)$$

$$= \mu + k \times \sigma$$

Por tanto:

$$\text{Valor de Alerta} = \sum X / N + k \times \sqrt{(\sum x^2 - (\sum X)^2 / N) / (N - 1)}$$

Onde:

X = Taxa mensal de Relatos

$\mu$  = Valor médio de X

K = Coeficiente multiplicador

$\sigma$  = Desvio padrão

N = Numero de meses no período considerado

#### 4.6 REVISÃO DO VALOR DE ALERTA

Os valores de alerta podem ser calculados e revisados em intervalos de cada doze meses, para tanto deve ser usado os dados dos doze meses imediatamente anteriores ao período da revisão e fixado para o próximo ano vigente. Se uma

avaliação mostra que o valor de alerta atribuído ou calculado está incorreto, o valor de alerta pode ser modificado durante o período dos doze meses em curso.

Uma vez estabelecido novos valores de alerta, devem ser tomados alguns cuidados para evitar variações abruptas do limite de controle, é prudente utilizar limitações definidas pela organização para a alteração do valor de alerta (VA), conforme especificado abaixo:

- a. Se a diminuição do VA > 10% pode-se assumir um VA igual à soma do VA atual mais o VA calculado, dividido por dois,  $VA > 10\% = \frac{VA \text{ atual} + VA \text{ Calc.}}{2}$  ;
- b. Se a diminuição for  $0 < VA \leq 10\%$  modifica-se o valor do alerta diretamente ao novo valor calculado;
- c. Se o aumento for  $0 < VA \leq 10\%$  mantem-se os valores de alerta atuais;
- d. Se o aumento do VA > 10% mantem-se os valores atuais, a não ser que haja um estudo detalhado do sistema feito pela engenharia do fabricante ou da organização, que permita o relaxamento do atual limite de controle.

Estes critérios estabelecidos permitem ir ajustando os valores de alerta a cifras que determinem o correto controle da operação, dentro dos limites confiáveis para manter sempre um equilíbrio técnico econômico na frota de aeronaves, seus motores e componentes.

Em casos de novas frotas de aeronaves ou componentes, é prudente copilar os dados operacionais dos seis primeiros meses de operações para o calculo inicial dos valores de alerta e voltar a calcular quando complete os doze meses padrão. Não podendo deixar de acompanhar o comportamento dos sistemas mês a mês para verificação de tendências, haja visto a inabilidade com esta nova frota. Havendo tendências em qualquer sistema deve ser levantada a “bandeira de alerta”.

Neste período inicial, também pode-se utilizar taxas internacionais estabelecidas pelos fabricantes, quando disponibilizadas por eles.

Para aviões ou componentes ingressantes na frota da organização e que já existam uma base de dados de confiabilidade, pode-se adotar valores de alerta já estabelecido no sistema.

## 4.7 DEFINIÇÕES DE PARAMETROS

A seguir se definem alguns parâmetros utilizados pela confiabilidade, podendo sempre ir incorporando novos parâmetros com o proposito de incremento no monitoramento da confiabilidade.

### 4.7.1 Sistemas

#### Utilização diária com base a horas de voo - *Air Time*

$$\text{Taxa de Utilização} = \frac{\text{Horas de voo por frota}}{\text{Nº de dias do mês de aviões em serviço}}$$

#### Relatos de pilotos por cada 1000 horas de voo

$$\text{Taxa de Pirep por FH} = \frac{\text{Nº de Relatos de pilotos por frota}}{\text{Horas de voo mensal por frota}} \times 1000$$

#### Relatos de pilotos por cada 100 ciclos

$$\text{Taxa de Pirep por Cy} = \frac{\text{Nº de Relatos de pilotos por frota}}{\text{Ciclos mensais por frota}} \times 100$$

#### Atrasos e cancelamentos mensais por cada 100 despachos

$$\text{Taxa de Atrasos} = \frac{\text{Ciclos mensais}^* - (\text{Nº de atrasos} + \text{cancelamentos})^*}{\text{Ciclos mensais por frota}} \times 100$$

\*por frota

### 4.7.2 Componentes

#### Taxa mensal de remoção de componentes

$$\text{Taxa de Remoções} = \frac{\text{Nº de remoções}}{\text{Horas de voo do componente}} \times 1000 = \text{MTBUR}$$

## 5 ESTUDO DE CASO - ANÁLISE DOS RESULTADOS DE DADOS COPIADOS DE FROTA B767

Como complemento a pesquisa foi feita a coleta de dados de uma frota de 04 aeronaves B767 no período de um ano a fim de testar o método e verificar que resultados que podem ser obtidos.

Para melhor entendimento os dados foram divididos e acompanhados com frequência mensal, o objetivo é mostrar o rendimento e confiabilidade da frota no período revisado em comparação aos últimos doze meses, bem como, observar a eficiência da emissão de alertas.

Foram coletados dados de utilização diária, quantidade de atrasos/cancelamentos >15 minutos, incidentes, remoções de motor, taxa de IFSD, condição de operação CAT II/III, consumo de óleo dos motores, condição de alertas de falhas por ATA 100 e MTBUR.

### 5.1 UTILIZAÇÃO DIÁRIA (AIR TIME)

A/C Type: B767F	Apr-15	May-15	Jun-15	Jul-15	Aug-15	Sep-15	Oct-15	Nov-15	Dec-15	Jan-16	Feb-16	Mar-16	AVL	12M
PR- <span style="color:red">■</span>	9,18	10,42	0,00	11,77	9,07	10,81	10,81	9,88	11,16	8,74	10,54	8,85	10,11	9,27
PR- <span style="color:green">▲</span>	10,16	10,60	9,95	7,86	11,58	10,08	10,53	12,36	12,15	10,00	10,90	8,88	10,42	10,42
PR- <span style="color:red">■</span>	10,25	9,52	9,60	10,07	8,19	9,37	10,51	12,13	8,86	10,87	10,75	12,87	10,25	10,25
PR- <span style="color:green">▲</span>	8,23	9,73	9,75	8,54	9,49	11,11	11,34	9,07	10,71	10,05	11,55	10,68	10,02	10,02
<b>DU B767F</b>	<b>9,04</b>	<b>9,72</b>	<b>9,67</b>	<b>10,08</b>	<b>9,76</b>	<b>9,14</b>	<b>9,51</b>	<b>10,37</b>	<b>10,81</b>	<b>10,74</b>	<b>10,93</b>	<b>10,28</b>	<b>10,20</b>	<b>9,99</b>

NOTE: PR- ■ IN CHECK-C DURING JUNE

Figura 4 – Média de utilização diária por aeronave

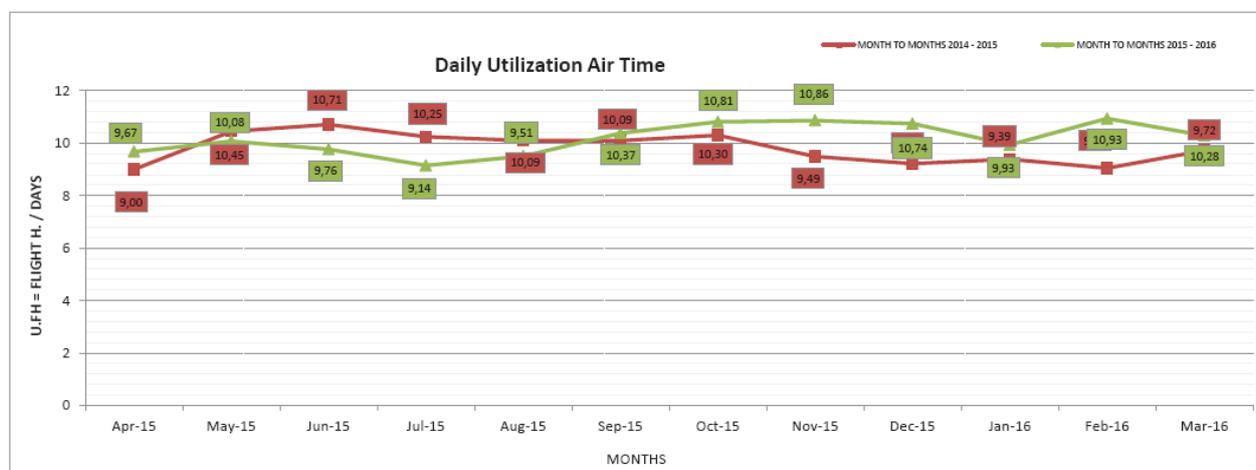


Figura 5 – Gráfico comparativo da média de utilização da frota

A média de utilização diária da frota da figura 4 visa entregar a alguns clientes internos da empresa este aspecto fundamental para efeito de tomada de decisão, dentre eles pode-se citar:

- i. Um primeiro tange em apresentar a área comercial o quão há de disponibilidade dos equipamentos para balizamento de contratos futuros.
- ii. Um segundo, mas não menos importante, procura apresentar ao planejamento de manutenção a média voada a fim de efetuar as projeções de manutenções futuras e programa-las antecipadamente.
- iii. Um terceiro visa visualizar a projeção de utilização das aeronaves, em complemento a figura 6 para implementação de programas de inspeção estruturais ou até mesmo alterações suplementar ao projeto de tipo balizado por atualizações da regulação.

O gráfico da figura 5 visa comparar os últimos doze meses aos doze meses do período anterior para a observação e alerta em casos de tendência a baixa utilização das aeronaves.

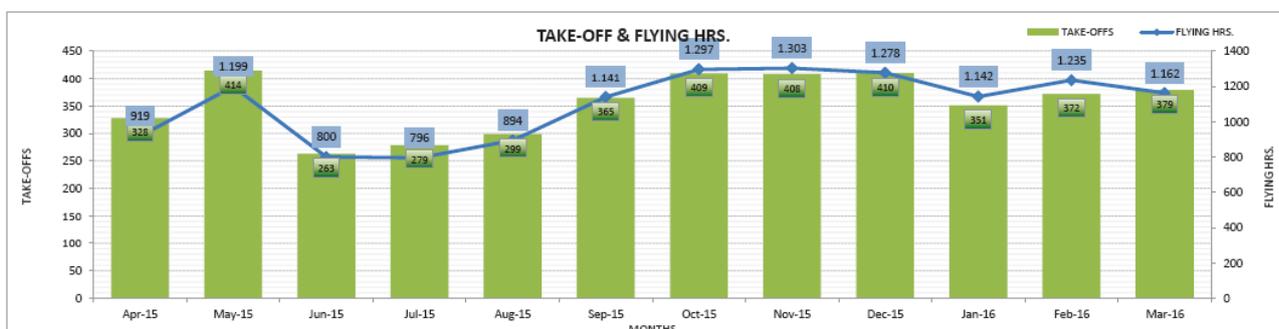


Figura 6 – Gráfico de utilização mensal da frota

## 5.2 ATRASOS E CANCELAMENTOS MENSAIS

REGISTER	DELAY	ATA	SUBATA	TYPE	DATE	ORI	DESTINO	FLIGHT	DEPART.	REASON
PR-	0,3	49	61	D	15-03-2016	SCL	SCL	9994	MANTENIMIENTO	ID CASS: 27295 // T008HAWB // MANT.NO PROGRAMADO / APU NO PRENDE EN PRIMER INTENTO
PR-	2	27	31	D	08-03-2016	MIA	MIA	9994	MANTENIMIENTO	ID CASS: 27005 // T008V21G // 27-071-00-01-LUB(JIC)-LAN (ELEVATOR HINGES AND PCA'S)
PR-	2,70	31	31	D	11-03-2016	MIA	MIA	9994	MANTENIMIENTO	ID CASS: 27198 // T008GSCY // 31 31 27 00 FLIGHT DATA RECORDER SYSTEM: EICAS MESSAGE FLT DATA ACQ DISPLAYED. OFF LIGHT ON WITH ENGINES RUNNING AND SWITCH IN NORMAL.
PR-	22,60	27	31	D	18-03-2016	MAO	MAO	9994	MANTENIMIENTO	ID CASS: 27455 // T008HRWR // 27 90 07 00 - ELEV FEEL ON STATUS PAGE.

Figura 7 – Atrasos e cancelamentos do mês de Março de 2016

Os atrasos e cancelamentos maiores que 15 minutos, tratados mês a mês visam mostrar o teor de confiabilidade de despacho operacional da frota, uma determinada aeronave ou até mesmo falha repetitiva. Os atrasos do mês de Março/2016 estão apresentados pela tabela mostrada na figura 7.

Mesmo que o relatório reflita a condição do mês anterior, pode-se utilizar estes dados para melhorias do processo de manutenção das aeronaves, tanto pela inserção de tarefas ou até mesmo com treinamento específico ao pessoal de produção direta da manutenção.

Refletindo o resultado do mês de Março de 2016, mostrado na figura 7, observa-se que houve 4 (quatro) atrasos acima de 15 minutos, buscando dar maior aplicabilidade ao conceito de confiabilidade operacional podemos aplicar a fórmula previamente apresentada na página 32 (trinta e dois).

Onde:

$$\text{Taxa de Atrasos} = \frac{\text{Ciclos mensais}^* - (\text{N}^\circ \text{ de atrasos} + \text{cancelamentos})^*}{\text{Ciclos mensais por frota}} \times 100$$

\*por frota

Então para Março/2016:

$$\text{A taxa de atrasos ou taxa de confiabilidade} = \frac{379 - (4 + 0)^*}{379} \times 100 = 98,94\%$$

Esta taxa está apresentada no gráfico da figura 8, que mostra a confiabilidade de despacho operacional dos últimos doze meses em relação ao período anterior. Podemos também observar uma queda no mês de junho 2015, por falha recorrente de uma aeronave da frota e voltando a condições normais após correção da falha.

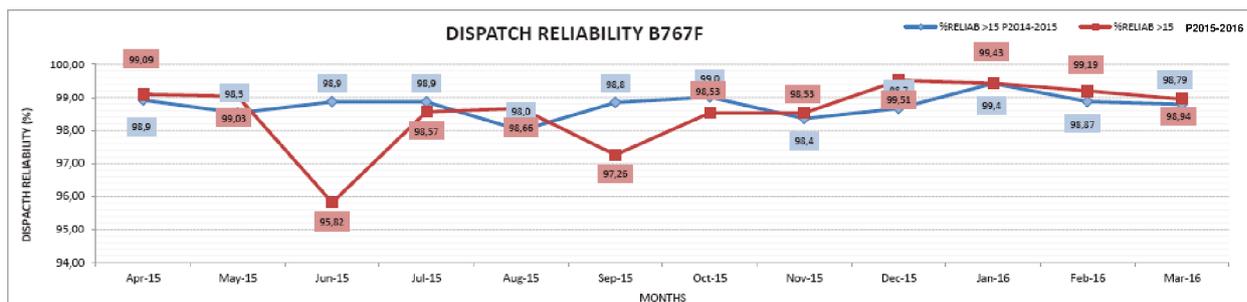


Figura 8 – Confiabilidade de despacho operacional

### 5.3 EVENTOS SIGNIFICANTES

Alguns dos eventos significantes apresentaram taxa zero ao longo dos 12 meses e os gráficos não serão apresentados, esta ausência de eventos demonstra condição favorável de confiabilidade, tanto do projeto de tipo como a continuidade de manutenção da aeronavegabilidade, os eventos com taxa zeros foram; *service difficulty report, diversion, engine - foreign object damage, flight control malfunction, in flight shutdown, rejected take-off*.

No entanto, tiveram outros eventos significantes com alguns episódios, como podemos observar a partir da figura 9 superior, com a ocorrência de um *air turn back* em junho de 2015. Este evento se deu por falha de válvula do sistema de pressurização de uma aeronave da frota e ficando a razão do evento em 0,380 para cada 100 ciclos.

De modo geral fica a critério do operador os limites máximos da razão destes eventos, aqui estipulado e entendido como aceitável o valor menor que 1,5 para cada 100 ciclos.

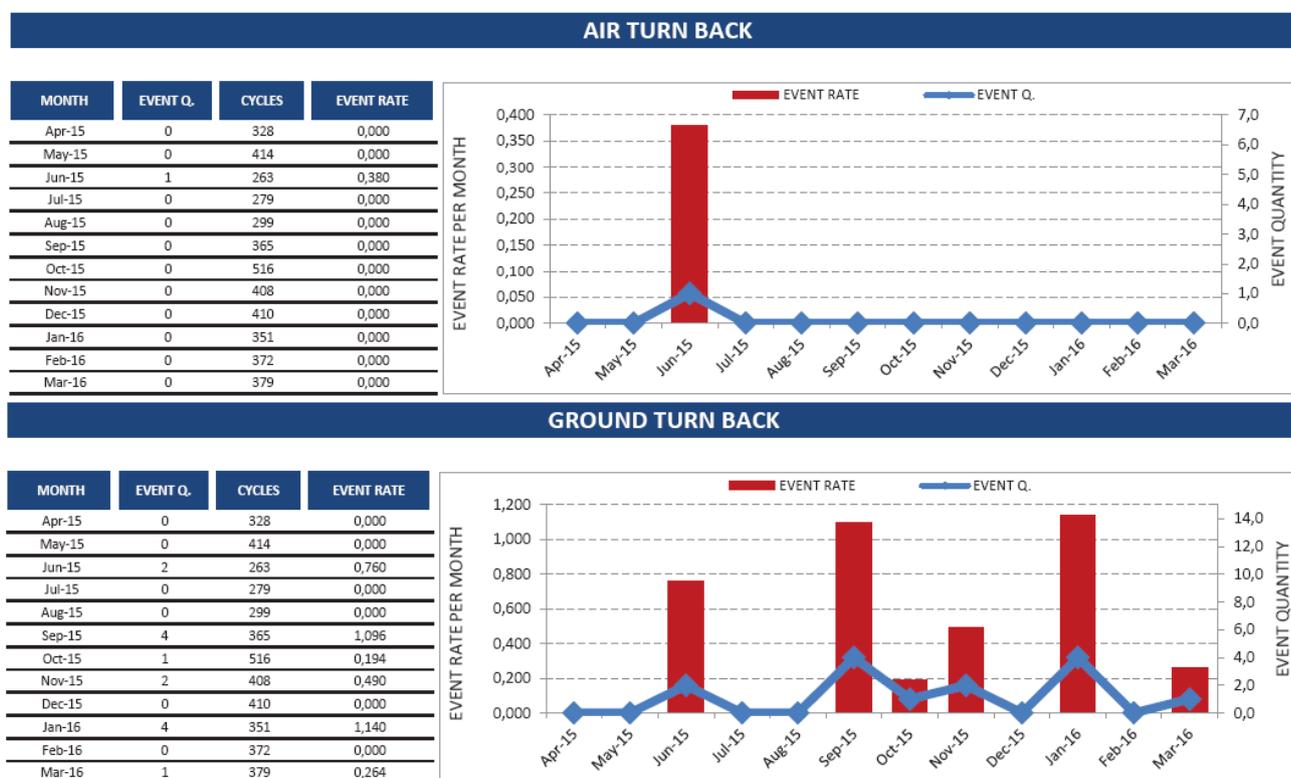


Figura 9 – Air and Ground Turn Back em 12 meses

Na figura 9 inferior, podemos observar eventos de *Ground Turn Back* em diversos meses, bem como, eventos múltiplos em alguns meses, mas não

excedendo o limite da razão de 1,5 por 100 ciclos, previamente fixado. Observou-se nas falhas ocorridas a ausência de relação entre elas, o que pode levar ao entendimento de falhas de ocorrência dentro do contexto de operação normal.



Figura 10 – *Hard Landing* e *Others* em 12 meses

O evento de *Hard Landing* mostrado na figura 10 superior, ocorrido em janeiro de 2016, representou impacto de 1,8 em força gravitacional em pouso da pista do aeroporto de vitória, após verificação estrutural na aeronave por parte do pessoal de manutenção, por obrigatoriedade nestes eventos, não foram encontrados danos. A importância do acompanhamento destes eventos tange na preservação da estrutura quanto a danos por fadiga, em caso de eventos sequenciais é prudente que sejam revistos os procedimentos operacionais da empresa.

Na parte inferior da figura 10, apresentam-se os eventos *others*, totalizando 14 (quatorze) ao longo do ano sendo 8 (oito) por impacto com pássaros e os 6 (seis) restantes por impacto com raios. Os dados de impacto com pássaros são encaminhados ao CENIPA – Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes, órgão do ministério da aeronáutica, para tratativa do perigo aviário junto às autoridades aeroportuárias. Quanto aos eventos de impactos com raios são tratados em âmbito interno com operações de voo a fim de aumentar os desvios de nuvens

carregadas durante as rotas a fim de reduzir o número de colisões e não degradar a estrutura da aeronave ao longo do tempo.

## 5.4 IFSD – IN FLIGHT SHUTDOWN

### SUMMARY

DETAIL	Apr-15	May-15	Jun-15	Jul-15	Aug-15	Sep-15	Oct-15	Nov-15	Dec-15	Jan-16	Feb-16	Mar-16
LFH	919,12	1199,07	800,38	795,55	893,61	1141,02	1648,65	1303,48	1277,76	1142,47	1235,43	1162,09
MONTH ENGINES FLIGHT HOURS	1838,25	2398,13	1600,77	1591,10	1787,22	2282,03	2282,03	19473,22	2555,52	2284,94	2470,85	2324,17
12 MONTH ENGINE FLIGHT HOURS	23004,24	23187,83	22753,50	22478,77	22383,29	22781,83	22880,97	40171,49	40544,31	40876,29	41394,19	41765,41
IFSD 12 MONTH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IFSD RATE 12 LAST MONTH	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

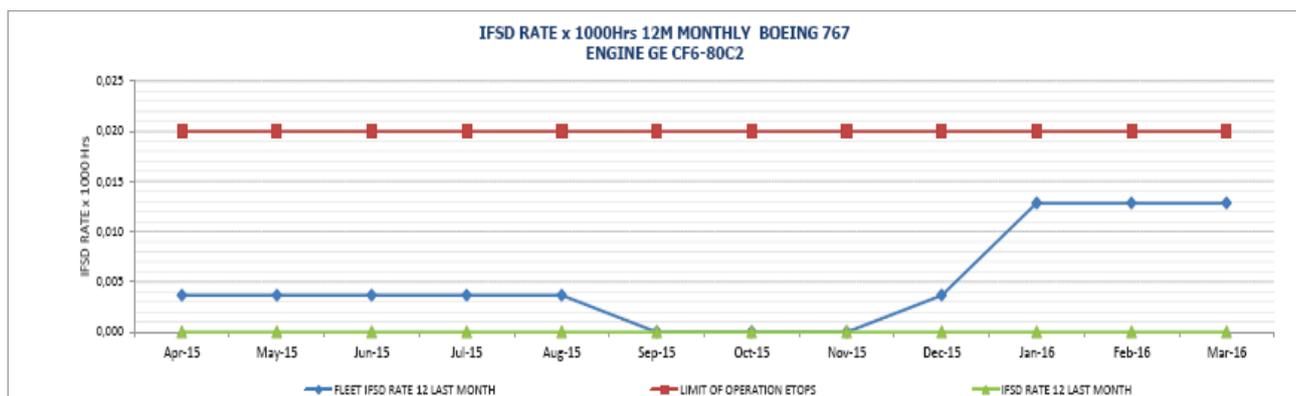


Figura 11 – Taxa de IFSD

A taxa de desligamento de motor em voo permaneceu zero ao longo do período de 12 meses, representado no gráfico da figura 11 pela linha verde e calculado por:

$$\text{IFSD últimos 12 meses} = (\text{N}^\circ \text{ IFSD 12M} / \text{12M ENG FH}) \times 1000.$$

Onde:

Nº IFSD 12M = Número de desligamentos de motor em 12 meses;

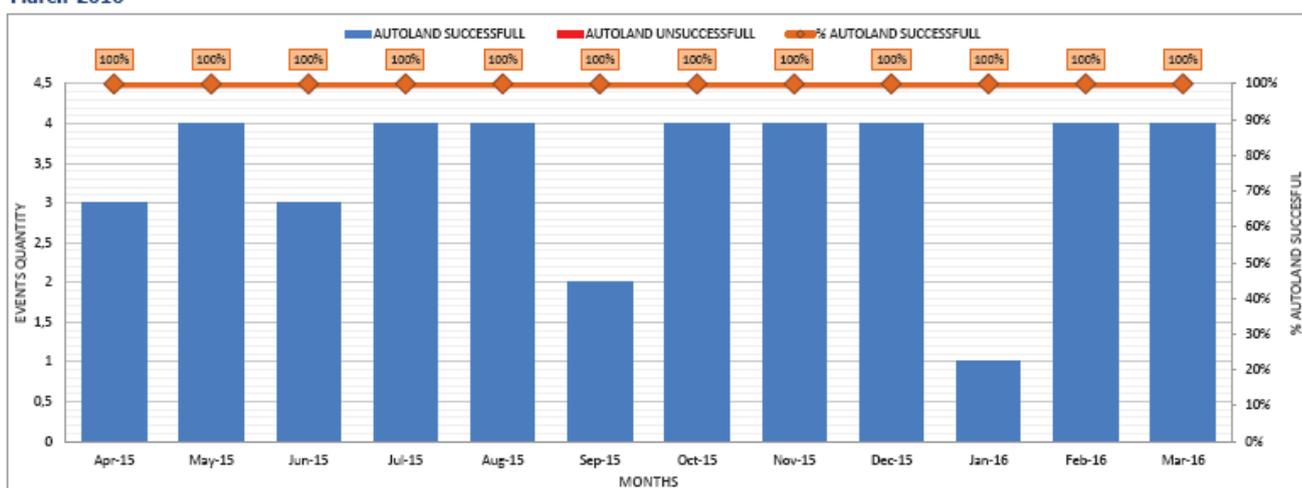
12M ENG FH = Horas de voo de motor acumuladas nos 12 meses.

A linha azul represente a taxa apresentada de empresa de mesma frota e modelo de operação similar utilizado como padrão de comparação. Pode-se observar que o limite imposto como máximo está abaixo do preconizado na regra que declara como máximo o valor de 0,03 a cada 1000 horas de voo, dado apresentado anteriormente na figura 2.

## 5.5 OPERAÇÕES DE POUSO AUTOMÁTICO POR BAIXA VISIBILIDADE

Dentro do contexto das operações de pouso automático para a manutenção de certificação de operação com baixa visibilidade ou, como também conhecida, CAT II/III, medisse a quantidade de pousos automático efetuados na frota, bem como, a taxa de sucessos destes pousos. Podemos observar na figura 12 que, embora tenha tido variação na quantidade de aeronaves testadas ao longo dos meses do ano, houve resultado de 100% de sucesso em todos os testes indicando alto índice de confiabilidade no sistema conforme esperado.

**CAT II/III OPERATION SUMMARY**  
**BOEING B767F**  
**March-2016**



AIRCRAFT QUANTITY	4											
CAT II/III OPERATION	Apr-15	May-15	Jun-15	Jul-15	Aug-15	Sep-15	Oct-15	Nov-15	Dec-15	Jan-16	Feb-16	Mar-16
AUTOLAND SUCCESSFULL	3	4	3	4	4	2	4	4	4	1	4	4
AUTOLAND UNSUCCESSFULL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CYCLES B767F	328	414	263	279	299	365	516	408	410	351	372	379
% AUTOLAND SUCCESSFULL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Figura 12 – Condição de operação CAT II/III

## 5.6 CONTROLE DE CONSUMO DE ÓLEO DOS MOTORES

### Engine Oil Consumption General Electric

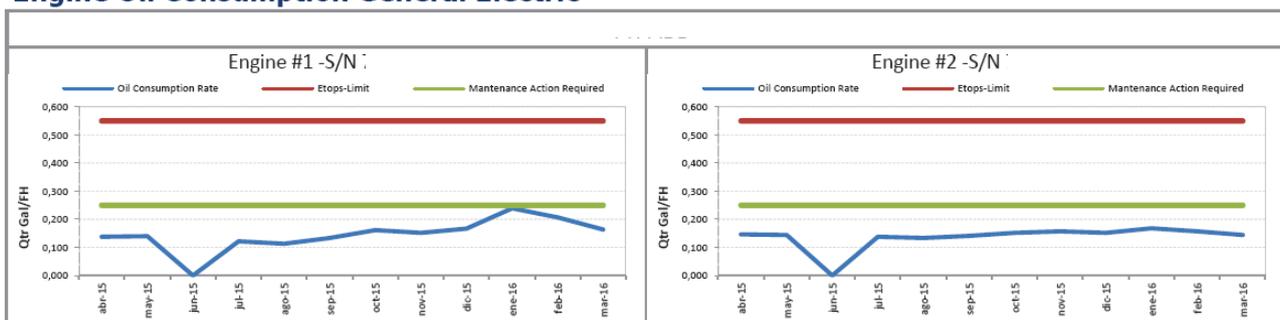


Figura 13 – Consumo de óleo dos motores

O controle do consumo de óleo mostrado na figura 13 apresenta dois limitantes, na parte superior a faixa vermelha representa o limite de 0,55 litros por hora voada, máximo de consumo para a continuidade de operações ETOPS. Dada a importância da manutenção deste tipo de operação para a economia de combustível e sendo este o insumo de maior custo da aviação comercial, é comum estipular níveis de alerta inferiores a este limite, neste caso observado na figura 13 pela faixa verde com limite de 0,25 litros por hora voada. Observa-se que mês de janeiro de 2016 o nível de consumo do motor esquerdo da figura 13, se elevou tangenciando a faixa verde de 0,25 litros por hora, voltando a níveis aceitáveis após interferência de ação de manutenção, com isso, impedindo tendência ao limite da faixa vermelha.

O nível de consumo de óleo zero observado no mês de junho de 2015 está relacionado à parada de operação da aeronave para manutenção programada durante todo o mês.

## 5.7 RELATO DE PILOTOS – PIREPS (PILOT REPORTS) E ALERTAS POR ATA

Figura 14 – Taxa de Relato de falha por ATA

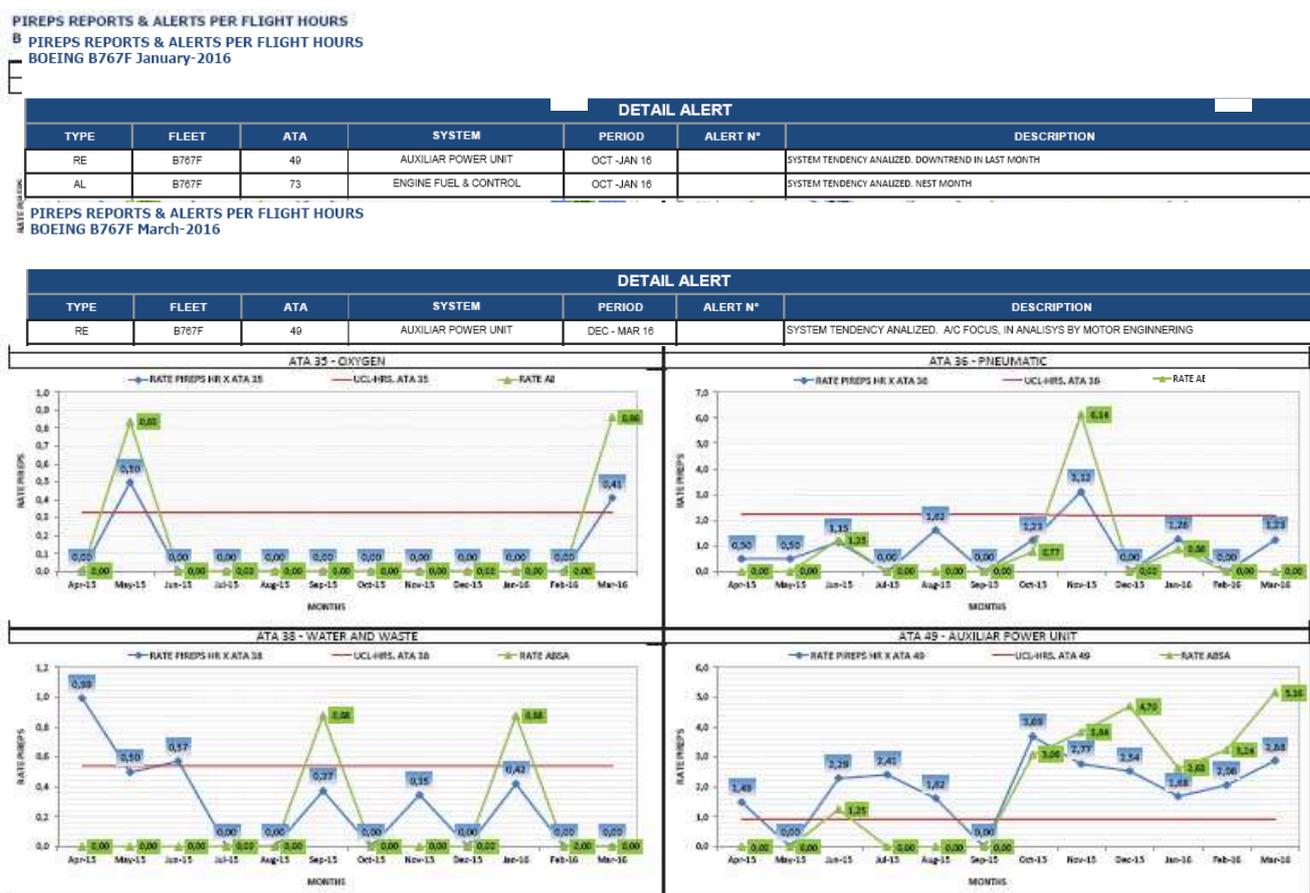


Figura 15 – Alertas por ATA

Os Relatos dos pilotos em ocasiões de falhas dos sistemas durante os voos consolida condição fundamental para o sistema de aeronavegabilidade continuada, disposto a emissão de alerta cada vez que a medição ultrapasse três meses consecutivos o limite superior de controle.

Embora o estudo tenha englobado todos os capítulos da ATA 100 que tem sistemas funcionais, estão expostos na figura 14 somente os capítulos ATA 33, 34, 35, 36, 38 e 49 para efeito de análise dos resultados, levando em consideração que o resultado obtido nos demais capítulos de ATA não teve grandes variabilidades.

Vale salientar que os gráficos apresentados na figura 14 apresentam resultados de duas frotas com as mesmas aeronaves B767, mas de operadores diferentes embora sejam de um mesmo grupo empresarial, sendo os resultados apresentados em verde objeto de nossa análise e os apresentados em azul vale somente para nível de comparação.

Podemos observar na ATA 33 que embora tenha havido grande variabilidade ao longo do ano, o nível superior de controle não foi ultrapassado em nenhum mês pela razão dos Relatos, bem como, apresentou-se em níveis de zero Relato durante sete meses, desta forma não havendo necessidade de emissão de alerta.

Na ATA 34 observa-se um comportamento acima do limite de controle nos primeiros três meses, havendo a necessidade de emissão de alerta e ação específica em falha intermitente do sistema de indicação de direcionamento. Após esta ação observa-se natural tendência a manutenção abaixo do limite superior de controle.

A ATA 35 apresenta a peculiaridade de ter o limite superior de controle muito baixo estando em 0,33, isto se dá em função do número baixíssimo de falhas ocorridas ao longo do ano estando em nível zero por dez meses. Dentro deste contexto, como o limite é calculado a partir do desvio padrão, basta uma simples falha para ultrapassar o limite, demonstrando que ultrapassar o limite superior de controle não deprecia a garantia da manutenção da aeronavegabilidade continuada.

A ATA 36 e a 38, têm comportamento similares, ficando a maior parte de do ano abaixo do limite de controle, com pequenos desvios pontuais.

No entanto, a ATA 49 mesmo se mantendo dentro dos limites até o mês de setembro de 2015, após este período entrou em níveis crescente acima do limite de controle em função de falha com maior complexidade de solução em duas

aeronaves da frota. Este nível se manteve mesmo com alertas emitidos em janeiro e março de 2016, mostrado na figura 16, neste caso mostrou-se necessário um trabalho conjunto entre operador, oficina reparadora da unidade de controle e fabricante do componente com esforços integrados para solução do problema.

## 5.8 MTBUR – TEMPO MÉDIO ENTRE REMOÇÕES NÃO PROGRAMADAS

ITEM	ATA	Description	A			B		
			Apr -15 a Mar - 16		Mar-16	Apr -15 a Mar - 16		Mar-16
			REM	MTBUR	REM	REM	MTBUR	REM
1	24	BATTERY	8	3.291	1	8	3.789	2
2	21	VALVE ASSY-TEMP CONT	5	5.266	0	4	7.578	0
3	24	GENERATOR -INTEGR. DRIVE (IDG) (GE)	11	2.393	1	5	6.062	0
4	36	HPSOV / PRV	7	7.522	0	17	3.566	4
5	35	CREW OXYGEN MASK	13	4.050	1	4	15.155	2
6	23	PANEL ASSY-AUDIO SELECTOR	2	26.328	0	2	30.310	0
7	25	VHF EMERGENCY LOC TX	2	13.164	0	4	7.578	1
8	21	VALVE ASSY-MODULATING	1	78.984	0	3	30.310	1
9	34	UNIT ASSY-INERTIAL REF.	0	---	0	1	45.465	0
10	36	VALVE ASSY-AIR SUPPLY PRESS.	5	5.266	0	10	3.031	1
11	36	CONTROLLER - PRESS. REG. VALVE	5	5.266	0	11	2.755	2
12	36	VALVE - H. P. CONTROLLER (ECS)	5	5.266	0	10	3.031	2

Figura 16 – MTBUR

A figura 16 apresenta amostra de 12 (doze) componentes com variedade de ATA, remoções acumuladas ao longo do ano, o MTBUR calculado para cada componente, bem como, o número de remoções do mês de março de 2016.

O MTBUR é calculado pelo modelo apresentado no subitem (3.2.6) desta monografia, sendo de suma importância ter outra referência da indústria para os componentes eleitos ao acompanhamento.

Dentro deste contexto a figura 16 apresenta os resultados da frota denominada (A) objeto deste estudo e os resultados de uma frota (B) aqui utilizada como referência comparativa, mas que é real e pertencente à empresa do mesmo grupo com a mesma frota, bem como, mesma quantidade de aeronaves. Vale salientar que este dado de referência comparativo pode também ser obtido com os fabricantes dos componentes ou associações de empresas aéreas internacionais.

Como resultado pode-se destacar as baterias do item (1) e o painel de áudio do item (6) com média pouco abaixo do praticado pela empresa comparativa (B) embora as quantidades no acumulado do ano sejam idênticas. Este resultado se dá em função das horas de operação das aeronaves no período.

Destaca-se também a unidade inercial do item (9), que mesmo estando apresentada para a medição de MTBUR não houve remoções para medição nos últimos doze meses.

Os componentes nas posições (2), (3) e (5) apresentaram níveis de MTBUR abaixo do esperado, necessitando atenção especial para o gerador de energia elétrica e máscara de oxigênio, com níveis de MTBUR em aproximadamente 33% da média praticada pela empresa (B). No caso do gerador a redução dos prazos para verificação de níveis de óleo e substituição de filtros são ações que podem corrigir o desvio, quanto às máscaras de oxigênio a causa raiz pode estar no próprio processo de teste e utilização. Devendo cada desvio observado nos resultados ser analisado para definição de ação a ser tomada para retorno aos níveis de confiabilidade inerente.

Quanto aos demais componentes da amostra, apresentaram MTBUR acima da comparação de referência, não havendo necessidade de ação.

## 6 CONCLUSÃO

O sistema de vigilância continuada proposto tratou a confiabilidade operacional em maior parte e tangenciou a tratativa dos resultados de auditorias como prevê o SASC. A confiabilidade pode ser tratada por períodos variados, neste trabalho a periodicidade adotada foi de 12 meses fatiados a cada 30 dias com comparações feitas ao período anterior. Foi observado que o modelo estatístico apresentado demonstrou robustez no que tange a pouca variabilidade dos dados e consequentemente facilidade de visualização dos desvios para a tomada de ação quando dos dados de confiabilidade estavam fora do esperado. No estudo de caso, foram observadas variáveis interessantes, tais como, a estabilidade da operação da frota através da média de horas anual, que não há relação entre o controle de atrasos acima de 15 minutos e a taxa de falhas por ATA no que tange redução de disponibilidade da aeronave para operação. Há que se destacar a necessidade de comparações com frotas similares a medições do MTBUR e falhas por ATA. De modo geral o estudo apresentado mostrou que a tratativa de dados estatísticos é ferramenta importante para suporte ao SASC e a manutenção da confiabilidade de projeto sustentada pelo programa de manutenção da Boeing para as aeronaves B767F tratadas neste estudo.

## REFERÊNCIAS

DHILLON, B.S. **Engineering maintenance** : a modern approach. 1 ed. New York: CRC Press LLC, 2002.

PHAM, Hoang. **Handbook of Reliability Engineering**. 1 ed. London: Springer Verlag, 2003.

DUEH, Carlos. **Análise de Confiabilidade na Manutenção de Componente Mecânico de Aviação**, 2005. Disponível em < [http://cascavel.ufsm.br/tede/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=1251](http://cascavel.ufsm.br/tede/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1251)>. Acesso em 26/02/2016.

BRASIL. Agencia Nacional de Aviação Civil. **IS Nº 120-079A** - Sistema de Análise e Supervisão Continuada - Publicada no Diário Oficial da União Nº 118, S/1, p. 11, de 24/06/2009. Disponível em < <http://www2.anac.gov.br/certificacao/CI/Textos/IS-120-79A-P.pdf>>. Acesso em: 25/02/2016.

U.S. Department of Transportation. Federal Aviation Administration. **AC No: 120-79A** - Developing and Implementing an Air Carrier Continuing Analysis and Surveillance System – 09/07/2010. Disponível em < [http://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory\\_Circular/AC%20120-79A.pdf](http://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC%20120-79A.pdf)>. Acesso em: 01/03/2016.

U.S. Department of Transportation. Federal Aviation Administration. **AC No: 120-17A** – Maintenance Control by Reliability Methods – March, 27/1978. Disponível em < [http://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory\\_Circular/AC%20120-17A.pdf](http://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC%20120-17A.pdf)>. Acesso em: 01/03/2016.

IATA. **Best Practices for Component Maintenance Cost Management**. 1 ed. International Transport Association, Montreal, 2015. Disponível em < [https://www.iata.org/whatwedo/workgroups/Documents/ACC-2014-GVA/optimizing-component-mtce-cost\\_GWI.pdf](https://www.iata.org/whatwedo/workgroups/Documents/ACC-2014-GVA/optimizing-component-mtce-cost_GWI.pdf)>. Acesso em: 26/02/2016.

U.S. Department of Transportation. Federal Aviation Administration. **AC No: 120-29A** – Criteria For Approval Of Category I And Category II Weather Minima For Approach – August, 12/2002. Disponível em < [http://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory\\_Circular/AC120-29A.pdf](http://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC120-29A.pdf)>. Acesso em: 01/03/2016.

U.S. Department of Transportation. Federal Aviation Administration. **AC No: 120-42B** – Extended Operations (ETOPS) – August, 12/2002. Disponível em <[http://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory\\_Circular/120-42B.pdf](http://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/120-42B.pdf)>. Acesso em: 01/03/2016.

U.S. Department of Transportation. Federal Aviation Administration. – **Joint Aircraft System/Component Code Table** – February, 11/2002. Disponível em < <http://www.air.flyingway.com/books/jasc-codes.pdf>>. Acesso em: 01/03/2016.

MONTGOMERY. D. C. **Introduction to Statistical Quality Control**, 6th ed. Arizona. John Wiley & Sons, Inc., 2009.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Biblioteca Central. Normas para elaboração de monografia. Curitiba, 2004. Disponível em <[http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Pesquisa/manuais de normalizacao/Normas%20para%20monografia.pdf](http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Pesquisa/manuais%20de%20normalizacao/Normas%20para%20monografia.pdf)>. Acesso em 15/05/2016.