

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE ESPECIALIZAÇÃO EM GERÊNCIA DE MANUTENÇÃO

RODRIGO CARLOS JACOBS

GESTÃO DE CUSTOS DE REPARO DE COMPONENTES
AERONÁUTICOS BASEADA EM CONFIABILIDADE

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2017

RODRIGO CARLOS JACOBS

**GESTÃO DE CUSTOS DE REPARO DE COMPONENTES
AERONÁUTICOS BASEADA EM CONFIABILIDADE**

Monografia de conclusão de curso de Especialização em Gerência de Manutenção, da Diretoria de Pesquisa e Pós-graduação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Gerência de Manutenção.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Rodrigues

Co-orientador: Eng. Rozana Nogueira

CURITIBA

2017



TERMO DE APROVAÇÃO

GESTÃO DE CUSTOS DE REPARO DE COMPONENTES AERONÁUTICOS BASEADA EM CONFIABILIDADE

por

RODRIGO CARLOS JACOBS

Esta Monografia foi submetida em vinte e oito de março de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Gerência de Manutenção. O candidato foi avaliado pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Marcelo Rodrigues, Dr.
Coordenador de Curso

ORIENTAÇÃO

Marcelo Rodrigues, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

Rozana Nogueira, Eng.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Coorientador

BANCA EXAMINADORA

Emerson Rigoni, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Carlos Henrique Karam Salata, Esp.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais,
pelos exemplos e ensinamentos que me dão força e determinação.
À minha esposa,
pela sua constante dedicação em me elevar.

Engenharia de Manutenção é deixar de ficar consertando continuamente, para procurar as causas básicas, modificar situações permanentes de mau desempenho, deixar de conviver com problemas crônicos, melhorar padrões e sistemáticas, desenvolver a manutenibilidade, dar *feedback* ao Projeto, interferir tecnicamente nas compras. (KARDEC, Alan, 2001)

RESUMO

JACOBS, Rodrigo C. **Gestão de Custos de Reparo de Componentes Aeronáuticos Baseada em Confiabilidade**. 2017. 41 páginas. Monografia da Especialização em Gerência de Manutenção - Diretoria de Pesquisa e Pós-graduação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR 2017.

Componentes instalados em uma aeronave e removidos em um curto espaço de tempo podem ser listados por operadores de linhas aéreas com o objetivo de reduzir custos de manutenção, a serem analisadas as causas do curto ciclo de vida e intervindo na causa raiz. A automatização desse processo pode gerar resultados a curto prazo na identificação das causas antes de eventuais falhas. A terceirização do estoque de reparáveis por uma taxa fixa por hora de voo é uma solução para estabilizar o fluxo de caixa para operadores que também reduz os custos de gestão de estoque. Entretanto eventos de falhas prematuras não são evitados por esse tipo de serviço, mantendo-se a aviação comercial ainda exposta aos prejuízos financeiros por esse modo de falha. Propõe-se uma parceria para reduzir os riscos de perdas por falhas e otimizar recursos para ambos os lados, liderado agora pelos fornecedores de estoque de reparáveis. Como resultado se tem uma maior disponibilidade de aeronaves e uma manutenção mais eficiente para os clientes, e para o fornecedor um produto mais barato e competitivo no mercado, além de mais rentável pelo estoque otimizado com menos remoções.

Palavras-chave: Manutenção de aeronaves. Gestão de reparo. Falhas repetitivas.

ABSTRACT

JACOBS, Rodrigo C. **Reliability Based Cost Management of Aeronautical Repairable Components**. 2017. 41 pages. Monograph in Maintenance Management - Federal Technology University - Paraná. Curitiba, 2017.

To reduce maintenance costs on aircrafts operators can list the components installed in an airplane and removed after a short time in service, analyzing the root cause of the short life in service and correcting that problem. By automating this process, operators can get results quickly and identify root causes sooner. Outsourcing the rotatable inventory by a fixed price per hour is a solution to eliminate the risks for operators and reduce the management costs. However, this business by itself is not a guarantee to eliminate the short life units, still affecting directly the airline's business. This scenario demands a joint effort to reduce risks and optimize resources for both sides, leaded now by the inventory providers.

Keywords: Aircraft maintenance. Repair management. Rogue units.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma do método de pesquisa executado.....	16
Figura 2: Curvas de Probabilidade de Falha. Adaptado de NASA, 2008.	30

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Dados completos e suspensos. Adaptado de RELIASOFT, 2015.	29
Gráfico 2: Remoções por tempo de operação de TCQ E-Jets 2013 a 2015.	36

LISTA DE TABELAS

Quadro 1: Critérios para avaliação visual de remoções.....	31
--	----

LISTA DE EQUAÇÕES

DMCAeronave	Equação 1	19
DMCAeronave	Equação 2	19
DMCComponente	Equação 3	19
DMCComponente	Equação 4	20
MTBUR	Equação 5.....	28

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 TEMA	13
1.1.1 Delimitação do Tema	14
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA	14
1.3 OBJETIVOS	14
1.3.1 Objetivo Geral	14
1.3.2 Objetivos Específicos.....	15
1.4 JUSTIFICATIVA	15
1.5 METODOLOGIA DE PESQUISA APLICADA	16
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2 REDUÇÃO DE REMOÇÕES DE COMPONENTES AERONÁUTICOS REPARÁVEIS	19
2.1 CAUSAS DE AUMENTO DE ROTATIVIDADE DE ESTOQUE	20
2.1.1 O efeito do NFF	21
2.1.2 O efeito de unidades <i>Rogue</i>	22
2.1.3 O efeito de práticas de manutenção inadequadas	23
3 O CASO PUBLICADO PELA BOEING	24
3 24	
3.1 PROCESSO DE REDUÇÃO DE REMOÇÕES DE COMPONENTES (RRC) ..	24
4 PROPOSTA DE INTEGRADOR DE SUPORTE AO PRODUTO	26
4.1 SELECIONANDO PRIORIDADES	27
4.2 CONFIABILIDADE	28
4.3 ANÁLISES DE DESEMPENHO	30
4.3.1 Exemplos de análise de causa raiz.....	33
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	35
5.1 RETORNO FINANCEIRO	35
6 COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES	38
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	39
REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

Aeronaves comerciais de passageiros totalizaram mais de 21.600 unidades em serviço em 2014 (BOEING, 2015). Dado a essa quantidade de aeronaves em operação comercial hoje e quão importante é a segurança na operação deles, MRO (Manutenção, Reparos e Operações) evoluiu para se tornar um importante negócio da aviação comercial. Novos desafios estão em vista para esse grande mercado, principalmente pelo fato dos fabricantes estarem aumentando a participação nesse setor, dominado antes por reparadores independentes. Para uma referência do tamanho desse mercado uma companhia especializada em pesquisa, Visiongain, determinou que o valor do mercado de MRO da aviação comercial em 2014 alcançaria \$53,4 bilhões (VISIOGAIN, 2014).

Focando nesse negócio em ascensão algumas empresas oferecem produtos especiais de peças reparáveis, o que possibilita para operadores o acesso de componentes críticos de forma rápida e global. Além disso os clientes desse tipo de serviço se beneficiam pela redução de custos através da escala, pelo compartilhamento dos estoques, minimizando assim o investimento em custosos inventários de reparáveis. Outros benefícios do produto são a estabilização a longo prazo do orçamento de manutenção e a redução de custos administrativos na gestão de reparáveis (BOEING EDGE, 2014; EMBRAER, 2015).

1.1 TEMA

Em um negócio de Estoque Compartilhado de Reparáveis, também conhecido como Pool, os componentes são gerenciados por um terceiro contratado pela linha aérea. Esta empresa terceirizada tem como negócio principal a gestão de componentes aeronáuticos, abraçando a gestão de reparo de componentes, gestão de documentos, logística de sobressalentes e inclusive na própria execução do reparo. Esse tipo de serviço normalmente é cobrado em dólares por hora voada no mês, o que significa que os custos de reparo e o desempenho estão ligados. Contratos como esse transferem a qualidade dos reparos para o vendedor do serviço, forçando-o a trabalhar por um custo de reparo baixo e uma máxima performance dos componentes (AIRCRAFT COMMERCE, 2015).

1.1.1 Delimitação do Tema

O foco do texto é o aumento da rentabilidade de serviços de estoque e reparo de componentes aeronáuticos através do controle de desempenho, análises de falhas e integração entre as partes envolvidas.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Em geral cada componente pode gerar um grupo de modos de falha, próprio de cada tecnologia. Por sua vez cada modo de falha pode ocorrer por um grupo de causas (SIQUEIRA, 2005). O que parece acontecer quando uma linha aérea contrata um serviço Pool é que o lucro ou perdas devidas à performance de manutenção são transferidos juntamente com a responsabilidade técnica. Entretanto várias causas de falhas permanecem nas mãos dos operadores devido às práticas de manutenção executadas por eles.

Dentro deste contexto apresentado, surge a seguinte pergunta de pesquisa: É possível aumentar a lucratividade de um Serviço de Estoque Compartilhado, por meio da redução de custos de reparo e volume de estoque, sem perder a confiabilidade do produto oferecido?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma metodologia para reduzir o número de remoções de componentes reparáveis de aeronaves comerciais.

1.3.2 Objetivos Específicos:

- Compreender fatores de aumentam o número de remoções não programadas.
- Desenvolver um processo para reduzir remoções de componentes.
- Estabelecer uma política de relação com as empresas envolvidas na manutenção de componentes.
- Selecionar prioridades (componentes) que possibilitem o maior retorno.
- Estabelecer uma metodologia para análise de falhas.
- Aplicar metodologia em um caso prático.

1.4 JUSTIFICATIVA

Negociações de contratos de manutenção e controle de desempenho de componentes pelo tempo médio entre remoções não programadas são outras possíveis ações para aumentar a lucratividade de serviços de estoques compartilhados na aviação comercial. Entretanto por serem de execução mais simples e maior abrangência essas frentes já são amplamente exploradas e percebe-se uma escassez de oportunidades.

Assim fatores que estão fora do controle da empresa gestora do serviço de estoque compartilhado surgem como próximos desafios. Pela atuação agressiva de outros *players* estar sempre à frente pode significar a continuidade ou não do negócio. Mesmo exigindo esforços e investimentos maiores comparado aos sistemas de gestão tradicionais, o controle focado em identificar perdas pontuais se viabiliza pela economia de escala gerada por grandes frotas. Em outras palavras, justificar análises de falha e horas de engenharia para evitar remoções indevidas para uma frota de cinco aeronaves é inviável, mas quando o serviço cobre 500 os ganhos se sobressaem aos valores aplicados.

Além disso se uma companhia aérea reduz os esforços aplicados na qualidade da manutenção, pelo fato dos reparáveis já estarem pagos, as perdas por pelos atrasos e cancelamentos dos voos, as equipes de resgate necessárias e as

horas de manutenção investidas nas remoções e instalações podem ser ainda maiores quando comparados com os custos de reparo salvos pelo contrato.

Por fim pode-se concluir que como resultado não se tem somente o aumento das margens do serviço, mas também o aumento da competitividade dos clientes que operam as linhas áreas e constante esforço para o sucesso da aeronave no mercado.

1.5 METODOLOGIA DE PESQUISA APLICADA

Para se atingir os resultados desejados desta pesquisa foi elaborado um protocolo que é ilustrado na Figura 1.



Figura 1 Protocolo de pesquisa
Fonte: próprio autor

A seguir são descritas brevemente como foram desenvolvidas cada uma das etapas:

- i. Mapear Literatura: durante a pesquisa foram encontrados poucos exemplares de publicações literárias sobre o serviço de peças aeronáuticas, diferentemente dos exemplares que abordavam assuntos mais abrangentes, como engenharia de manutenção e MSG-3. Esse fato justifica-se por ser um assunto específico e considerado diferencial competitivo para as empresas que oferecem os serviços. Portanto o estudo se baseou nas experiências e

técnicas presentes em textos de publicações periódicas do setor de manutenção aeronáutica, escritos geralmente por especialistas da área.

- ii. Realizar benchmark: para o benchmark foram utilizados relatos publicados da Net Jets e Boeing, além de entrevista feita com Engenheiro de Confiabilidade Jim Saltigerald que trabalha em um time focado em redução de remoções de componentes aeronáuticos.
- iii. Definir aplicabilidade de material literário: após coleta de material, foi definido um limite de ação para o trabalho, focando em publicações relativas ao serviço a ser aprimorado.
- iv. Descrever proposta do novo processo de gestão: a partir do resultado da pesquisa foi possível elaborar uma proposta para o atual processo de gestão. Essa proposta baseada nos casos publicados leva agora em consideração o serviço de peças reparáveis (Pool), não presente antes no benchmark feito nem nos estudos de caso.
- v. Mapear exemplos de caso: com a proposta de análise de falha para casos pontuais, foram realizadas entrevistas com profissionais da área de suporte técnico para identificar casos anteriores que pudessem exemplificar os ganhos potenciais do processo.
- vi. Aplicar conceitos em caso prático: comprovado o potencial de ganho em dois exemplos identificados, surgiu a oportunidade de aplicar os conceitos em um caso prático que estava em negociação. Um componente com baixa performance, que estava impactando negativamente os resultados, com causa de remoção não identificada.
- vii. Mapear resultados: após concluídas etapas da análise de falha, integração com fornecedores, clientes, visitas técnicas e negociações com fornecedores, foi possível mapear ganhos para o processo.
- viii. Identificar novas oportunidades: por fim, após percorrido todo o processo de pesquisa, são descritas oportunidades para automatização e melhorias do novo método de gestão.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo 1 iniciou com a introdução do projeto, o tema, objetivos do estudo, mostrando o problema e premissas, a justificativa, e uma breve apresentação da metodologia.

O capítulo 2 analisará as causas que resultam em remoções desnecessárias, descrevendo de acordo com literaturas e publicações sobre cada uma.

O capítulo 3 descreverá o estudo de caso feito pela Boeing, com seus resultados e a proposta de novo método de gestão para redução de remoções.

O capítulo 4 tratará do produto principal do estudo, um projeto adaptado baseado na proposta da Boeing do capítulo anterior, mas agora considerando também o serviço de estoque compartilhado.

O capítulo 5 apresentará as melhorias no sistema de gestão a partir da aplicação dos conceitos em uma empresa que fornece o serviço de estoque compartilhado. Também serão descritos os resultados da aplicação prática da proposta do capítulo anterior.

Por último o capítulo 6 encerra o estudo com as considerações finais e proposições de trabalhos futuros para a continuação e aprimoramento da linha de pesquisa iniciada nesse trabalho.

2 REDUÇÃO DE REMOÇÕES DE COMPONENTES AERONÁUTICOS REPARÁVEIS

Um critério de qualidade de uma aeronave comercial é a capacidade de gerar lucro através do transporte de pessoas. Dentre as inúmeras variáveis que impactam esse critério temos o custo direto de manutenção (DMC, em inglês *Direct Maintenance Cost*). E esse índice por sua vez também é formado por diversas variáveis, das quais trataremos do número de remoções de componentes reparáveis nesse capítulo, sendo justificada a sua seleção a seguir.

O DMC de uma aeronave é usualmente calculado dividindo-se os gastos acumulados pelas horas voadas de um mesmo período. A Equação 1 ilustra a fórmula do DMC abaixo:

$$DMC_{Aeronave} = \frac{\text{Custo Total de Manutenção [USD]}}{\text{Total de Horas Voadas [FH]}} \quad \text{Equação 1}$$

Esse número pode ser considerado sendo a soma dos custos dos N os componentes do projeto, conforme a Equação 2. De uma maneira estratificada é possível classificar e focar esforços para redução de custos em itens mais representativos, potencializando o retorno.

$$DMC_{Aeronave} = DMC_{Comp.1} + DMC_{Comp.2} + \dots + DMC_{Componente N} \quad \text{Equação 2}$$

Já o DMC do componente pode ser calculado de forma análoga ao da aeronave, ou ainda através do custo médio de reparo dividido pelo tempo médio entre remoções, conforme as Equações 3 e 4.

$$DMC_{Componente} = \frac{\text{Custo Total de Manutenção do Componente [USD]}}{\text{Quantidade de Comp. por Aeronave * Total de Horas Voadas [FH]}} \quad \text{Equação 3}$$

$$DMC_{Componente} = \frac{\text{Custo Médio de Manutenção do Comp. [USD]} * \text{Total de Remoções}}{\text{Quantidade de Comp. por Aeronave} * \text{Total de Horas Voadas [FH]}} \quad \text{Equação 4}$$

Através da Equação 4 é possível concluir que para reduzir o custo direto de manutenção relacionado a um componente deve-se reduzir o custo médio de reparo ou ainda o número de remoções de um componente, sendo esse último o tema escolhido a ser detalhado nas próximas páginas.

De maneira direta pode-se concluir que reduzindo o número de remoções temos a redução do total de custos de reparo, mas além disso temos a redução da rotatividade de estoque. Com essa redução o volume de estoque necessário para suportar a operação também diminui, reduzindo assim o ativo imobilizado necessário da empresa, viabilizando assim um maior caixa de giro e também o aumento de lucratividade do negócio.

2.1 CAUSAS DE AUMENTO DE ROTATIVIDADE DE ESTOQUE

Em um serviço Pool são identificadas três situações principais que aumentam a rotatividade de estoque:

a. Falha Não Encontrada

Conhecida pelo termo em inglês *No Fault Found* (NFF), é definida pela ARINC 672 (2008) como o resultado do teste que não apresentou falhas nos critérios de manutenção de uma unidade removida com falha.

b. Itens Não Confiáveis

Conhecida em inglês pelo termo *Rogue Unit*, esse tipo de componente é característico por repetitivamente falhar após pouco tempo em serviço, manifestando a mesma falha no sistema todas as vezes, e que a troca do componente resolve o mal funcionamento. O problema acontece quando a peça é enviada para reparo e o teste de bancada padrão não identifica o modo de falha não usual, retornando assim para o estoque (CARROLL, 2005).

c. Falhas por Práticas de Manutenção (falhas humanas)

O modo de falha relacionado ao comportamento humano é provavelmente o menos entendido, e por causa disso mais difícil de ser classificado. Siqueira (2005) estrutura a falha humana em quatro diferentes categorias: distração, descuido, erro e violação.

É importante salientar que essas situações não são independentes, elas podem estar relacionadas e influenciadas umas pelas outras.

2.1.1 O efeito do NFF

NFF ocorre quando um componente que aparentemente falhou em voo é enviado para oficina de reparo ou para o fabricante testar, mas nenhuma falha é encontrada. “Para consertar um problema [de NFF] demanda muito mais esforço comparado se [os técnicos] encontrassem um problema”, relata Bob Staples, diretor de aviação da Midcoast Aviation. “Fabricantes tendem a achar que o operador não fez a lição de casa ou talvez esteja apenas 'atirando para todos os lados' para colocar a aeronave operacional novamente, e operadores pensam que os fabricantes não fazem um bom trabalho resolvendo a causa raiz do problema”. Como ambos os lados têm razão em seu ponto de vista, para combater um problema de falha não encontrada requer cooperação e contínua comunicação entre operadores e fabricantes (RAMSEY, 2005).

O evento de NFF custa horas de mão de obra para remover, envolve custos logísticos de movimentação para geralmente longas distâncias, custos de teste em equipamentos usualmente caros e requer aumentos onerosos de estoque. Muito pior, falhas não encontradas podem causar grandes prejuízos em atrasos ou ainda em cancelamentos de voos quando são itens no-go identificados na lista de equipamentos mínimos (*Minimum Equipment List* – MEL) por um motivo aparentemente não justificado (AIRCRAFT COMMERCE, 2015).

NFFs são comuns em itens de aviação e podem ser a maioria de componentes enviadas para oficinas para inspeção. Uma menor parte do problema é composta dos itens que realmente tem um comportamento ruim. Conhecidos por itens rogue (não confiáveis), esses são componentes enviados para oficinas

repetidamente e frequentemente pelo mesmo motivo, mas eles sempre desempenham como novas nos testes de bancada (CANADAY, 2014).

2.1.2 O efeito de unidades *Rogue*

Quando um componente apresenta uma falha que não foi detectada pelo procedimento de teste de bancada, nasce um item *rogue* e a falha nunca será identificada ou resolvida. Esses problemas não identificados podem acumular de acordo com que o sistema envelhece (SHAWLE and HUMPHREY, 2001).

O principal motivo que um componente “engana” o teste é porque testes de bancada não cobrem 100% das funções, características ou ambiente de operação de uma peça. Análises com diversos componentes originais de fabricantes revelam que testes de bancada cobrem tipicamente 85% de todas as funções desempenhadas (CARROLL, 2009).

Quando um dos componentes em serviço desenvolve uma falha não identificável, ele é removido e enviado para a oficina de reparo. Como a falha não será identificada pelo teste de bancada padrão ou procedimento de restauração, não é possível duplicar a falha e corrigir. O teste procede normalmente, resultando em Falha Não Encontrada e retornando para o estoque de sobressalentes.

Enquanto a população de peças em serviço opera normalmente, o componente não confiável permanecerá no estoque de sobressalentes. Esse caso se repetirá todas as vezes que esse modo de falha acontecer. Aplicando-se a prática de FIFO (*first in first out*) no estoque todos os outros itens reparáveis serão substituídos antes do *rogue* ser reinstalado. Desse modo um processo de “seleção natural” garante que os componentes não confiáveis são organizados no local de maior desvantagem de um processo de gestão de ativos: o estoque de sobressalentes. Tem-se registro de casos onde até 70% de todo estoque de sobressalentes havia sido substituído por componentes *rogue* (CARROLL, 2009).

2.1.3 O efeito de práticas de manutenção inadequadas

A exemplo dos modos de falha de equipamentos, a análise das causas subjacentes ao comportamento humano exige a participação de especialistas nestas áreas, para a correta identificação dos mecanismos de falhas.

Siqueira (2005) relaciona uma das possíveis classificações dos modos de falha humanos, considerando os aspectos de atenção, esquecimento, conhecimento e intenção:

- i. Distração: falha de atenção, em que uma ação prevista não é executada ou é substituída por uma alternativa errada, por acidente, mesmo havendo a compreensão correta da situação e a formulação correta das intenções;
- ii. Lapso: quando uma ação prevista não é executada, por esquecimento do executante ou planejador;
- iii. Engano: falha de conhecimento, provocada por erro de interpretação na execução ou formulação de um plano; e
- iv. Violação: desvio intencional de regras, práticas, procedimentos e normas estabelecidas. (SIQUEIRA, 2005).

A indústria aeronáutica adota o FMEA como a técnica de análise de problemas em aeronaves antes mesmo do primeiro voo, até mesmo no desenvolvimento dos protótipos, incluindo procedimentos de manutenção e os riscos envolvidos em cada tarefa. Conforme exigência o método de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), para pontos críticos levantados no FMEA contramedidas na manutenção devem ser aplicadas para mitigar e minimizar os riscos (e.g. procedimentos escritos organizados no Manual de Práticas e Procedimentos de Manutenção, dupla inspeção, testes não destrutivos) (PINTO & XAVIER, 2001).

3 O CASO PUBLICADO PELA BOEING

Nesse capítulo será analisado um relato de caso publicado pela Boeing, com o objetivo de reduzir os custos de operação de aeronaves. Esse experimento serve como referência para planejar uma mudança no método atual de gestão de estoques compartilhados.

No primeiro trimestre de 2000 a Boeing publicou um artigo descrevendo um processo para ajudar operadores a resolver problemas de atrasos e reduzir as remoções não programadas por falhas. Essa publicação explica o que eles fizeram para um operador de 737 com uma frota de quatro aeronaves reduzir o número de remoções não programadas de componentes substituíveis de linha de 32 para 18 por mês (OAKES, 2012).

Independentemente do tamanho da frota qualquer operador de linha aérea, oficina ou mesmo fabricante poderia seguir o processo de Redução de Remoções de Componentes para reduzir o número de substituições não programadas. Uma grande oficina de manutenção criou um programa de computador baseado no processo descrito e registrou depois de seis meses \$1 milhão em redução de custos de manutenção aplicando o método computadorizado (OAKES, 2012).

3.1 PROCESSO DE REDUÇÃO DE REMOÇÕES DE COMPONENTES (RRC)

O processo descrito pela Boeing tem dois passos:

a. Extrair dados de registros de manutenção

Operadores poderiam projetar uma consulta de banco de dados para extrair as informações necessárias para uma pesquisa de RRC. Algumas bases de dados podem ter uma quantidade expressiva para ser analisada manualmente, mas esses resultados podem ser movidos para uma planilha de cálculo para simplificar a análise.

b. Reduzir e refinar os dados brutos

Após as informações relevantes terem sido extraídas, operadores podem usar macros de planilhas de cálculo para automatizar o processo de procura de

quando um componente específico foi instalado e após quanto tempo foi removido, calculando o total de horas voadas na aeronave.

Com os dados calculados e os curtos períodos de operação identificados (*i.e.*, horas de voo) são necessárias ações para reduzir os custos de manutenção e aperfeiçoar o desempenho dos componentes. Uma investigação pode ser desenvolvida para cada unidade e tomada a ação necessária para eliminar a causa da remoção antecipada. A priorização pode ser focada no tempo curto de vida ou ainda nos componentes mais caros. (OAKES, 2012).

No ponto de vista de Thomas Carroll (2006) também é importante apresentar a causa raiz da análise e as recomendações para as equipes apropriadas, facilitando a colaboração, monitorando resultados, reportando as experiências de sucesso ou falhas, compartilhando as lições aprendidas e participando do desenvolvimento das modificações de projetos de componentes contribuindo com parâmetros de operação (quando aplicável).

4 PROPOSTA DE INTEGRADOR DE SUPORTE AO PRODUTO

A partir do processo proposto, nesse capítulo serão descritos brevemente os critérios técnicos necessários a serem considerados no planejamento da nova metodologia.

Com o entendimento do método desenvolvido pela Boeing a solução aparenta de simples implementação. Mas existem algumas situações na indústria aeronáutica que dificultam ter uma visão completa do sistema:

- a. O fabricante não sabe realmente o que o operador de linha aérea faz com as aeronaves;
- b. O operador não tem certeza do que o centro de serviços de manutenção está fazendo;
- c. O centro de serviços de manutenção não consegue dizer o que as oficinas reparadoras de componentes fazem (CARROL, 2006).

Devido a essa falta de comunicação é impossível aprimorar o processo estando isolado de todo o resto. Portanto se faz necessário a figura de um Integrador de Suporte ao Produto (ISP) para estabelecer e liderar um time multidisciplinar que inclui todos os envolvidos. A melhor posição para tornar-se esse ISP é tipicamente a Engenharia de Confiabilidade do operador de linha aérea, tal qual Thomas Carroll sugere (2006).

Mas ao considerar o recente negócio de estoque compartilhado de sobressalentes o centro gravitacional se move àquele responsável por gerar lucro e resultados com esse ativo. E considerando os casos que o fabricante é o próprio fornecedor do serviço é ainda mais evidente que ele está na melhor posição de integração, pela sua posição privilegiada com fornecedores, pelo total acesso ao time de engenharia de desenvolvimento e também pelos sistemas de distribuição e pós-venda já estruturados no mercado.

Independentemente de quem liderará esse processo de integração as lacunas na comunicação entre a linha aérea, o fabricante da aeronave, os fabricantes de componentes, os centros de serviços e as oficinas de reparo devem ser preenchidas (CARROLL, 2006).

4.1 SELECIONANDO PRIORIDADES

A chave do método em questão é identificar os componentes que estão causando prejuízos, que colocam o negócio da linha área em risco pelas falhas, minimizando a exposição pela redução de remoções, ou seja, melhorando o desempenho dos componentes.

Para iniciar o processo os primeiros esforços devem ser focados nos itens de maior potencial de retorno financeiro, os eventos ou componentes identificados como mais caros.

Jim Saltigerald, analista de confiabilidade da Air Wisconsin, da mesma forma recomenda quando trabalhando na redução de NFF concentrar primeiro nos itens de maior custo, mesmo quando de baixa frequência. Em seguida focar nas falhas não identificadas que custam pouco mas são frequentes, e por último nos itens de baixo custo e baixa frequência (CANADAY, 2014).

De forma similar a priorização pode ser feita por um Gráfico de Pareto nos custos totais de reparo, considerando também os altos custos como prioridades. Usualmente os serviços Pool são vendidos por um custo fixo por hora de voo registrado pela frota, portanto essa priorização pode ser também feita pela diferença entre os custos planejados e os reais, formato mais familiar e palpável para profissionais do ramo. Na gestão dos custos do serviço Pool, quando o produto é vendido por pacotes (e.g. dividido por grupo de fornecedor ou tecnologia), é importante considerar o tamanho das frotas cobertas por cada pacote e as horas voadas de cada cliente para ponderar de forma correta no Gráfico de Pareto.

Indiferentemente do método usado para priorizar é importante considerar não somente o desempenho de componentes ou as taxas de NFF, mas também os custos relacionados. Dessa forma fica mais clara a monetização e potencializa os ganhos, garantindo assim que os esforços serão aplicados nos itens com maior potencial, evitando assim trabalhar em itens irrelevantes.

4.2 CONFIABILIDADE

O índice tradicional para programar intervalos de manutenção é o *Mean Time Between Unscheduled Removals* (MTBUR, tempo médio entre remoções não programadas, tradução livre), calculado através da equação 5:

$$MTBUR = \frac{\text{Total de Horas de Voo} * \text{Total de Componentes Por Aeronave}}{\text{Número de Remoções Não Programadas}} \quad \text{Equação 5}$$

Mas um erro comum é assumir que o MTBUR significa o quanto cada componente desempenha em serviço, conforme exemplo a seguir:

Exemplo 1: Cálculo de MTBUR (CARROLL, 2005).

- *20 aeronaves novas, sendo 2 componentes instalados por aeronave*
- *Utilização anual de 3.000 horas de voo por aeronave*

$$\text{Total de Horas de Voo} = 40 * 3000 = 120.000 \text{ Horas de Voo}$$

- *4 remoções não programadas no período*

$$MTBUR = 120.000 / 4 = 30.000 \text{ Horas de Voo}$$

Na prática esse número de 30.000 HV não representa o tempo que um componente opera em uma aeronave. Como a vida média do item poderia ser 30.000 HV sendo que nenhum componente passou das 3.000 horas de operação? Isso porque 30.000 HV reflete a taxa de reposição na frota. Em outras palavras assumir o MTBUR como a expectativa de vida de um componente não passa de uma aproximação, podendo conter grandes erros dependendo do componente considerado (CARROLL, 2005).

Para medir a confiabilidade é necessário analisar cada componente, cada peça individualmente, mapeando as vidas dos indivíduos do início ao fim, agrupando essas vidas para análise, sendo possível assim comparar os itens “bons” dos “ruins”. Para isso é necessário coletar todas as informações relacionadas: números de série, números das peças, datas das remoções, razões das remoções, compilando de forma contínua do “nascimento” (instalação) à “morte” (remoção) de forma visual (CARROLL, 2005).

Essa forma de classificação da instalação à remoção é classificada pela RELIASOFT como dados completos. Mas em vários casos sabemos de componentes que foram instalados e ainda não foram removidos. Esses casos são classificados como censurados à direita, ou ainda suspensos. O Gráfico 1 exemplifica o alinhamento do início de operação dos componentes comparando dados completos e suspensos (2015).

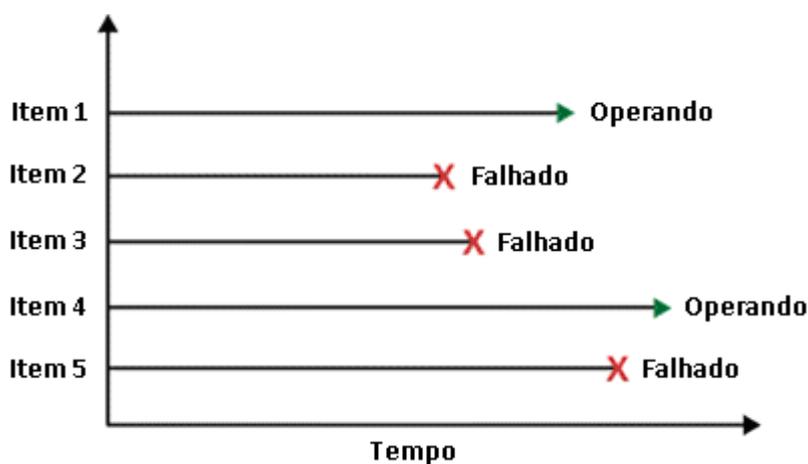


Gráfico 1: Dados completos e suspensos.

Fonte: Adaptado de RELIASOFT, 2015.

A consideração dos dados suspensos aumenta a acurácia da vida média calculada, principalmente quando aplicados em componentes que demoram vários anos para falhar. Com os dados completos e censurados é possível identificar a distribuição de falha que melhor representa a vida do componente podendo ser uma normal, exponencial ou Weibull por exemplo. (RELIASOFT, 2015).

As Curvas de Probabilidade de Falha se dividem basicamente em seis tipos, conforme gráficos da Figura 2 e descritos abaixo:

Tipo A: Constante ou gradualmente aumentando a probabilidade de falha, seguido de uma região de desgaste.

Tipo B: Mortalidade infantil, seguido por uma probabilidade de falha constante ou levemente crescente (típico de equipamentos eletrônicos).

Tipo C: Probabilidade de falha baixa quanto o item é novo ou reparado, seguido por um rápido aumento para um nível relativamente constante.

Tipo D: Probabilidade de falha relativamente constante em toda vida do equipamento.

Tipo E: Mortalidade infantil seguido por uma probabilidade de falha constante ou levemente crescente e então uma pronunciada região de desgaste (Curva da Banheira).

Tipo F: Probabilidade de falha aumentando gradativamente, mas zona de desgaste não identificável (NASA, 2008).

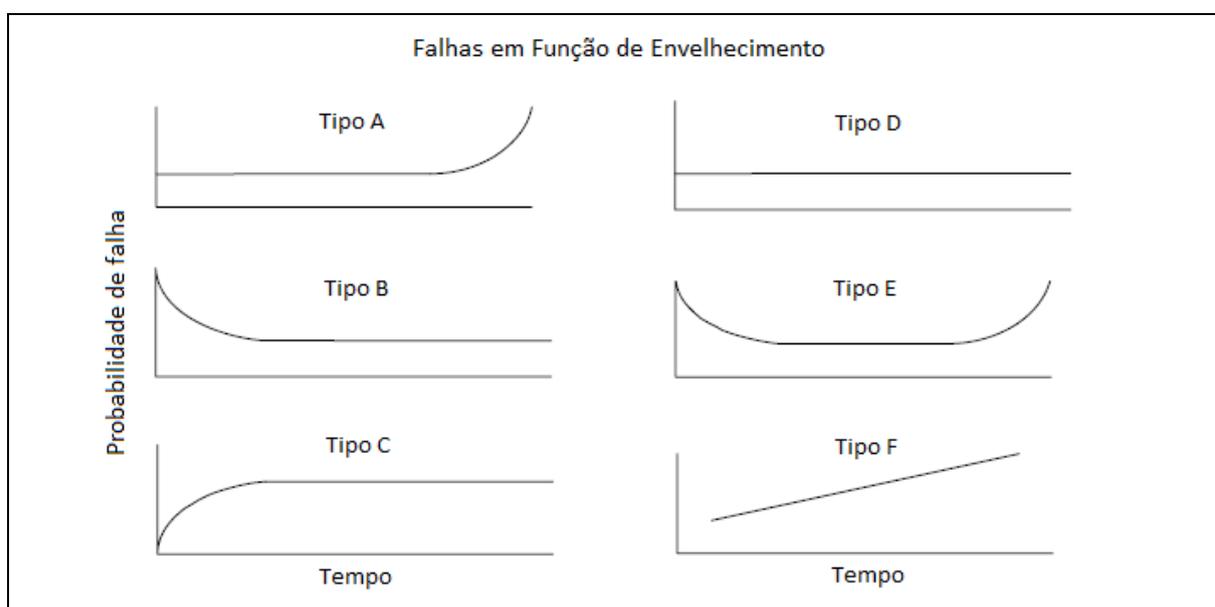


Figura 2: Curvas de Probabilidade de Falha.

Fonte: Adaptado de NASA, 2008.

Com os dados estruturados o desempenho de cada componente é usado para identificar os problemas no campo. O que se procura identificar são principalmente as falhas prematuras, falhas de desgaste, componentes rogue, falhas na instalação e problemas relacionados a manutenções programadas (CARROLL, 2005).

4.3 ANÁLISES DE DESEMPENHO

Com as vidas distintas de cada número de série em mãos recomenda-se criar relatórios visuais dos problemas. Vários são os formatos de como os dados podem

ser categorizados e os eventos agrupados. No Quadro 1 abaixo são listados alguns exemplos:

<p>Características do Componente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lote • Remoções por número de série (relacionadas a falhas prematuras, <i>rogues</i>, NFF) • Quantidade de restaurações / reparos 	<p>Relacionado à Operação</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sazonal (período do ano) • Remoções por aeronave • Regiões / condições operacionais (<i>e.g.</i> neve, deserto) • Impacto operacional (<i>e.g.</i> atrasos, cancelamentos)
<p>De acordo com o plano de manutenção</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pelo tipo de manutenção • Modificações implementadas (Boletins de Serviço, Diretrizes de Aeronavegabilidade) 	<p>Referente à gestão do serviço</p> <ul style="list-style-type: none"> • Oficina reparadora • Quantidade de estoque planejado / atual

Quadro 1: Critérios para avaliação visual de remoções.

Fonte: adaptado de CARROL, 2015

Em uma publicação mais recente, Meyer descreve outras formas de agrupamento baseado no documento ARINC 672 (2012):

- a. Relacionado com aeronave: *e.g.* sistema / componente / equipamento, conteúdo de software, falhas em cablagem / fiação / conectores causando problemas indefinidos.
- b. Relacionados a mão de obra: *e.g.* treinamentos e problemas de comunicação.
- c. Relacionados ao suporte: *e.g.* sistemas de manutenção embarcada, equipamentos de testes, documentação.

Entretanto para prosseguir com a análise de desempenho é necessário substanciar os gráficos e números gerados. Para tal é necessária uma postura prática da seguinte forma:

- a. Coletando componentes removidos e desenvolvendo análises de falha, também registrados em Relatórios de Falhas registrados pelas oficinas de reparo;
- b. Analisando in loco instalações de reparo de componentes observando condições de teste e processos de reparo;

- c. Visitando locais de manutenção de linha e hangares de manutenção pesada observando processos de reparo e instalações (CARROL, 2006).

Existem também outras fontes de informação que podem ser analisadas como os relatórios de voo de pilotos, registros no diário de bordo da aeronave, configuração da aeronave e fase de voo na hora da ocorrência, registros das condições operacionais no momento da falha, relatórios de manutenção, razões de remoção, manuais de manutenção de componentes, manuais de manutenção de aeronave e manuais de isolamento de falha (MEYER, 2012).

Recomenda-se a organização centralizada dos especialistas para realizar a análise de causa raiz, com a liderança do proprietário do estoque compartilhado de reparáveis, e composto pelos operadores de aeronaves envolvidos, fabricantes dos componentes e da aeronave e pelas oficinas de manutenção e reparo de componentes. Se torna fundamental para a liderança o conhecimento no operacional da manutenção de linhas aéreas, manutenção de linha e de oficina, engenharia de confiabilidade e análise de causa raiz. É sugerida também a utilização de um software personalizado de análise de causa raiz e estruturado o processo de análise (CARROLL, 2006).

Ramsey (2005) menciona alguns exemplos que podem ser causas raiz relacionados a NFF e a componentes rogue:

- a. Diagnóstico em voo ou da manutenção de linha impreciso;
- b. Remoções múltiplas para “cercar” uma falha;
- c. Teste de bancada impreciso ou incompleto em oficinas de reparo ou por equipamentos do fabricante;
- d. Falta de habilidade para precisamente duplicar a circunstância na qual um componente falha;
- e. Falhar em não executar primeiro uma inspeção por falhas de conectores.

Um documento de referência que pode ser usado para contextualizar a análise de causa raiz é a ARINC 672 “Guidelines for the Reduction of NFF” (Diretrizes para reduzir falhas não confirmadas, tradução livre). Esse documento foi redigido pelo Comitê de Direção de NFF para reduzir os eventos de falhas não

confirmadas na comunidade aeronáutica, suportado pelo Instituto Americano de Aeronáuticos e Astronáuticos. “É um bom guia que cobre 80% das situações do ambiente de transporte aeronáutico e é uma boa referência para iniciar um processo” afirma Jim Saltigerald, analista de confiabilidade que cooperou na construção do documento (AAIA, 2013; SALTIGERALD, 2015).

4.3.1 Exemplos de análise de causa raiz

Depois de concluída a análise de causa raiz os resultados e recomendações devem ser apresentados para os devidos grupos envolvidos. As causas podem variar caso a caso, sendo descritos alguns exemplos a seguir:

- a. Procedimentos inadequados / práticas de manutenção erradas
- b. Descrição incompleta de procedimentos de manutenção em manual
- c. Revisão do projeto de componente
- d. Condições de estoque inapropriadas
- e. Condições de embalagem / frete inapropriadas
- f. Incapacidade de duplicar condições de falha em testes de componentes

Com a análise completa é essencial atuar em todas as causas identificadas. É sugerido que o líder da integração reporte e apresente os resultados da Análise de Causa Raiz e apresente também as recomendações para os grupos envolvidos, facilitando a colaboração entre eles e auxiliando no processo de resolução durante o acompanhamento das ações. É também importante monitorar os resultados e reportar o parecer de sucesso ou falha, compartilhando as lições aprendidas dentre os envolvidos (CARROLL, 2006).

A seguir são descritos alguns exemplos de Análises de Causa Raiz similares de problemas reportados por operadores de linhas aéreas:

Um operador de linha aérea reportou pouso de emergência por alarme de fumaça em cabine. Visitando a oficina foi constatado falha na máquina circulação de ar, com 11 remoções desse equipamento do mesmo lado da aeronave (duas por aeronave) nos últimos 7 anos.

O procedimento de manutenção foi auditado, e os profissionais de manutenção de linha foram treinados corretamente na montagem. Entretanto apesar do mecânico saber o procedimento de manutenção com todos os detalhes sem consultar o manual, constatou-se que ele montava os sensores frontal e traseiro em posições trocadas. Os sensores eram idênticos e os testes tinham desempenho dentro do definido. Mas com essa configuração de montagem a expectativa de vida da máquina de ar condicionado caía de dez anos para seis meses.

Alguns eventos de falha faziam soar o alarme de fumaça na cabine resultando em pousos de emergência. Trocando o item e montando da mesma forma 11 vezes representou uma perda estimada de US\$800.000, sem considerar os custos indiretos de cada pouso de emergência.

Para evitar a fumaça na cabine por esse modo de falha a foram desenvolvidos dois Boletins de Serviço: a modificação da montagem dos cabos dos sensores, que agora inviabiliza a montagem incorreta e a troca do material do componente que gerava a fumaça na falha por um mais resistente (SILVA, 2014).

Foram reportadas falhas prematuras com Geradores Integrados por apenas um operador de linha aérea. Foi constatado que apenas aquele operador apresentava aquele problema na frota. O problema começou após o departamento de suprimentos modificar o fornecimento de óleo lubrificante para embalagens maiores, visando reduzir custos. Na visita da oficina de linha, foi observado que esse novo e grande reservatório de óleo não continha desumidificadores, o que favorecia a contaminação por água, acelerando a corrosão dos redutores do gerador (SILVA, 2014).

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O primeiro resultado para a empresa avaliada foi desenvolver um relatório de confiabilidade compatível com o método, capaz de medir a vida de cada componente no momento da remoção. Para esse relatório foi elaborado um protótipo primeiramente em Excel utilizando macros em VBA. Posteriormente foi desenvolvido um módulo chamado de TSI/CSI (Time Since Instalation / Cycles Since Instalation) dentro do programa de gestão de confiabilidade corporativo, implementação realizada pelo próprio analista de confiabilidade da empresa.

O ganho principal do desenvolvimento desse relatório foi a considerável redução de tempo no desenvolvimento da base de dados. Gerar tempos em asa de componentes em poucos minutos é considerado vital para a viabilidade do novo processo.

Assim esse relatório tem sido usado como mais uma fonte de informação nas análises de desempenho de componentes, detalhando situações para definir causas raiz antes inviáveis somente através do MTBUR.

5.1 RETORNO FINANCEIRO

Assim foi selecionado um componente para teste da metodologia, que iremos referenciar por Caixa 1. Pelo Pareto de total anual de custos de reparo, esse item estava entre os top 20, ou seja, o impacto financeiro no desempenho do Pool é significativo. Para o Caixa 1 não existia nenhum contrato de manutenção fechado.

O MTBUR estava abaixo do contratado, entretanto uma negociação já se estendia durante seis meses sem nenhum resultado, dado à falta de argumentos técnicos para confrontar o fornecedor do produto. O fornecedor por sua vez alegava que não tinha responsabilidade pelos componentes que faziam interface com a Caixa 1, portanto contra argumentava que o fabricante da aeronave que devia melhorar os outros componentes, visto que tinha relatórios que ela não estava apresentando falhas nos procedimentos de reparo.

Com esse cenário foi realizada a primeira análise do relatório TSI/CSI. Diversos dados foram comparados: remoções por modelo, operador, aeronave,

número de série, estação do ano, ano em questão, histograma e parâmetros de Weibull. Dentre eles o que mais conclusivo foi o histograma, no qual é possível identificar que 61% das remoções eram feitas com menos de 2.500 horas de voo, conforme o Gráfico 2 a seguir:

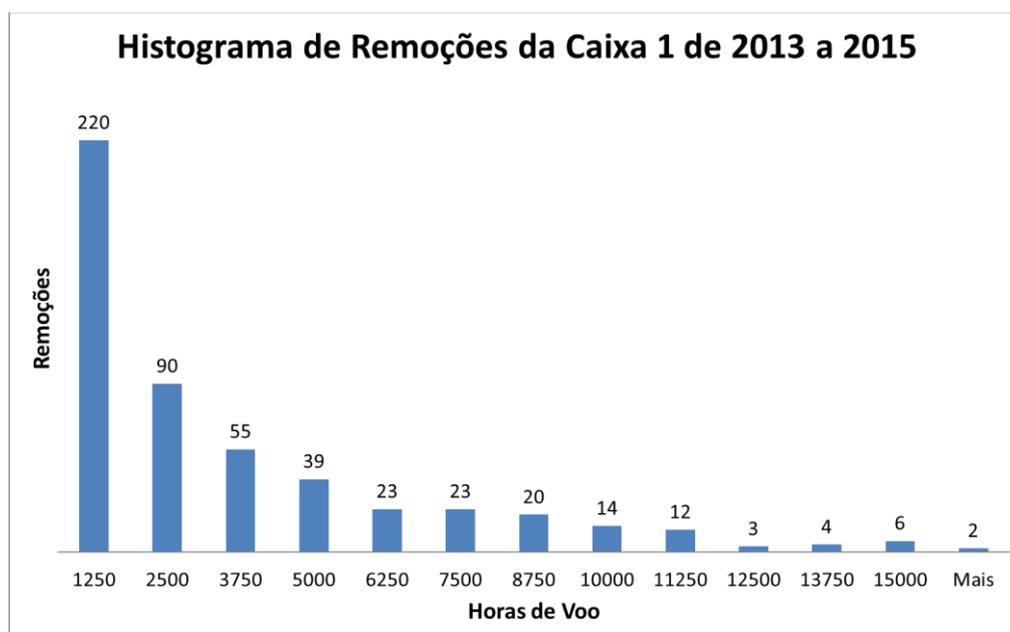


Gráfico 2: Remoções por tempo de operação da Caixa 1.

Fonte: próprio autos usando dados de 2013 a 2015.

O histograma do componente se assemelha mais com a curva de probabilidade de falha tipo B (mortalidade infantil seguido por uma probabilidade de falha constante). Aplicando o método Weibull o parâmetro de forma β é de 0,72 para os dados do período, o que também sugere problemas de falhas prematuras causadas por erros na montagem ou no procedimento de manutenção.

Com esses indícios foi realizada uma visita por especialistas na unidade de manutenção do fornecedor. De acordo com as análises prévias foram constatadas diversas melhorias potenciais para o processo de manutenção da Caixa 1, além de falhas nos componentes que a bancada de testes não identificava. Ou seja, pelos relatórios de oficina tínhamos NFFs, e esses componentes com falhas ocultas formaram grande parte do estoque, sendo essas unidades *rogue*. Essas unidades falhavam prematuramente, o que reduziu o MTBUR, aumentou os custos de reparo e também o tamanho de estoque necessário para suportar a frota.

A partir desses fatos foi negociado com o fornecedor um acordo de ressarcimento de \$310 mil dólares, além de um desconto de 35% nos custos de reparo por três anos pela baixa performance da Caixa 1, o equivalente a \$1,1 milhão de dólares.

6 COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

Operadores tem a expectativa que os fabricantes de aeronaves solicitem informações para prevenir NFF. Bob Staples, diretor de aviação da Midcoast Aviation, contrasta um fabricante que simplesmente registra um item como “NFF” de outro que solicita mais informações para tentar realizar um teste mais abrangente (RAMSEY, 2005).

Hoje em dia esse comportamento não é mais apenas teoria. O negócio de peças de reposição de aeronaves está se tornando cada vez mais competitivo e qualificado. Joe Kenney da Honeywell relata que avanços em procedimentos de testes realizados por fabricantes têm abordado precisos controles como, por exemplo, o aumento de temperatura conforme a rampa da aeronave, ao invés de extremos de temperatura, e câmaras de altitude para replicar falhas de arco voltaico em vários modelos de monitores de cabine (CHARLOTTE, 2014).

No negócio de estoques de reparáveis compartilhados problemas de itens rogue e NFF tem impactos financeiros ainda maiores pelo aumento de escala. Por isso se torna estratégica a necessidade de um processo focado no desempenho de componentes nesse nicho de mercado.

Um serviço Pool tem geralmente clientes com pequenas frotas e novas empresas. Esses tipos de clientes não são capazes de arcar uma equipe focada na gestão de desempenho e reparo de componentes. Assim esse serviço pode ser considerado como um diferencial competitivo na venda, pois reduz custos indiretamente por evitar eventos de manutenção.

É importante adicionar a necessidade do apoio da alta direção à essa equipe dedicada. No curto prazo esse time pode não entregar muitos resultados, o que pode causar a rejeição por parte de outras equipes da empresa. O retorno dessa operação se dá no longo prazo quando as remoções são evitadas. Conforme a frota se torna mais competitiva acontece a redução do estoque, o que reduz os custos do serviço Pool tornando-o mais competitivo e garantindo as margens dos investidores (SALTIGERALD, 2015).

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como resultado desse trabalho de pesquisa obteve-se um método de gestão atualizado para a realidade dos estoques compartilhados de reparáveis. Tal como algumas das linhas aéreas mantêm uma equipe dedicada para evitar remoções desnecessárias, para um serviço de Pool um time dedicado tem um maior valor ainda maior.

As vantagens de se ter uma equipe em um serviço como esse é a cobertura de um número de aeronaves maior comparado com qualquer operador, além do acesso privilegiado a contratos de fornecimentos de peças, equipes de engenharia, e possibilidade de negociar a atacado, vantagens inimagináveis para muitas linhas aéreas.

A empresa em qual foram feitas as análises e os testes tem a oportunidade de formar um time dedicado a reduzir remoções da frota. Os ganhos financeiros são difíceis de serem preditos, mas a partir de apenas um primeiro exemplo já foi possível ter uma ideia da dimensão do potencial.

Definir onde investir os esforços para as próximas análises é um grande desafio. Quando a lista de cobertura ultrapassa mil componentes, torna-se ainda mais difícil essa escolha, sendo vital ser assertivo na escolha do próximo foco. Selecionar pelo custo de reparo, ou ainda baseado em problemas reportados por clientes são os métodos tradicionalmente empregados.

Entretanto identificar falhas prematuras em uma base de dados tem um potencial ainda maior para evitar perdas. Mas o que define uma falha prematura? Diferentes tipos de componentes têm diferentes taxas de falhas, diferentes MTBURs são aceitáveis de acordo com a função e tecnologia. Para um trocador de calor de máquina circuladora de ar ter uma falha a cada 35,000 horas de vôo é aceitável, entretanto o trocador de calor do óleo do motor tem um MTBUR esperado praticamente 10 vezes maior.

Como definir matematicamente baseado nos tempos de vida de diferentes componentes, de diferentes funções se um componente está de acordo com o projeto ou não? Se tal condição for definida, a criação de uma lógica de priorização e a sua automatização permitem varrer o histórico de remoções e concluir quais

componentes tem o maior potencial de retorno, potencializando o retorno das análises de falha a serem realizadas.

Após concluída a análise de falha da Caixa 1, o caminho percorrido para chegar a tal conclusão parece óbvio. Entretanto horas são investidas, como o caminhar em um labirinto sem saber se existe ao menos uma saída. Um estudo pode ser realizado para definir quais são os melhores gráficos para analisar a massa de dados, baseado nas variáveis da Tabela 1. Esse processo pode também ser automatizado, o que agilizaria a análise, visto que é na análise de falha que se agrega valor e as possíveis causas são identificadas. A automatização funcionaria como um mapa para o labirinto, reduzindo o tempo necessário para concluir que caminho seguir.

REFERENCIAS

AAIA. **NFF – No Fault Found. Announcement for the NFF Steering Committee, 2013.** Acessado no endereço <https://info.aiaa.org/tac/AASG/PSTC/Lists/Announcements/Attachments/1/NFF%20Subcommittee.pdf> em 26/07/2015.

AIRCRAFT COMMERCE. **Rotable component suppliers: regional & narrowbody aircraft.** Issue No. 98, February/March 2015. Acessado no site www.aircraft-commerce.com.

ARINC Workgroup 672. **Guideline for the Reduction of No Fault Found.** Junho de 2008.

BOEING. **Current Market Outlook 2015 – 2034.** Acessado no endereço http://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/commercial/about-our-market/assets/downloads/Boeing_Current_Market_Outlook_2015.pdf em 24/10/2015.

BOEING EDGE. **Parts Solutions: Rotable Exchange Services.** Printed in August 2014. Acessado no endereço <http://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/commercial/boeing-edge/assets/brochure/edge-material-services/ms-rotableexch.pdf> em 19/07/2015.

CANADAY, Henry. **Techniques to Identify No Fault Found on Avionics Components: Better data analytics, fault isolation and predictive maintenance tools target rogue avionics units.** Artigo publicado na revista Aviation Week & Space Technology - MRO Edition em 03/11/2014.

CARROLL, Thomas. **The Fallacy of MTBUR & MTBF as Reliability Metrics.** Apresentado na Department Of Defense Conference de 2005.

CARROLL, Thomas. **Rogue Units: Focus on cost containment, 2005.** Acessado no endereço <http://www.aviationpros.com/article/10385868/rogue-units-focus-on-cost-containment> em 19/03/2015.

CARROLL, Thomas. **Reliability-Centered Maintenance: Desingning for Sustainability, And Airline Business Perspective.** Apresentado na Department Of Defense Conference de 2006.

CARROLL, Thomas. **Going Rogue, Rogue Components – Their Effect and Control**. Publicado na Uptime Magazine edição de fevereiro/março 2009. Acessado no endereço www.uptimemagazine.com em 19/06/2015.

CHARLOTTE, Adams. **Getting Serious About No Fault Found**. Publicado na Aviation Maintenance edição de fevereiro / março de 2014: Páginas 26-32. Acessado no endereço <http://seaerospace-blog.com/2014/03/06/no-fault-found/> em 26/07/2015.

EMBRAER. **Embraer Services & Support: Services Portfolio**. Acessado no endereço www.embraercommercialaviation.com/MarketInfo/EMB_SS_catalog.pdf em 19/07/2015.

KARDEC, A.; NASCIF, J. & BARONI, T. (2002). **Gestão Estratégica e Técnicas Preditivas**. Rio de Janeiro: Qualitymark: ABRAMAN.

MEYER, Bernhard. **NFF – Who is to be Blamed? Unravelling the Mysteries of NFF**. Artigo da revista Air Transport and Operations, acessada no endereço <https://books.google.com.br/books?id=aYmrWtaVdkQC&pg=PA359&lpg=PA359&dq=arinc+672&source=bl&ots=WtgckPUY5z&sig=p2wEnQRb7yuRz2OR-dOJIRww4nw&hl=en&sa=X&ved=0CGEQ6AEwCGoVChMluonDrob8xglVy4WQCh0itwoV#v=onepage&q=arinc%20672&f=false> em 27/07/2015.

National Aeronautics and Space Administration (NASA). **Reliability-Centered Maintenance Guide, For Facilities and Collateral Equipment**. Setembro de 2008.

OAKES, Sidney. **New Process for Component Removal Reduction**. Acessado no endereço www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/2012_q3/4/ em 24/02/2015.

PINTO, Alan Kardec. XAVIER, Júlio Aquino Nascif. **Manutenção: Função Estratégica**. Rio de Janeiro 2001. Qualitymark Ed.

RAMSEY, James W. **Special Report: Avoiding NFF, 2005**. Acessado no endereço http://www.aviationtoday.com/av/commercial/Special-Report-Avoiding-NFF_1046.html em 20/01/2015.

RELIASOFT CORPORATION. **Life Data Analysis Reference**. Disponível na íntegra no endereço http://www.reliawiki.org/index.php/Life_Data_Analysis_Reference_Book . Acessado em 22/11/2015.

SALTIGERALD, Jim. **Entrevista I**. Entrevistado por Rodrigo Carlos Jacobs por telefone, 20/07/2015.

SILVA, Fulano da. **Entrevista II**. Entrevistado por Rodrigo Carlos Jacobs, 2014.

SIQUEIRA, Iony Patriota de. **Manutenção Centrada em Confiabilidade, Manual de Implementação**. Rio de Janeiro: Qualitymark 2005.

SHAWLEE, Walter II. HUMPHREY, Dave. **Aging Avionics: What causes it and how to respond**. Publicada na revista IEEE Transactions on components and packaging technologies, vol. 24, No. 4. Dezembro de 2001.

VISIONGAIN. **Commercial Aircraft Maintenance, Repair & Overhaul (MRO) Market 2014-2024: Prospects for Companies in Engine, Component, HMV & Line Maintenance**. Publicado pela Market Research.com em 30/05/2014. Acessada no endereço www.marketresearch.com/Visiongain-v1531/Commercial-Aircraft-Maintenance-Repair-Overhaul-8235889/ em 19/03/2015.