



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

GUILHERME NEVES TELES

JOÃO VITOR CAIXETA ALCARRIA

**GESTÃO DA CONFIABILIDADE FUNDAMENTADA NO MONITORAMENTO DOS
NÍVEIS DE ALERTA RELACIONADOS À QUANTIDADE DE DADOS
PROCESSADOS EM UMA EMPRESA DO SETOR AERONÁUTICO.**

Uberlândia

2024

GUILHERME NEVES TELES
JOÃO VITOR CAIXETA ALCARRIA

**GESTÃO DA CONFIABILIDADE FUNDAMENTADA NO MONITORAMENTO DOS
NÍVEIS DE ALERTA RELACIONADOS À QUANTIDADE DE DADOS
PROCESSADOS EM UMA EMPRESA DO SETOR AERONÁUTICO.**

Projeto de fim de curso apresentado como requisito para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Mecânica, da Universidade Federal de Uberlândia.

Área de Concentração: Engenharia de Confiabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Arantes

Uberlândia

2024

RESUMO

A aviação é um ramo que surgiu e se desenvolveu devido a necessidade de transporte de cargas e pessoas ao longo dos diversos países do mundo, com o intuito de além de realizar o deslocamento, diminuir o tempo necessário para que isso ocorra. Diante disso, sabe-se que é necessário se ter a segurança garantida, uma vez que ela garante que as pessoas e cargas transportadas sejam preservadas sem que nenhum dano ocorra. As falhas e problemas ocorrentes nas aeronaves, uma vez que não monitoradas, podem acarretar possíveis acidentes que, na maioria das vezes, são fatais. Desta forma, a engenharia de confiabilidade surgiu como uma vertente da área de manutenção, com a finalidade de coletar dados e gerar indicadores que são determinantes para a escolha das melhores ações de manutenção, além de poder auxiliar também em bases para desenvolvimento de novos projetos e em campanhas de vendas. Visto isso, este trabalho foi desenvolvido em uma empresa do setor aéreo, com a finalidade de realizar o monitoramento do processamento dos dados de confiabilidade recebidos, através de níveis de alerta calculados estatisticamente por meio de desvio padrão. Para isso, foi implementada uma ferramenta que, após devidamente desenvolvida e configurada, fará o monitoramento dos dados já processados, com a finalidade de destacar possíveis problemas que ocorreram durante o processamento dos dados de confiabilidade recebidos, de tal modo que, havendo problemas, podem ser corrigidos e garantir maior confiabilidade e realidade nos indicadores calculados.

Palavras-chave: confiabilidade, níveis de alerta, desvio padrão, monitoramento, indicadores, manutenção, dados

ABSTRACT

Aviation is a field that emerged and developed due to the need for transporting goods and people across various countries worldwide, aiming not only to facilitate travel but also to reduce the necessary time for such movements. Consequently, it is understood that ensuring safety is crucial, as it preserves the safety of transported individuals and cargo without any incidents occurring. Failures and issues within aircraft, when left unmonitored, can lead to potential accidents, often fatal. Therefore, reliability engineering has emerged as a branch of maintenance, aiming to collect data and generate crucial indicators for determining optimal maintenance actions, as well as supporting new project development and sales campaigns. In this context, this study was conducted within an aviation sector company to monitor the processing of reliability data received, utilizing statistically calculated alert levels based on standard deviation. To achieve this, a tool was implemented that, once properly developed and configured, monitors processed data to highlight potential issues during reliability data processing. Addressing such issues ensures greater reliability and accuracy in the calculated indicators.

Keywords: reliability, alert levels, standard deviation, monitoring, indicators, maintenance, data

LISTA DE FIGURAS.

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Esquema de relacionamento de dados. | 29 |
| Figura 2 - Imagem representativa do modelo XML. | 31 |
| Figura 3 - Curva de distribuição Normal ou Curva Gaussiana. | 41 |
| Figura 4 - Dashboard principal de monitoramento dos dados de horas de voo. | 46 |
| Figura 5 - Dashboard com filtro de operador aplicado. | 48 |
| Figura 6 - Informações detalhadas sobre a verificação do dado sinalizado. | 49 |
| Figura 7- Dados de horas por dia. | 50 |
| Figura 8 - Dashboard principal de monitoramento dos dados de ciclos de voo. | 51 |
| Figura 9 - Dashboard de remoções de componentes. | 53 |
| Figura 10 - Representação do detalhamento da visibilidade de verificação de importação. | 54 |
| Figura 11 - Dashboard de remoções filtrando um operador pela matriz. | 55 |
| Figura 12 - Visibilidade de dados fora do padrão com detalhamento. | 56 |
| Figura 13 - Dashboard filtrado pelas remoções não programadas (Unschedule). | 57 |
| Figura 14 - Dashboard padrão de monitoramento dos dados brutos de logbook. | 59 |
| Figura 15 - Dashboard de monitoramento de dados brutos de logbooks e de ATA rates. | 59 |
| Figura 16 - Dashboard de logbook com dados filtrados pelo modelo e tipo do problema. | 61 |
| Figura 17 - Dashboard de logbook com dados filtrados pelo modelo e ATA. | 61 |
| Figura 18 - Dashboard de logbook com dados filtrados pelo modelo, tipo de problema e ATA. | 62 |
| Figura 19 - Perspectiva de ATA Rate com visibilidade do operador na ATA 21. | 63 |
| Figura 20 - Perspectiva de ATA Rate filtrada por modelo, tipo de problema e ATAs 21, 23 e 25. | 64 |
| Figura 21 - Perspectiva de ATA Rate filtrada por modelo, operador, tipo de problema e ATAs 21, 23 e 25. | 64 |
| Figura 22 - Dashboard de interrupções. | 67 |
| Figura 23 - Dashboard de interrupções e Inter Rate. | 67 |
| Figura 24 - Dashboard filtrado pelo tipo de interrupção. | 69 |
| Figura 25 - Perspectiva de Inter Rate com modelo filtrado e ATA 21 expandida. | 70 |
| Figura 26 - Perspectiva de Inter Rate com filtro de modelo e chargeable. | 70 |
| Figura 27 - Perspectiva de Inter Rate com filtro de modelo, operador, chargeable e Atas 21, 23 e 25. | 71 |

LISTA DE TABELAS.

Tabela 1 - Sistemas de uma aeronave.....24

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 9 |
| 1.1. OBJETIVO PRINCIPAL..... | 10 |
| 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS. | 10 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 11 |
| 2.1. ABORDAGEM TEÓRICA DOS DIFERENTES TIPOS DE MANUTENÇÃO..... | 11 |
| 2.1.1. História da manutenção..... | 11 |
| 2.1.2. Tipos de manutenção..... | 13 |
| 2.1.2.1. Manutenção Corretiva Não Planejada..... | 14 |
| 2.1.2.2. Manutenção Corretiva Planejada..... | 14 |
| 2.1.2.3. Manutenção Preventiva..... | 14 |
| 2.1.2.4. Manutenção Preditiva..... | 15 |
| 2.1.2.5. Manutenção Detectiva..... | 16 |
| 2.1.3. Engenharia de manutenção..... | 17 |
| 2.1.4. Manutenção na aeronáutica..... | 18 |
| 2.1.4.1. Tipos de falhas..... | 20 |
| 2.1.4.2. Tipos de manutenção na aeronáutica..... | 20 |
| 2.1.4.3. Qualificações e certificações..... | 22 |
| 2.1.5. Engenharia de confiabilidade na aeronáutica..... | 23 |
| 2.2. COLETA E TROCA DE DADOS DE CONFIABILIDADE DAS AERONAVES. | 25 |
| 2.3. RELACIONAMENTO ENTRE OS DADOS E O ESQUEMA XML..... | 28 |
| 2.4. MÉTRICAS DE PERFORMANCE E CONFIABILIDADE UTILIZADAS NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA. | 31 |
| 2.4.1. Dispatch Metrics..... | 33 |
| 2.4.2. Service Difficulty Metrics:..... | 35 |
| 2.4.3. Component Reliability Metrics..... | 35 |
| 2.4.4. Logbook Rates..... | 37 |
| 2.4.5. Availability Metrics..... | 38 |
| 2.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA EMBASADA EM TÉCNICAS DE DESVIO PADRÃO..... | 39 |
| 2.5.1. Média Aritmética..... | 39 |
| 2.5.2. Desvio padrão..... | 40 |
| 2.5.3. Distribuição normal..... | 41 |
| 2.5.4. Metodologia estatística..... | 42 |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS. | 43 |

| | |
|--|----|
| 3.1. DESENVOLVIMENTO DO DASHBOARD DE HORAS E CICLOS DE VOO (<i>FLIGHT HOURS AND FLIGHT CYCLES</i>). | 44 |
| 3.1.1. Arquivos utilizados. | 44 |
| 3.1.2. Lógica de cálculo de monitoramento de dados. | 45 |
| 3.1.3. Explicitação e explicação do funcionamento do dashboard. | 46 |
| 3.2. DESENVOLVIMENTO DO DASHBOARD DE REMOÇÕES DE COMPONENTES (<i>REMOVALS</i>). | 51 |
| 3.2.1. Arquivos Utilizados. | 51 |
| 3.2.2. Lógica de cálculo de monitoramento de dados. | 52 |
| 3.2.3. Explicitação e explicação do funcionamento do dashboard. | 53 |
| 3.3. DESENVOLVIMENTO DO DASHBOARD DE REGISTRO DE AERONAVES (<i>LOGBOOK RECORDS</i>). | 57 |
| 3.3.1. Arquivos Utilizados. | 57 |
| 3.3.2. Lógica de cálculo de monitoramento de dados. | 58 |
| 3.3.3. Explicitação e explicação do funcionamento do dashboard. | 59 |
| 3.4. DESENVOLVIMENTO DO DASHBOARD DE INTERRUPÇÕES (<i>INTERRUPTIONS</i>). | 65 |
| 3.4.1. Arquivos Utilizados. | 65 |
| 3.4.2. Lógica de cálculo de monitoramento de dados. | 65 |
| 3.4.3. Explicitação e explicação do funcionamento do dashboard. | 66 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES. | 71 |
| 4.1. DEFINIÇÃO DOS DESVIOS PADRÃO. | 71 |
| 4.2. IDENTIFICAÇÃO DE ERROS DE PROCESSAMENTO. | 72 |
| 4.3. EFICIÊNCIA NO PROCESSO DE VERIFICAÇÃO. | 72 |
| 4.4. AUMENTO DA CONFIABILIDADE DOS DADOS. | 73 |
| 5. CONCLUSÃO. | 73 |
| 6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS. | 75 |

1. INTRODUÇÃO.

Segundo Silvio Costa Filho (2024), a aviação comercial teve, em 2023, um total de aproximadamente 112,6 milhões de passageiros transportados no mercado doméstico e internacional, de tal modo a apresentar um aumento de 15,3% em relação aos dados de 2022.

Esse rápido crescimento tem sido acompanhado pela necessidade crescente de garantir a segurança e a confiabilidade das aeronaves. A engenharia de confiabilidade, portanto, emerge como uma disciplina crítica dentro do setor aeronáutico. Programas de confiabilidade são essenciais para monitorar e prever o desempenho das aeronaves, identificar potenciais falhas e implementar medidas preventivas e corretivas antes que incidentes ocorram. De acordo com Amborski (2009), a engenharia de confiabilidade e manutenção são as bases da segurança, quando se trata do setor da aviação, além de auxiliar na redução dos custos relacionados às manutenções existentes.

A falta de programas robustos de confiabilidade pode resultar em problemas sérios e prejuízos significativos para as empresas aéreas. Incidentes causados por falhas mecânicas ou estruturais podem não apenas comprometer a segurança dos passageiros e tripulantes, mas também causar danos à reputação da companhia, perdas financeiras substanciais devido a reparos emergenciais, compensações legais e impactos operacionais prolongados. Isso pode afetar negativamente a confiança dos passageiros e investidores, resultando em uma queda na demanda e na competitividade da empresa no mercado globalizado da aviação.

Nesse contexto, entendido a importância da confiabilidade e a sua relação direta com a segurança dos processos, a chegada da indústria 4.0 ao setor industrial tem ampliado as possibilidades para monitorar e gerenciar a confiabilidade das aeronaves. Essa revolução tecnológica tem possibilitado que dados sejam coletados e processados, transformando a maneira como engenheiros de confiabilidade monitoram o desempenho das aeronaves e antecipam potenciais falhas. Além disso, ferramentas como o Power BI se tornaram essenciais nesse processo ao permitir a visualização dinâmica e intuitiva dos dados coletados, oferecendo aos profissionais uma interface prática para análise e identificação de padrões de falha. Essa capacidade de alimentar e monitorar dados de maneira constante permite um acompanhamento preditivo mais eficaz e respostas ágeis, reduzindo a ocorrência de falhas e otimizando os recursos de manutenção, o que diminui custos operacionais e melhora a segurança. Com a confiabilidade sendo um fator crítico no setor, a implementação de soluções da Indústria 4.0,

combinadas ao uso do Power BI, proporciona uma base sólida para que companhias aéreas possam não só garantir a segurança e a integridade das aeronaves, mas também manter a competitividade em um mercado globalizado e altamente regulado, onde a agilidade na resposta a incidentes e a capacidade de prever falhas são diferenciais estratégicos.

Assim, a implementação de programas de confiabilidade com suporte das tecnologias da Indústria 4.0 não só é imperativa para garantir a segurança e a operação contínua das aeronaves, mas também essencial para sustentar o crescimento e a viabilidade das companhias aéreas em um ambiente altamente competitivo e regulamentado.

1.1. OBJETIVO PRINCIPAL.

O objetivo principal deste estudo é realizar o desenvolvimento de uma ferramenta de monitoramento de dados que esteja sempre conectada ao banco de dados da empresa do setor aéreo, de tal forma a analisar os últimos 12 meses de dados existentes e, assim, criar níveis de alerta por meio do cálculo de desvio padrão de diferentes tipos de dados existentes de confiabilidade, a fim de garantir que os dados estejam todos corretos, sem a presença de erros humanos que possam interferir diretamente nos resultados dos indicadores de confiabilidade.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Concentrar os dados de Horas e Ciclos, Interrupções, *Logbooks* e Remoções dos últimos 12 meses em uma mesma ferramenta, de forma visual;
- Desenvolver os cálculos corretos de média e desvio padrão de todos os diferentes tipos de dados;
- Determinar os níveis de alerta para os diferentes tipos de cenários e dados;
- Validação dos dados processados;
- Aumento na eficiência do processo de validação dos dados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.

Neste capítulo serão abordados os seguintes temas: tipos de manutenção e sua importância na indústria aeronáutica, coleta e troca de dados de confiabilidade das aeronaves, relacionamento entre os dados e o esquema XML; métricas de performance e confiabilidade; análise estatística embasada em desvio padrão. Para isso, teremos os seguintes capítulos cada um com seus respectivos conteúdos, conforme mostram os tópicos a seguir.

- Capítulo 2.1: Abordagem teórica dos diferentes tipos de manutenção existentes em conjunto da importância delas na indústria aeronáutica;
- Capítulo 2.2: Coleta e troca de dados de confiabilidade das aeronaves seguindo modelo pré-estabelecido;
- Capítulo 2.3: Relacionamento entre os dados e o esquema XML;
- Capítulo 2.4: Análise e explicação das métricas de performance e confiabilidade utilizadas na indústria aeronáutica;
- Capítulo 2.5: Análise estatística embasada em técnicas de desvio padrão.

2.1. ABORDAGEM TEÓRICA DOS DIFERENTES TIPOS DE MANUTENÇÃO.

Segundo Kinnison (2004) a aviação é um dos meios de transportes mais seguros do mundo e isso se deve ao avanço da manutenção no setor. Sendo assim, este capítulo explora a evolução da manutenção industrial e sua aplicação na engenharia de manutenção, com foco na indústria aeronáutica.

2.1.1. História da manutenção.

A evolução da manutenção industrial pode ser dividida em quatro gerações distintas, cada uma refletindo as mudanças tecnológicas, econômicas e operacionais de suas respectivas épocas. Segundo Kardec (2013) a manutenção foi a atividade que mais sofreu alteração desde a década de 70. Sendo assim, essas gerações ilustram como a abordagem à manutenção se

transformou, passando de simples reparos reativos para sistemas complexos de monitoramento e prevenção, com o objetivo de maximizar a produtividade e a eficiência das operações.

Inicialmente, no período anterior à Segunda Guerra Mundial, as linhas de montagem criadas por Henry Ford geraram a necessidade de sistemas de manutenção mais rápidos e eficientes, principalmente focados no que atualmente chamamos de manutenção corretiva (FILHO, 2008). Devido à conjuntura econômica da época, a produtividade não era uma prioridade, e, portanto, a manutenção sistematizada não era necessária. A atuação se restringia a serviços de limpeza, lubrificação e reparos após as quebras, com uma manutenção corretiva não planejada. A visão predominante era que todos os equipamentos se desgastavam com o tempo, levando a falhas ou quebras. As competências necessárias se concentravam na habilidade dos executantes em realizar os reparos necessários.

Entre as décadas de 50 e 60, após a Segunda Guerra Mundial, a manutenção foi marcada pelo aumento da demanda por produtos devido às pressões da guerra e pela diminuição da mão de obra industrial. Segundo Nogueira (2012), após a segunda guerra mundial a indústria se transformou para atender a demanda do mercado, pois antes desse período as máquinas eram pouca mecanizadas e superdimensionadas. A necessidade de maior disponibilidade e confiabilidade surgiu em busca de maior produtividade, com indústrias dependendo do bom funcionamento das máquinas. Percebeu-se que as falhas nos equipamentos poderiam e deveriam ser evitadas, levando ao nascimento do conceito de manutenção preventiva. Na época, a manutenção preventiva consistia em intervenções em intervalos fixos. Como consequência, os custos de manutenção aumentaram em relação a outros custos operacionais, além disso, houve crescimento dos sistemas de planejamento e controle de manutenção, e o capital investido em itens físicos aumentou, gerando interesse em prolongar a vida útil desses itens.

A partir da década de 70, a manutenção caracterizou-se pela preocupação com a paralisação da produção, que diminuía a capacidade produtiva, aumentava custos e afetava a qualidade. Os efeitos das paralisações se agravaram com a tendência global do sistema *Just in Time*, onde estoques reduzidos tornavam pequenas pausas capazes de paralisar fábricas. Durante esse período, surgiu a manutenção produtiva total, cujo principal objetivo era aumentar a confiabilidade dos equipamentos e a qualidade dos processos, possibilitando a implementação do sistema *Just in Time* (NETTO, 2008). A atuação dessa geração incluiu o reforço da manutenção preditiva, o avanço da e a aplicação crescente do conceito de confiabilidade pela Engenharia de Manutenção. Por fim, na década de 90, iniciou-se a implantação da Manutenção

Centrada na Confiabilidade (MCC) no Brasil, inspirada na indústria aeronáutica. Contudo, a falta de interação entre engenharia, manutenção e operação impedia resultados melhores, resultando em altas taxas de falhas prematuras.

Por fim, segundo Borlido (2017), a manutenção na atualidade é marcada pela introdução de robôs integrados e a grande quantidade de tecnologias. As práticas de manutenção preditiva e monitoramento de condição de equipamentos e processos são cada vez mais usadas para reduzir intervenções na planta, enquanto a manutenção preventiva ou programada e a manutenção corretiva não planejada diminuem. Além disso, houve o surgimento da engenharia de manutenção a qual busca integrar com outras áreas da empresa, como a operação e a engenharia de produção, para garantir que os objetivos de confiabilidade, disponibilidade e custos sejam atendidos de forma eficaz, contribuindo para a melhoria contínua e a competitividade da organização.

2.1.2. Tipos de manutenção.

Um dos impactos mais significativos da crescente competitividade foi a maior ênfase dada ao gerenciamento da produção. Com o avanço e a medição dos processos produtivos, a manutenção passou a ser uma ferramenta essencial para melhorar a produtividade (SLACK et. al., 2002). Segundo Nascif (2009), a manutenção tem por definição o ato de garantir a disponibilidade da função dos equipamentos a fim de atender o processo de produção com confiabilidade e custos adequados.

A literatura básica define seis tipos principais de manutenção: Manutenção Corretiva Não Planejada, Manutenção Corretiva Planejada, Manutenção Preventiva, Manutenção Preditiva, Manutenção Detectiva e Engenharia de Manutenção. Além dessas, vale ressaltar que existem várias ferramentas que não são novos tipos, mas sim ferramentas auxiliares. Entre elas estão a Manutenção Produtiva Total (TPM), Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM) e Manutenção Baseada na Confiabilidade (RBM).

2.1.2.1. Manutenção Corretiva Não Planejada.

A Manutenção Corretiva Não Planejada corrige falhas sem tempo para preparação. É conhecida como Manutenção Corretiva Não Programada ou Emergencial. Atualmente ainda é muito praticada, acarretando altos custos devido a perdas de produção, perda de qualidade do produto e elevados custos indiretos. Além disso, segundo Slack et al. (2002, p. 625), “significa deixar as instalações continuarem a operar até que quebrem. O trabalho de manutenção é realizado somente após a quebra do equipamento ter ocorrido [...]”.

2.1.2.2. Manutenção Corretiva Planejada

A manutenção corretiva planejada consiste na implementação de um sistema de atuação focado na prevenção de falhas dos equipamentos, assegurando o planejamento da produção, frequentemente baseado na percepção da equipe operacional ou de manutenção (DIAS & FERNANDES, 2022). A principal característica dessa manutenção é a qualidade da informação fornecida pelo acompanhamento do equipamento. Mesmo que a decisão seja deixar o equipamento funcionar até a quebra, o planejamento pode ser feito para a intervenção. Exemplos incluem a substituição do equipamento por outro idêntico, ter um kit de reparo rápido ou preparar o posto de trabalho com dispositivos e facilidades. A adoção de uma política de manutenção corretiva planejada pode surgir por fatores como compatibilização com os interesses de produção, segurança, melhor planejamento dos serviços, garantia de sobressalentes e tecnologia necessária para a execução.

2.1.2.3. Manutenção Preventiva

A Manutenção Preventiva visa reduzir e evitar falhas ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado baseado em intervalos definidos de tempo. Segundo Guimarães (2005) esse tipo de atividade é definida como o conjunto de ações que seja capaz de ampliar a vida dos equipamentos e máquinas, ou seja, ao contrário da manutenção corretiva, a preventiva procura evitar falhas ao máximo. Na aviação, por exemplo, a adoção da

manutenção preventiva é imperativa por questões de segurança. A periodicidade e substituição devem ser estipuladas para cada instalação, pois as condições operacionais e ambientais influenciam significativamente a degradação dos equipamentos.

Além disso, esse tipo de manutenção é mais conveniente quando há simplicidade na reposição, altos custos de falhas, prejuízos à produção e implicações na segurança. Contudo, segundo Campbell (2001), existem duas situações que devem ser analisadas antes da operação: A primeira situação ocorre quando o custo da manutenção é inferior ao custo de manter o ativo inoperante, já a segunda situação está relacionada ao risco que a falha tem de afetar outros componentes.

2.1.2.4. Manutenção Preditiva

Segundo Machado (2008), a manutenção preditiva é caracterizada pelo monitoramento de variáveis e parâmetros de desempenho de máquinas e equipamentos para determinar o momento ideal para intervenção, garantindo o máximo aproveitamento do ativo. Sendo assim, seus objetivos são prevenir falhas, permitir a operação contínua e prever as condições dos equipamentos.

Além disso, esse tipo de manutenção privilegia a disponibilidade, pois as medições são feitas com o equipamento em operação. Quando o grau de degradação atinge o limite estabelecido, a intervenção é decidida. Sendo assim, segundo Almeida (2011), a diferença mais significativa entre a manutenção corretiva e a preditiva é a capacidade de se programar o reparo para ter o menor impacto possível na produção. As condições básicas para adotar a manutenção preditiva incluem a possibilidade de monitoramento, validação da ação em função dos custos, causas monitoráveis das falhas e um programa de acompanhamento sistematizado.

Por fim, segundo Ferreira (2018), a manutenção preditiva é a primeira grande quebra de paradigma na manutenção sendo o tipo de manutenção mais adequado para acompanhar a evolução da indústria na atualidade. Sendo assim, a manutenção preditiva oferece os melhores resultados ao intervir minimamente na planta, exigindo mão de obra bem treinada para análise e diagnóstico.

2.1.2.5. Manutenção Detectiva

A Manutenção Detectiva é, segundo Souza (2009), uma prática para elevar a confiabilidade dos equipamentos uma vez que se caracteriza pela intervenção em sistemas de proteção para identificar falhas ocultas não percebidas pela operação. Ou seja, uma metodologia investigativa que vai além de encontrar falhas comuns, como fazem a manutenção preventiva, preditiva ou corretiva. Por isso, este tipo de manutenção utiliza muitos recursos tecnológicos para obter diagnósticos, traçar planos de ação e acompanhar o desempenho dos reparos e das máquinas como um todo sendo geralmente aplicada na manutenção industrial em empresas com maquinários de alto valor agregado.

Inicialmente, o manutentor determina previamente parâmetros como vibrações, temperaturas e pressões. Com isso, seu acompanhamento é baseado nos testes para detecção de falhas (TDF) que apontam desgastes internos, possíveis trocas de peças ou sistemas e falhas que podem comprometer o funcionamento dos ativos. As falhas se referem à diminuição total ou parcial de desempenho de um equipamento que atenderia uma certa função durante um período.

Os 13 tipos e exemplos de falhas mais comuns diagnosticados pela Manutenção Detectiva são:

- Falha Paramétrica: Identificação de comportamentos anormais em um ativo através da comparação de parâmetros;
- Falha Catastrófica ou Estrutural: Derivada de grandes ou repentinos desvios esperados de parâmetros, como curto-circuito e válvulas travadas;
- Falha Simples: Atinge apenas um componente, como um circuito eletrônico;
- Falhas Múltiplas: Atinge vários componentes do ativo ao mesmo tempo, sendo a mais evitada;
- Falhas Dependentes: Relação de causa e efeito entre ocorrências de falhas múltiplas;
- Falhas Independentes: Falhas sem relação entre suas causas e efeitos;
- Falha Permanente: Falha irreparável que requer cuidados paliativos;
- Falha Intermitente: Falha temporária com possibilidade de conserto;
- Falhas Mascaráveis: Imperceptíveis que se compensam mutuamente, dando falsa percepção de qualidade;

- Falhas Dominantes: Evidência maior que outras falhas detectáveis simultâneas no sistema;
- Falhas Equivalentes ou Indistintas: Efeitos iguais sob certas condições, difíceis de definir a falha predominante;
- Falhas Não-observáveis ou Indetectáveis: Sem condições de percepção a médio ou longo prazo, requerem manutenção corretiva;
- Falhas Isoladas ou Detectáveis: Fáceis de encontrar e presentes no plano de manutenção sem grandes problemas.

Além disso, a utilização de computadores digitais em instrumentação e controle de processos é cada vez maior em plantas industriais. Sistemas de aquisição de dados, controladores lógicos programáveis e Sistemas Digitais de Controle Distribuído (SDCD) são algumas das arquiteturas de controle viabilizadas pelos computadores de processo. Há também sistemas de *shut-down* ou *trip* que garantem a segurança de um processo quando este sai de sua faixa de operação segura.

2.1.3. Engenharia de manutenção.

Segundo Nascif (2009), a engenharia de manutenção consiste na busca por referências de excelência através da implementação de técnicas avançadas e alinhamento com os padrões de manutenção. No contexto atual, a Engenharia de Manutenção envolve a aplicação de técnicas avançadas para prever falhas antes que ocorram, reduzindo custos e minimizando paradas não programadas. Isso é possível através da adoção de manutenção preditiva, onde dados e análises são usados para monitorar o estado de saúde dos equipamentos em tempo real.

Além disso, vale ressaltar o importante papel dos gestores de manutenção. Segundo Tavares (2005), esses devem ter uma visão abrangente e uma abordagem sistêmica dentro de suas organizações, de modo que a variedade de modelos e fundamentos do planejamento e controle da manutenção contribuam para a maximização da eficiência dos equipamentos e o aumento dos lucros da organização.

Segundo Christiansen (2020), a gestão da manutenção evoluiu de uma responsabilidade de engenheiros e técnicos para uma parte fundamental das operações empresariais. Ou seja, além das práticas técnicas, a engenharia de manutenção envolve uma mudança cultural nas

organizações, onde a colaboração entre departamentos, a capacitação contínua dos técnicos e a integração com outras áreas como engenharia de produção e qualidade são essenciais. A gestão eficaz de materiais e sobressalentes, a análise de indicadores de desempenho e a documentação técnica adequada também são aspectos críticos dessa disciplina.

Em resumo, a engenharia de manutenção fornece suporte técnico para a manutenção, com o objetivo de consolidar rotinas e implementar melhorias. Entre as principais atribuições da engenharia de manutenção, segundo Kardec (2009), estão o aumento da confiabilidade, disponibilidade, manutenibilidade, segurança, eliminação de problemas crônicos, solução de problemas tecnológicos, melhoria da capacitação do pessoal, gestão de materiais e sobressalentes, participação em novos projetos, suporte à execução, análise de falhas, elaboração de planos de manutenção e inspeção, acompanhamento de indicadores e cuidado com a documentação técnica.

2.1.4. Manutenção na aeronáutica.

A manutenção de aeronaves é um campo crítico na aviação, essencial para garantir a segurança e a eficiência das operações aéreas. A complexidade das aeronaves modernas e a necessidade de padrões de segurança extremamente rigorosos tornam a manutenção uma área altamente regulamentada e técnica. Diversos órgãos reguladores, como a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) no Brasil, estabelecem diretrizes e requisitos que regem a manutenção, as qualificações necessárias para os profissionais e os tipos de manutenção que podem ser realizados. Como por exemplo:

- RBAC 01 da ANAC: Define "manutenção" como qualquer atividade de inspeção, revisão, reparo, limpeza, conservação ou substituição de partes de uma aeronave e seus componentes, excluindo a manutenção preventiva;
- RBAC 43 da ANAC: Define "manutenção preventiva" como tarefas que não envolvem operações complexas de montagem e desmontagem de produtos nem o uso de ferramentas especiais;
- RBAC 91 e 92 da ANAC: Estabelecem que "aeronavegabilidade" é a capacidade de um produto aeronáutico (aeronave, motor, hélice ou componente) de desempenhar suas funções de forma segura.

Explorando o quesito internacional, a Associação de Transporte Aéreo (ATA), fundada em 1936 pelas companhias aéreas americanas, visa aumentar e prover a segurança na indústria aeronáutica. Em 1968, a ATA desenvolveu uma metodologia de análise de serviços e processos de manutenção chamada *Maintenance Steering Group – 1st Task Force (MSG-1)* (MOUBRAY, 2000). Os procedimentos do *MSG-1* foram usados para desenvolver as recomendações iniciais mínimas de manutenção e inspeção programada para a aeronave Boeing 747. Essa metodologia introduziu três conceitos principais de manutenção: *Hard Time*, *On-Condition* e *Condition Monitoring*.

Com a experiência adquirida, os procedimentos do *MSG-1* foram atualizados para criar um documento universal aplicável a futuros modelos de aeronaves que seriam certificados. Esse documento foi chamado *Maintenance Steering Group – 2nd Task Force (MSG-2)* (MOUBRAY, 2000). O *MSG-2* preservou os conceitos do *MSG-1* e trouxe as seguintes definições:

- *Hard-Time Limit*: Processo de manutenção preventiva primária que requer que um aparelho ou peça seja revisado periodicamente ou retirado de serviço (KCAA, 2018);
- *On Condition*: Processo de manutenção preventiva primária que exige inspeções periódicas de um dispositivo ou peça para determinar se pode continuar em serviço (KCAA, 2018);
- *Condition Monitoring*: Processo de manutenção para itens sem manutenção hard-time ou on condition como principal método. O operador controla a confiabilidade dos sistemas baseando-se na análise de falhas ou outras indicações de deterioração (KCAA, 2018).

Por fim, na década de 1980, com o aumento da complexidade das aeronaves, identificou-se a necessidade de melhorias no *MSG-2*, como a distinção entre conceitos de segurança e economia, tratamento para falhas ocultas e incorporação de itens que atendam aos novos regulamentos de segurança. Esses esforços resultaram no documento *Maintenance Steering Group – 3rd Task Force (MSG-3)* (GONÇALVES, 2008). Os procedimentos do *MSG-3* adotam uma abordagem de cima para baixo, orientada a tarefas, com lógica rigorosa para avaliar os efeitos das falhas e a aplicabilidade e efetividade das tarefas. O *MSG-3* também apresentou melhorias em análises estruturais.

De acordo com Pachol et al. (2009), o *MSG-3* tem servido como base para vários padrões e derivações da metodologia Manutenção Centrada em Confiabilidade. Essa

metodologia visa racionalizar e sistematizar a determinação das tarefas adequadas no plano de manutenção, garantindo a confiabilidade e a segurança operacional dos equipamentos e instalações a um menor custo. A origem dessa metodologia remonta a 1978, quando engenheiros da United Airlines, Stanley Nowlan e Howard Heap, publicaram um relatório fundamental sobre o gerenciamento de ativos físicos e precursor dos programas de controle de confiabilidade. Isso evidencia a grande relevância da confiabilidade no setor aeronáutico.

2.1.4.1. Tipos de falhas.

Segundo Rausand e Oien (1996), o conceito de falha é essencial para a análise de confiabilidade, sendo definido como o fim da capacidade de um item de executar a função exigida. Entre as principais falhas abordadas estão:

- **Pane:** Incapacidade momentânea de realizar uma função requerida, que pode ser resolvida sem a substituição do componente;
- **Defeito:** Não atendimento da função requerida, necessitando intervenção para restauração da condição operacional;
- **Dano:** Redução na capacidade de realizar a função, frequentemente necessitando reparo ou substituição;
- **Falha:** Incapacidade definitiva de realizar a função, corrigida apenas através de manutenção significativa;

2.1.4.2. Tipos de manutenção na aeronáutica.

A manutenção aeronáutica envolve várias ações para manter ou recolocar componentes em operação, incluindo reparo, substituição, alteração e descarte. Segundo Kinnison (2004), no começo da aviação, a manutenção consistia basicamente em inspecionar quase todas as partes das aeronaves em intervalos de tempo específicos, o que, apesar de parecer simples, acabava sendo caro e trabalhoso, com o passar dos anos, o aumento da complexidade das aeronaves e seus sistemas de navegação fizeram com que os custos de manutenção crescessem

proporcionalmente. Dessa maneira, a manutenção de aeronaves pode ser classificada de várias maneiras, as principais categorias de manutenção incluem:

- **Manutenção Preventiva:** Envolve tarefas rotineiras que não exigem desmontagem complexa e são realizadas para evitar falhas futuras. Exemplos incluem inspeções visuais, limpeza e lubrificação de componentes;
- **Manutenção Corretiva:** Realizada após a detecção de uma falha ou defeito. Esta manutenção visa restaurar a condição operacional do componente ou sistema afetado;
- **Manutenção Preditiva:** Baseada em monitoramento contínuo e análise de dados de desempenho para prever quando a manutenção será necessária, antes que uma falha ocorra;
- **Manutenção Baseada em Condição (CBM):** Envolve a monitoração do estado real dos componentes, como vibração e temperatura, para determinar a necessidade de manutenção;
- **Manutenção de Vida Limite (HT):** Executada ao final de um período de operação pré-definido, como horas de voo ou ciclos de operação;
- **Verificação de Estado (OC):** Realizada em intervalos regulares para detectar alterações no estado dos componentes;
- **Monitoramento das Condições (CM):** Envolve inspeções e verificações após a ocorrência de um defeito ou falha funcional.

Além disso, os programas de manutenção são essenciais para garantir a segurança e a eficiência das operações de voo. Eles são baseados em inspeções periódicas, que podem ser repetitivas ou progressivas:

- **Inspeções Repetitivas:** Tarefas de manutenção executadas a cada evento de uso da aeronave ou intervalo de um parâmetro de contagem, sem limite de ocorrência;
- **Inspeções Progressivas:** Divididas em categorias numeradas e ocorrem em intervalos temporais. Quando coincidem duas ou mais inspeções, todas devem ser executadas, prevalecendo os requisitos do nível mais complexo.

Ademais, ao analisar a perspectiva dos diferentes tipos de manutenção na indústria aeronáutica, sabe-se que existe a possibilidade de falha de alguns componentes nas aeronaves, mas ao esperar que essas falhas venham a ocorrer, as aeronaves são desenvolvidas com sistemas

de redundância, de tal modo que, em emergências ou falhas, ela continue operando e possa proporcionar uma possibilidade de pouso de segurança.

Dessa forma, sabe-se que, na indústria aeronáutica, existe a aplicação de manutenção corretiva programada e corretiva não programada, por exemplo, uma vez que estes problemas podem ocorrer em pleno voo de cruzeiro, mas não afetam diretamente a segurança de voo e, assim, os componentes que apresentaram falhas conseguem ser inspecionados e trocados, a fim de corrigir os problemas e garantir integridade da aeronave e dos voos a serem performados por ela.

2.1.4.3. Qualificações e certificações.

Para realizar a manutenção de aeronaves, os profissionais devem possuir qualificações específicas e certificações emitidas por órgãos reguladores. No Brasil, a ANAC estabelece os requisitos para a certificação de mecânicos e comissários de voo. Os principais requisitos incluem:

- Licença de Mecânico de Manutenção Aeronáutica (MMA): Para obter esta licença, o candidato deve concluir um curso técnico homologado pela ANAC e passar por exames teóricos e práticos. Existem três categorias de licenças: Célula, Motopropulsor e Aviônicos;
- Certificação de Estação de Manutenção (RBAC 145): Oficinas e empresas que realizam manutenção em aeronaves devem ser certificadas pela ANAC conforme os requisitos do RBAC 145. Isso inclui possuir instalações adequadas, ferramentas e equipamentos apropriados, além de pessoal qualificado;
- Treinamento e Atualização Contínua: Os mecânicos de manutenção devem participar de programas de treinamento contínuo para manter suas habilidades atualizadas e cumprir os requisitos de segurança;

2.1.5. Engenharia de confiabilidade na aeronáutica.

Para Paula (2018), para calcular a confiabilidade, são necessários dados, modelos matemáticos e estatísticos, além de um diagnóstico para verificar a aderência dos dados e uma linguagem eficaz com termos comuns, métricas comuns e ilustrações como gráficos e tabelas. Além disso, segundo O'Connor (2001), a confiabilidade é a probabilidade de um equipamento operar uma função requerida sem falha, sob condições especificadas, durante um período determinado. Sendo assim, a engenharia de confiabilidade na aeronáutica se apresenta de extrema importância tendo em vista que as falhas são, na maioria das vezes, catastróficas.

A ocorrência de falhas e seu tempo de ocorrência podem ser previstos com certa precisão. A confiabilidade, portanto, é um aspecto da engenharia da incerteza (O'CONNOR, 2002). Nesse campo, é essencial uma grande precisão nas previsões. Para isso, utilizam-se modelos estatísticos que são representações matemáticas dos dados e servem para estimar a taxa, a probabilidade de falha ou a sobrevivência para uma determinada idade ou período. Isso destaca a importância dos dados para as análises de confiabilidade na aviação.

Fazendo a análise do mercado competitivo atual, a disponibilidade e a qualidade são fatores decisivos, ambos diretamente dependentes da confiabilidade. Na aviação, essa necessidade é amplificada devido ao alto risco associado ao número de fatalidades decorrentes de acidentes. Exemplificação dessa importância é que todos os operadores de grandes aeronaves, helicópteros multimotores ou aviões com carga máxima de saída superior a 5.700 kg envolvidos em operações comerciais ou transporte aéreo comercial são obrigados a manter um programa de confiabilidade como parte do programa de manutenção dessas aeronaves (GCAA, 2010).

Além disso, devido à grande competitividade no mercado aeronáutico, a confiabilidade é utilizada como um meio para redução de custos em todas as etapas do ciclo de vida das aeronaves. Segundo Singh (2021), a manutenção assume papel importante para aumento da competitividade no mercado. Algumas das principais utilizações são definir, durante o desenvolvimento de uma aeronave, os indicadores que serão utilizados para monitorar a performance dos componentes e sistemas durante a operação, definir os valores mínimos de performance esperados, estipular dados contratuais, identificar possíveis causas de falhas em componentes, sistemas e aeronaves, entre outras. Entender como as aeronaves estão atuando

através de análises dos dados de campo recebidos torna-se essencial para uma melhoria contínua.

Por fim, as aeronaves produzem diversos tipos de dados, e para facilitar as análises, as informações são subdivididas com base em códigos criados pela ATA, em sistemas (ATA e dois dígitos numéricos) chamados de nomenclatura ATA referente a sistemas, subsistemas (quatro dígitos numéricos) ou componentes identificados por um código denominado *part number*. Como componentes podem ser intercambiáveis entre outros do mesmo tipo, por exemplo, os pneus nos trens de pouso, foi criada uma denominação de grupos de componentes, onde todos os itens dentro do mesmo grupo podem ser trocados entre si. Este trabalho estuda as subdivisões de sistemas, grupos de componentes e componentes para auxiliar na identificação da localização das falhas no avião. Segundo Amborski (2009), os principais sistemas são:

Tabela 1 - Sistemas de uma aeronave.

| ATA | Descrição | ATA | Descrição |
|-----|---------------------------------|-----|-------------------------------------|
| 21 | Ar-condicionado | 38 | Água e detritos |
| 22 | Voo automático | 45 | Computador de manutenção |
| 23 | Comunicação | 49 | APU |
| 24 | Elétrica de potência | 51 | Serviços padronizados em estruturas |
| 25 | Interiores | 52 | Portas |
| 26 | Proteção contra fogo | 53 | Fuselagem |
| 27 | Controle de voo | 54 | Naceles e pilones |
| 28 | Combustível | 55 | Estabilizadores |
| 29 | Hidráulica | 56 | Janelas |
| 30 | Proteção contra chuva e gelo | 57 | Asas |
| 31 | Sistema de indicação e gravação | 71 | Motores |
| 32 | Trem de pouso | 73 | Controles de combustível |
| 33 | Iluminação | 74 | Ignição |
| 34 | Navegação | 76 | Controle do motor |
| 35 | Oxigênio | 78 | Exaustor |
| 36 | Pneumática | 79 | Óleo |
| 37 | Vácuo | 80 | Partida |

Sendo assim, para analisar a confiabilidade das aeronaves, companhias aéreas, fabricantes e órgãos reguladores trabalham com dados brutos e geram KPIs para monitorar a performance da frota. Esses KPIs foram definidos pelo documento ATA SPEC 2000, que é um conjunto de especificações técnicas elaboradas pela ATA voltadas para a aviação civil. Nos capítulos 11 e 13 da ATA SPEC 2000, discutidos também nesse capítulo, são definidos a base para a criação de um bom programa de controle de confiabilidade, detalhando os cálculos para os principais indicadores, como monitorá-los, quais dados são utilizados e como deve ser realizada a troca de dados entre fabricantes e operadores das aeronaves.

2.2. COLETA E TROCA DE DADOS DE CONFIABILIDADE DAS AERONAVES.

Segundo a vigésima revisão da ATA SPEC 2000 (2014), os dados necessários para determinar a confiabilidade de uma aeronave são divididos em oito categorias, inter-relacionadas para possibilitar a criação de análises confiáveis a partir de dados padronizados compartilhados entre empresas do setor aeronáutico. Para o desenvolvimento da ferramenta de monitoramento de dados, esses dados podem ser classificados conforme sua captação, que pode ocorrer em tempo real ou ser processada em intervalos de tempo definidos, como mensalmente. Dessa forma, ficam-se definidos os seguintes campos de dados:

- Troca de status da aeronave: dado de atualização de qualquer status referente a uma aeronave, como troca de proprietário, operador, tempos extensos de aeronaves fora de serviço, registro da aeronave e identificação dos números dos motores;
- Dados estatísticos gerais da aeronave: dados que contém valores totais e periódicos (mensais, trimestrais, entre outros) de utilização da aeronave (quantidade de horas e ciclos de voo) e todas as decolagens previstas, além de informações sobre curtos tempos de aeronaves fora de serviço:
 - Horas de voo (do inglês *Flight Hours*, FH): Quantidade de horas voadas por uma única aeronave ou então por uma frota de aeronaves;
 - Ciclos de voo (do inglês *Flight Cycles*, FC): Quantidade de ciclos de uma determinada aeronave ou de uma determinada frota (geralmente informado a quantidade em um mês). Cada ciclo de uma aeronave pode ser descrito por 3 etapas, sendo elas: decolagem, voo de cruzeiro e pouso;

- Voos programados (do inglês *Scheduled Flights*, SF): Quantidade de voos comerciais programados para ocorrerem, segundo o cronograma do operador).
- Dados de eventos ou interrupções de aeronaves: dados que informam sobre eventos importantes como atrasos, cancelamentos, substituições de aeronaves, retornos de voo, desvio de rota, rejeição de decolagem, incidentes técnicos e dificuldades estruturais:
 - Atrasos de Voo (do inglês *Delay*, DL): são todos os voos planejados que tiveram um atraso na partida ou decolagem, em relação ao horário previsto, devido a algum problema, que pode ser técnico ou não técnico;
 - Cancelamento (do inglês *Cancellation*, CX): são todos os voos planejados que, por algum determinado motivo específico, foram cancelados e não ocorreram conforme previsto;
 - Desvio de Voo (do inglês *Diversion*, DIV): são denominados *diversion* todos os eventos, nos quais as aeronaves decolaram e, durante o voo de cruzeiro, tiveram a necessidade de desviar de sua rota original e pousar em outro aeroporto, seja por problemas técnicos ou não técnicos;
 - Retorno de voo (do inglês *Air Turn Back*, ATB): são os eventos, nos quais as aeronaves tiveram algum problema, durante o voo de cruzeiro, e necessitaram de retornar para o aeroporto de partida;
 - Decolagem rejeitada (do inglês *Aborted Takeoff*, ATO): são eventos no qual a decolagem estava ocorrendo e ela foi descontinuada, devido a algum problema existente na aeronave.
- Dados de remoção e instalação de componentes: estes dados possuem a informação do número do modelo do componente (do inglês *Part Number*), do número de série ou registro único do componente (do inglês *Serial Number*) e do código do fabricante (do inglês *Manufacturer Code*) que foram removidos e instalados na aeronave, além do defeito reportado que está relacionado ao componente que foi removido durante uma ação de manutenção. Para estes casos, temos quatro tipos de classificações para as remoções especificadas a seguir:
 - Programada (do inglês *Scheduled*): são as remoções de componentes que foram programadas para serem retiradas naquela ação de manutenção;
 - Não Programadas (do inglês *Unscheduled*): são as remoções de componentes que tiveram algum problema inesperado e tiveram que ser removidos antes do previsto pelo plano de manutenção;

- Roubo (do inglês *Robbery*): ocorre geralmente quando um componente é removido de uma aeronave para a ser adicionado em outra aeronave;
- Outros (do inglês *Others*): são as remoções de componentes que tiveram que ser removidos por outros motivos que não sejam os especificados acima, a exemplo de um componente que precisou ser removido para que um outro componente fosse devidamente inspecionado.
- Dados de registros das aeronaves: estes dados possuem todas as informações que foram escritas por pilotos, pela tripulação da aeronave e pela tripulação de manutenção, a respeito das discrepâncias existentes na aeronave. Ela também inclui ações de correção que foram implementadas a fim de corrigir as discrepâncias encontradas:
 - Relatórios de Piloto (do inglês *PILOT Reports, PIREP*): são todos os registros realizados pelos pilotos ou pela tripulação de cabine, que indicam uma suspeita ou conhecimento de mau funcionamento ou então condições insatisfatórias de algum item presente em bordo;
 - Relatórios de Manutenção (do inglês *MAINTENANCE Report, MAREP*): são todos os registros de atividades de manutenção que foram realizadas na aeronave durante uma ação de manutenção, ou que foram realizadas em consequência de um *PIREP*.
- Dados de manutenção Programada: são os dados referentes as informações das manutenções programadas, que foram realizadas durante uma determinada inspeção, seguindo os Documentos de Plano de Manutenção;
- Dados de reparo de componentes fornecidos: estes dados, comumente denominados, em inglês de *Shop Findings*, apresentam informações relacionadas ao ajuste de problemas internos de um componente que foi removido ou foi retornado para o fornecedor, para uma fábrica de reparos terceirizada ou para uma oficina de reparos de uma companhia aérea;
- Dados de Incorporação de Modificações ou Boletins de Serviços: estes dados possuem as informações relacionadas aos boletins de serviços (do inglês *Service Bulletins*), modificações ou diretivas de aeronavegabilidade emitidos pela empresa fabricante das aeronaves;
- Dados de aeronaves fora de serviço: dados comumente denominados, em inglês de *Out of Service*, que contém informação sobre uma aeronave que foi removida de serviço durante um determinado período reportado, podendo ou não ter retornado ao serviço.

Os dados apresentados acima, são dados de confiabilidade estabelecidos e padronizados conforme a ATA SPEC 2000 (2014). Esses dados têm a funcionalidade de refletir tudo o que acontece com o produto (que é a aeronave), para a empresa fabricante, a fim de auxiliar em um melhor entendimento das performances existentes relacionadas ao produto.

Dessa forma, os dados citados anteriormente, em sua maioria, têm alguma relação com algum problema ou discrepância encontrado antes, durante ou após um voo e que acabou sendo registrado por times de manutenção ou pela própria tripulação, de tal forma que, como essas informações dependem de ações e descrições humanas, para melhor entendê-los, quase nenhum tipo de dado pode ser captado em tempo real.

Atualmente, sabe-se que existe um sistema que informa, para cada aeronave, tudo que foi realizado de procedimento na aeronave, desde a partida até o desligamento de uma determinada aeronave e, a partir deste sistema, é possível ter algumas informações sobre ocorrência de problemas, mas nada que possa ser utilizado para se analisar e tomar conclusões de melhorias dos sistemas que estão apresentando problemas, uma vez que eles conseguem indicar a ocorrência de uma discrepância mas não qual foi o motivo da ocorrência.

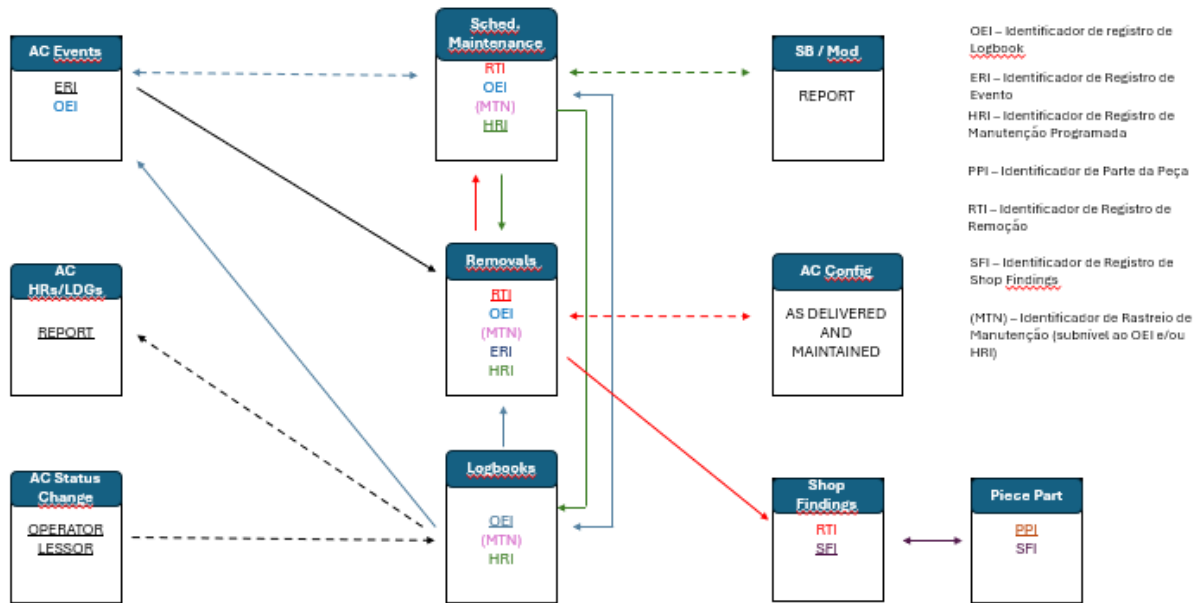
Por fim, uma outra possibilidade de implementação de monitoramento de dados em tempo real, seriam dos dados de Horas e Ciclos, que, a partir de um sistema embarcado, transmitiriam a informação de utilização das aeronaves para a empresa e, assim, poderiam ser devidamente monitorados.

2.3. RELACIONAMENTO ENTRE OS DADOS E O ESQUEMA XML.

Segundo Almeida (2002), o uso do XML no gerenciamento de dados está sendo analisado por várias empresas, visando desenvolver abordagens mais eficazes para o manuseio de dados na Internet. Após a extração dos dados especificados acima, é possível relacioná-los entre si, uma vez que alguns dados exercem influência em relação a outros, como é o caso de *Logbooks* que podem acarretar, como consequência, em eventos que tiveram *delays*, *cancellations* ou *aborted takeoff*, por exemplo.

Sendo assim, estabelece-se a seguinte relação entre os diferentes tipos de dados de confiabilidade:

Figura 1 - Esquema de relacionamento de dados.



Pautado nesta lógica, os diferentes registros existentes em cada campo de dados conseguem se relacionar de forma direta (representado pelas setas cheias) ou de uma forma indireta (representado pelas setas pontilhadas), de tal forma a proporcionar um melhor entendimento de todo processo de um registro que ocorreu em um determinado registro. Segundo Almeida (2002), o XML tem como padrão a representação de dados na internet de modo a facilitar a publicação nos meios eletrônicos tendo em vista que contém uma sintaxe de fácil entendimento.

Segundo a ATA SPEC 2000 (2014), um exemplo de como estes dados se relacionam é, a partir da ocorrência de um Evento (OEI), foi registrada a remoção de uma unidade linear removível (do inglês, Linear Removable Unit – LRU), RTI. Em seguida, após um procedimento de manutenção (MTN), chegou-se à conclusão de que o item deveria ser substituído na próxima remoção programada (MRI). Após essa remoção, o componente é enviado à oficina ou ao fornecedor, de tal forma que uma verificação é feita, criando-se um registro de Shop Findings. Dessa forma, todos os registros relacionam-se por meio dos indicadores OEI, MTN e RTI, de tal forma a proporcionar uma visão mais ampla e completa de uma determinada ação de manutenção.

Uma outra possibilidade e perspectiva de análise desses relacionamentos, pode se dar da seguinte forma:

- Durante o inspecionamento da aeronave, pela tripulação, anterior ao voo, uma discordância é encontrada e registrada, gerando um registro de *PIREP*, e a equipe de manutenção é acionada para auxiliar na solução desta discordância;
- Em seguida, após a chegada do time de manutenção, tem-se a demora para a descoberta e conserto do problema, acarretando um *delay*, em relação ao horário de partida previsto, naquele voo, resultando no registro de um novo Evento;
- Além disso, para solução do problema, foi necessário realizar a remoção de um determinado componente, gerando um novo registro de uma *LRU Removal*;
- Posteriormente, o componente removido, foi enviado para a oficina, para que testes fossem realizados, por parte da oficina ou do fornecedor do componente, criando-se um registro de *Shop Findings*;
- Ainda, por meio das análises realizadas de *Shop Findings*, verificou-se que os componentes que continham aquele mesmo *Part Number*, continham um problema e os fornecedores disponibilizaram o componente do mesmo grupo (*Component Group*), mas de um *Part Number* diferente, que continha o problema solucionado como uma forma de resolver o problema;
- Por fim, a empresa aeronáutica emite um Boletim de Serviço (*Service Bulletin*) solicitando a todos os operadores, que tenham aeronaves com componentes daquele *Part Number*, que realizem a incorporação do novo componente, gerando assim, um registro de Manutenção Programada (*Scheduled Maintenance*).

Diante disso, e para que todas essas relações ocorram, é solicitado que os arquivos que contenham os diferentes tipos de dados de confiabilidade sejam extraídos e compartilhados no formato de *eXtensible Markup Language* (XML), que, segundo Almeida (2002), o XML não é uma linguagem de marcação predefinida, possibilitando a criação da própria marcação e promovendo a interoperabilidade entre diversos sistemas computacionais (Windows, Linux, iOs) e que também são suportados por diversos softwares.

Figura 2 - Imagem representativa do modelo XML.

```

<?xml version="1.0" standalone="yes" ?>
- <NewDataSet>
- <Clientes>
  <Codigo>10</Codigo>
  <Nome>Jose Carwlos Macoratti</Nome>
  <Endereco>Rua Projetada 100</Endereco>
  <Cidade>Brasilia</Cidade>
  <Cep>78560-458</Cep>
  <Telefone>61-7854-0065</Telefone>
  <Email>macoratti@yahoo.com</Email>
</Clientes>
- <Clientes>
  <Codigo>20</Codigo>
  <Nome>Miriam Estela Siqueira</Nome>
  <Endereco>Rua Mirassol 239</Endereco>
  <Cidade>Campinas</Cidade>
  <Cep>13204-540</Cep>
  <Telefone>11-4562-9954</Telefone>
  <Email>miriam@net.com.br</Email>
</Clientes>
</NewDataSet>

```

2.4. MÉTRICAS DE PERFORMANCE E CONFIABILIDADE UTILIZADAS NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA.

No contexto da aviação, a análise estatística é essencial para a monitorização e otimização dos KPIs (*Key Performance Indicators*) relacionados ao voo de aeronaves. Tais métricas são essenciais para avaliar o desempenho e a segurança das operações aéreas, além de fornecer, para a empresa fabricante, pontos a serem melhorados. Segundo Kaplan e Norton (1997), a importância da gestão baseada na medição de desempenho é essencial para que as empresas possam se manter competitivas.

Key Performance Indicators (KPIs), ou indicadores de desempenho, são a quantificação dos processos e podem ser entendidos como valores numéricos que retratam a realidade de uma organização (FERNANDES, 2004). Tal ferramenta é fundamental na gestão estratégica, pois proporciona uma visão clara e objetiva do desempenho, auxiliando na tomada de decisões e no alinhamento das atividades operacionais com a estratégia organizacional, com o objetivo de promover uma melhoria contínua dos processos.

Em sua essência, os KPIs se definem como medidas que refletem o desempenho de uma atividade, processo ou iniciativa em relação a objetivos específicos. Segundo Fischmann e Zilber (1999), os indicadores ajudam os gestores a avaliar o desempenho do negócio, fornecendo suporte para a tomada de decisões e a reorientação dos investimentos com o objetivo de alcançar as metas estabelecidas.

Contudo, os dados de desempenho são relativos e precisam de contexto para serem significativos. A apresentação os resultados de uma instituição por si só não representam resultados sobre seu desempenho, a menos que sejam comparados com metas estabelecidas ou padrões anteriores (TCU, 2000). Sendo assim, para que esses indicadores cumpram de fato seu objetivo, é fundamental que sejam cuidadosamente selecionados e definidos de acordo com cada propósito. Essa escolha se inicia com a clara definição dos objetivos estratégicos da organização, ou seja, os pontos que os implementadores julguem necessário que seja aplicada a melhoria contínua.

Em seguida, para que eles se tornem eficazes, é necessário definir metas para cada indicador. Segundo George T. (1981), existe uma forma inteligente de redigir objetivos e metas da gestão, criando assim, o ideal das metas SMART. As metas SMART são objetivos específicos, mensuráveis, atingíveis, relevantes e temporais. A especificidade garante clareza sobre o que se deseja alcançar, enquanto a mensurabilidade permite avaliar o progresso. As metas precisam ser atingíveis para serem realistas, além de serem relevantes, alinhando-se com as prioridades estratégicas da organização. Por fim, as metas devem ser temporais, definindo um prazo claro para sua realização, o que ajuda a manter o foco e a urgência.

De acordo com Parmenter (2006), os principais benefícios das métricas de desempenho podem ser organizados e analisados em três categorias: alinhamento e conexão das atividades diárias com os fatores críticos para o sucesso da organização; melhoria do desempenho; aumento do senso de propriedade, empoderamento e realização.

Após o entendimento da definição dessas métricas temos que a partir dos diferentes dados de confiabilidade, é possível gerar indicadores extremamente relevantes que podem ser utilizados tanto pela empresa aeronáutica em situações de necessidade de decisões relacionadas aos seus produtos. Segundo Marr (2017), o uso de KPIs se assemelha a um navio, onde o capitão e a tripulação precisam de informações de navegação para saber sua posição em relação ao percurso planejado. Assim, é possível obter os seguintes benefícios para ambas as partes, no que tange às análises de dados e tomadas de decisões:

- Redução nas interrupções programadas;
- Melhoria na análise de causas raiz de problemas;
- Melhoria nas referências (*benchmark*) da indústria;
- Melhoria nos planos de manutenção futuros.

Para que estes benefícios possam ser atingidos, existem diversos indicadores que podem ser analisados, segundo a ATA SPEC 2000. Porém, para a finalidade de contextualização deste projeto, serão explicitadas apenas alguns dos principais indicadores que são mais utilizados no dia a dia, dentro da indústria aeronáutica, uma vez que outros indicadores às vezes são apenas uma derivação dos que estão apresentados.

Inicialmente, todas as métricas estão divididas em diferentes grupos das quais fazem parte, a depender, por exemplo, do tipo de dado que é utilizado para cálculo do indicador, sendo os grupos:

- Métricas de Despacho (do inglês *Dispatch Metrics*);
- Métricas de Dificuldade de Serviço (do inglês *Service Difficulty Metrics*);
- Métricas de Confiabilidade de Componentes (do inglês *Component Reliability Metrics*);
- Taxas de *Logbook* (do inglês *Logbook Rates*);
- Métricas de Disponibilidade (do inglês *Availability Metrics*).

2.4.1. Dispatch Metrics.

Estas métricas são calculadas com os dados de Eventos de Aeronaves (*Aircraft Events*) e dados de Horas e Ciclos (*Hours and Cycles*).

Neste grupo, normalmente são realizados cálculos de diversos indicadores que estão diretamente relacionados com a disponibilidade das aeronaves, bem como a possibilidade de verificar a influência de cada tipo, por exemplo, de evento, na disponibilidade das aeronaves.

Além disso, é necessário ressaltar que para estas métricas, cada registro de evento pode ser classificado em problemas técnicos (*Chargeable*) ou não técnicos (*Non-Chargeable*) e, se tratando de uma empresa do ramo aeronáutico, é muito interessante visualizar os indicadores deste grupo, em função dos eventos que são técnicos, pois representam de fato os problemas

existentes do produto e que devem ser investigados e/ou corrigidos. Porém, estas diferenças não serão abordadas neste trabalho.

Sendo assim, relacionados à disponibilidade das aeronaves, tem-se as seguintes métricas:

- Confiabilidade Programada (do inglês *Schedule Reliability* – SR): esta métrica representa um percentual da quantidade de voos programados para um determinado mês, que cumpriram o seu determinado trajeto sem que houvesse nenhum tipo de interrupção (*delay, cancellation, diversion, air turn back, aborted takeoff*):

$$SR = \frac{Qtd_{SF} - (DLY + CX + ATO + ATB + DIV)}{Qtd_{SF}} \cdot 100 \quad (1)$$

- Taxa de Completude (do inglês *Completion Rate* – CR): esta métrica é muito próxima do SR, porém neste caso, analisa-se a quantidade de voos que completaram o trajeto desde a decolagem do local de origem até o pouco no destino programado, independente se houve delay ou não. Assim calcula-se da seguinte forma:

$$CR = \frac{Qtd_{SF} - (CX + ATO + ATB + DIV)}{Qtd_{SF}} \cdot 100 \quad (2)$$

- Taxa de Interrupção (do inglês *Interruption Rate*): esta métrica faz o cálculo das taxas de interrupções das aeronaves. Muitas vezes, com os dados brutos não é possível visualizar e retirar alguma conclusão, porém é possível calcular as taxas. Para este caso, em específico, a taxa de interrupção representa em termos percentuais, do total de voos programados, quantos tiveram alguma interrupção:

$$\text{Inter Rate (IR)} = \frac{(DLY + CX + ATO + ATB + DIV)}{Qtd_{SF}} \cdot 100 \quad (3)$$

2.4.2. Service Difficulty Metrics:

Estas métricas são calculadas com os dados de Eventos de Aeronaves (*Aircraft Events*) e dados de Horas e Ciclos (*Hours and Cycles*).

Neste grupo, as métricas calculadas geralmente são mais específicas, abordando cada um dos diferentes tipos de incidentes específicos que ocorrem durante o voo, calculados com base em cada 1000 ciclos de voo, ou seja, estas métricas resumem-se na probabilidade de um dos incidentes existentes ocorrerem a cada 1000 voos para uma determinada aeronave.

Dessa forma, existem diversos incidentes que podem ocorrer, dentre os quais, tem-se os presentes nas interrupções (*diversion, air turn back, aborted takeoff*), além de uma métrica extremamente importante de desligamento de motor durante o voo.

Sendo assim, todos os cálculos seguem a mesma lógica de cálculo, em relação à métrica abaixo, porém considerando apenas os casos específicos de cada incidente ocorrido.

- Taxa de Desligamento de Motor (do inglês *Inflight Shutdown Rate – IFSD*): esta métrica é de fundamental importância, pois analisa a taxa relacionada ao desligamento de, ao menos, um dos motores da aeronave durante o voo, seja de modo proposital ou involuntário:

$$IFSD = \frac{Qtd_{IFSD}}{Qtd_{Decolagens}} \cdot 1000 \quad (4)$$

2.4.3. Component Reliability Metrics.

Estas métricas são calculadas utilizando os dados de Remoções (*LRU Removals*) e, concomitantemente, dados de Horas e Ciclos (*Hours and Cycles*).

Neste caso, estas são métricas que, no caso deste trabalho, são calculada em função de dados referentes às aeronaves, porém os mesmos indicadores estendem-se para qualquer ramo da engenharia mecânica que possuam máquinas em utilização (uma vez que elas precisam sempre passar por processos de manutenção).

Sendo assim, tem-se os seguintes principais indicadores e as explicações sobre cada, bem como as equações voltadas para o ramo da aviação.

- Tempo Médio Entre Remoções (do inglês *Mean Time Between Removals* – MTBR): esta métrica tem como finalidade calcular o tempo médio entre as remoções de um determinado componente. De modo geral, é um indicador que dá um panorama sobre o tempo médio de utilização de um componente até ele ser removido, seja essa remoção programada ou não:

$$MTBR = \frac{\text{Qtd. Comp. PorAeronave} \cdot \text{HrsVoadas}}{\text{Qtd. Remoções}} \quad (5)$$

- Tempo Médio Entre Remoções Não Programadas (do inglês *Mean Time Between Unscheduled Removals* – MTBUR): nesta métrica, calcula-se o tempo médio entre as remoções não programadas de um determinado componente. Esta métrica é extremamente importante pois proporciona uma noção de tempo em que os componentes estão sendo removidos, além da performance desses componentes:

$$MTBUR = \frac{\text{Qtd. Comp. PorAeronave} \cdot \text{HrsVoadas}}{\text{Qtd. Remoções Não Programadas}} \quad (6)$$

- Tempo Médio Entre Falhas (do inglês *Mean Time Between Failures* – MTBF): esta métrica, é extremamente parecida com as anteriores, porém ela tem como finalidade entender como está sendo o tempo médio de utilização dos componentes que foram removidos por questão de falha:

$$MTBF = \frac{\text{Qtd. Comp. PorAeronaves} \cdot \text{HrsVoadas}}{\text{Qtd. Remoções por Falha}} \quad (7)$$

- Taxa de Falha Não Encontrada (do inglês *No Fault Found* – NFF): a métrica em questão tem a finalidade de avaliar, em relação às remoções não programadas e que voltaram

para a oficina ou para o fornecedor e, após a realização de testes, foi identificado que não havia falhas no componente removido:

$$NFF = \frac{\text{Total Remoções Não Progr. sem falhas detectadas pelo Fornec.}}{\text{Total Remoções Não Progr. Enviadas ao Fornecedor}} \cdot 100\% \quad (8)$$

- Taxa de Remoções Não Programadas (do inglês *Unscheduled Removal Rate* – URR): esta métrica é basicamente o inverso da métrica do MTBUR, apresentando, desta forma, uma outra visibilidade em relação a mesma informação. De modo geral, ela informa a taxa de remoções não programadas, de um componente específico, a cada 1000 horas de voo de uma aeronave:

$$URR = \frac{\text{Qrd. Remoções Não Programadas}}{\text{Qtd. Comp. PorAeronave} \cdot \text{HrsVoadas}} \cdot 1000 \quad (9)$$

2.4.4. Logbook Rates.

Estas métricas são calculadas com os dados de *Logbook* de Aeronaves (*Logbook Records*) e dados de Horas e Ciclos (*Hours and Cycles*).

Para estas taxas, normalmente, são utilizados apenas dois tipos de indicadores em abordagens de escalas distintas. A finalidade da taxa de *logbooks* é para compreender melhor quantos registros de discrepâncias foram identificados a cada 100 horas de voo, ou a cada 1000 horas de voo.

Sendo assim, em relação às taxas de *logbooks*, tem-se os seguintes indicadores:

- Taxa de Relatório de Pilotos (do inglês *PIREP Rate*): esta métrica, é uma das mais utilizadas na área de confiabilidade, para avaliação dos dados de *logbook*, uma vez que os registros de discrepâncias gerados por pilotos, geralmente tendem a indicar problemas frequentes e não esperados no momento de checagem:

$$\text{PIREP RATE} = \frac{\text{Qtd. PIREP}}{\text{HorasVoadas}} \cdot 1000 \quad (10)$$

- Taxa de Relatório de Manutenção (do inglês *MAREP Rate*): esta métrica é extremamente parecida com a de *PIREP Rate*, porém ela faz utilização dos registros dos relatórios de manutenção e são, geralmente, menos utilizadas, uma vez que, muitas vezes, os dados destes registros são advindos de discrepâncias já registradas pela tripulação nos *pilot reports*:

$$\text{MAREP RATE} = \frac{\text{Qtd. MAREP}}{\text{HorasVoadas}} \cdot 1000 \quad (11)$$

2.4.5. Availability Metrics.

Estas métricas são calculadas com os dados de aeronaves fora de serviço (*Aircraft Out-Of-Service*), registro de trocas de status de aeronaves (*Aircraft Status Change*) e com os dados de horas e ciclos (*Flight Hours and Flight Cycles*).

Para estas métricas, avalia-se a disponibilidade das aeronaves para realização de voos, ou seja, muito relacionado a operabilidade das aeronaves dos operadores.

Estas se fazem de extrema importância, uma vez que, principalmente, para as linhas aéreas, aeronaves não disponíveis para voo, significa redução em tempo e número de voos e, conseqüentemente, em faturamento, de tal forma que, quanto melhor os indicadores, significa que as aeronaves estão em condições de voar.

Dessa forma, existem algumas métricas utilizadas, porém a mais utilizada é a de disponibilidade de despacho, conforme indica abaixo.

- Disponibilidade de Envio (do inglês *Dispatch Availability – DA*): esta métrica representa a quantidade de tempo que uma aeronave estava disponível para utilização, calculada como sendo 100% menos o tempo fora de serviço, dividido pelo tempo operacional, sendo este, a quantidade de dias operacionais multiplicado por 24 (número de horas em um dia):

$$DA = \left(1 - \frac{\sum \text{Horas Fora de Serviço}}{\text{Dias Operacionais} \cdot 24} \right) \cdot 100 \quad (12)$$

2.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA EMBASADA EM TÉCNICAS DE DESVIO PADRÃO.

Segundo Silva et. al (2015), a estatística é um campo do estudo centrado na produção de metodologia para coleta, organização, descrição, análise e interpretação de dados, bem como na obtenção de conclusões válidas e na tomada de decisões baseadas em tais análises e pode ser aplicada em praticamente todas as áreas do conhecimento humano como administração, economia, farmácia, agricultura e, principalmente, na engenharia mecânica, se tratando dos campos de manutenção e confiabilidade, tendo as seguintes finalidades:

- Decidir qual é o melhor plano experimental e amostral para a realização da pesquisa;
- Organizar e sumarizar dados obtidos por classificação, por contagem ou por mensuração;
- Fazer inferência sobre populações de unidades quando apenas uma parte (amostra) é estudada.

Além disso, segundo Silva et. al (2015), a utilização da estatística se faz necessária para avaliar e cumprir com os três tópicos acima, de tal forma que os dados são organizados e devidamente classificados e eles passam por uma inferência específica, por meio de cálculo de média e desvio padrão, a fim de avaliar a própria qualidade e padronização dos dados coletados mensalmente.

Dentre as diversas métricas e medidas estatísticas, as principais a serem utilizadas no desenvolvimento deste trabalho e projeto são a média aritmética e o desvio padrão.

2.5.1. Média Aritmética.

Segundo Portella et. al (2015), a média aritmética faz parte de um conjunto de medidas denominadas de medidas de tendência central que são basicamente métricas utilizadas para estimar um valor de centro de equilíbrio de uma distribuição de frequência de uma variável e é calculada pela seguinte equação:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (13)$$

Desta forma, é importante ressaltar, segundo Portella et. al (2015), a média nem sempre é o valor da variável em análise que ocorre com maior frequência e não é necessariamente, o ponto central da distribuição dos dados (ponto que divide as observações exatamente na metade). A média pode ser interpretada como o “centro de gravidade” dos dados, ou seja, é o ponto de qualquer distribuição em torno do qual se equilibram as discrepâncias positivas ou negativas.

Além disso, segundo Portella et. al (2015), é importante ressaltar que, a média é uma das métricas mais utilizadas, porém apresenta vantagens e desvantagens e, em sua maioria, não devem ser utilizadas sozinha, mas em conjunto de outras medidas estatísticas para maior confiabilidade nas análises, uma vez que, por exemplo:

- A média é uma medida que, por uniformizar os valores de um conjunto de dados, não representa bem os conjuntos e revelam tendências extremas;
- Não necessariamente tem existência real, isto é, nem sempre é um valor que faça parte do conjunto de dados, para bem representá-lo, embora pertença obrigatoriamente ao intervalo entre o maior e o menor valor;
- Os valores mais extremos e distantes influenciam muito, em uma amostra de dados, possibilitando alterar um pouco do padrão dos dados.

2.5.2. Desvio padrão.

O desvio padrão é uma medida de dispersão que advém da variância e ambas levam em consideração a totalidade dos valores da variável em estudo, e não apenas os valores externos (CRESPO, 2002). Por isso, essas medidas são índices de variabilidade bastante estáveis e, conseqüentemente, muito utilizados no cotidiano.

- Variância:

$$s^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (14)$$

- Desvio Padrão:

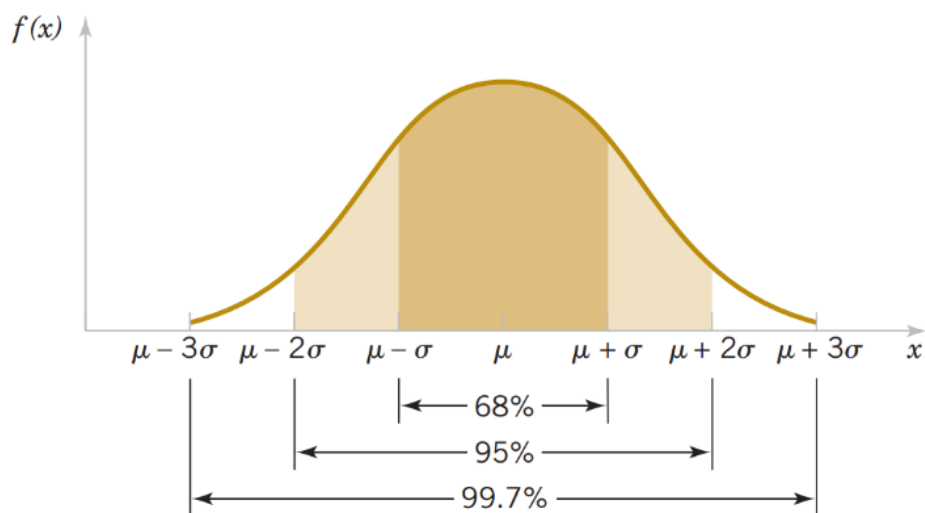
$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (15)$$

O desvio padrão é a medida de dispersão mais utilizada porque aponta de forma mais precisa a dispersão dos valores em relação à média aritmética (NAZARETH, 2003) e, por isso, o desvio padrão amostral (conforme indicam as equações 14 e 15) foi selecionado como medida estatística auxiliar à média para a análise dos dados de confiabilidade.

2.5.3. Distribuição normal.

Segundo Portella et. al (2015), a distribuição de Gauss é de extrema relevância na inferência estatística tendo em vista que possibilita realizar aproximações de variáveis aleatórios. Aqui, ela tem a função de detectar dados que estão fora da abrangência determinada por essa curva e que foi gerada a partir de uma função densidade desenvolvida por Gauss, conforme a imagem a seguir:

Figura 3 - Curva de distribuição Normal ou Curva Gaussiana.



Ainda em relação à curva de distribuição normal, de acordo com o Livro de Probabilidade e Estatística da UFRGS (2020), é possível calcular um intervalo de confiança que é composto por um parâmetro pontual (média dos valores) que será a referência da simetria, sobre a qual o intervalo será referenciado. Além disso, o intervalo de confiança pode ser interpretado como sendo uma forma de quantificar como é plausível que o parâmetro analisado esteja no intervalo determinado e, por isso, pode ser calculado por:

$$IC = \bar{x} \pm N \cdot s \quad (16)$$

Neste caso, a constante “ N ” representa a quantidade de desvios padrão a ser considerada no cálculo do intervalo e, para alguns valores específicos, existem já a quantificação calculada dessas abrangências. Por exemplo, como mostra o gráfico da Figura 3, para uma quantidade de 2 desvios padrão, o intervalo de abrangência dos dados é de, aproximadamente, 95% e para 3 desvios padrão, o intervalo é de 99,7%. Ou seja, conforme os cálculos apresentados no Livro de Probabilidade e Estatística da UFRGS (2020), de toda a amostra de dados utilizada, o intervalo pode abranger 95% ou 99,7% de todos os dados.

2.5.4. Metodologia estatística.

Dessa forma é possível realizar o monitoramento da quantidade dos dados referente ao setor aeronáutico aplicando toda esta metodologia estatística, de tal modo a escolher uma quantidade de desvios padrão empírica, conforme discutido no Livro de Probabilidade e Estatística da UFRGS (2020), que consiga compreender grande quantidade de dados e ainda, alertar sobre os dados que estão fora dos padrões e níveis limites de alerta.

Além disso, essa metodologia já é, inclusive, utilizada por empresas de aviação, como é o caso da *Transport Canada*. Esta empresa possui um documento denominado de Aviso do Manual de Aeronavegabilidade (do inglês *Airworthiness Manual Advisory - AMA*) nº 571.101/1 (1986) que descreve todo um programa de monitoramento de confiabilidade.

Segundo este documento, o objetivo é proporcionar informação do uso de métodos de controle de confiabilidade para monitorar a efetividade dos programas de manutenção de aeronaves. O objetivo é proporcionar um guia para o desenvolvimento de programas de confiabilidade, a partir de um esboço padronizado do Departamento de Transporte (do inglês

Department of Transport – DOT) para avaliação dos programas, além de exemplificar os cálculos estatísticos em relação a esses programas.

Segundo o Livro de Probabilidade e Estatística da UFRGS (2020), um dos cálculos do nível de alerta é realizado a partir do cálculo da média e duas vezes o desvio padrão. Para este caso, a probabilidade de um alerta superior (resultado de uma distribuição normal) é de aproximadamente 4.5%.

Com isso, é possível concluir que o método estatístico de cálculo de média aritmética dos dados de confiabilidade recebidos mensalmente, com a criação de níveis de alerta baseados em limites inferiores e superiores calculados com desvio padrão é uma ferramenta já implementada dentro da indústria aeronáutica por diversas empresas, conforme discutido no Aviso do Manual de Aeronavegabilidade nº 571.101/1 (1986). Vale ressaltar também que a sua utilização tem sido feita pelos times de engenharia de confiabilidade, uma vez que existe uma certa rigidez com a qualidade dos dados que são recebidos e posteriormente utilizados em diferentes análises de indicadores a serem fornecidos para desenvolvimento e melhoria de produtos e, até mesmo, para os próprios clientes e para a empresa responsável pelas aeronaves.

3. MATERIAIS E MÉTODOS.

Para o desenvolvimento da ferramenta de monitoramento dos dados de Horas e Ciclos de Voo (*Flight Hours and Flight Cycles*), Registros de Aeronave (*Logbook Records*), Remoções de Componentes (*Removals*) e Interrupções ou Eventos (*Interruptions*), utilizaram-se de dois softwares da Microsoft, sendo eles:

- Excel;
- Power Bi.

O Excel é um software da Microsoft muito utilizado para armazenamento, tratamento e análise de dados, normalmente, brutos, enquanto o Power Bi é uma ferramenta de inteligência de mercado (*Business Intelligence*) que tem por finalidade facilitar o desenvolvimento de dashboards interativos focados na análise de dados brutos armazenados, por exemplo, em arquivos de Excel.

No caso do desenvolvimento deste trabalho, os dados utilizados foram previamente tratados e manipulados, uma vez que não é permitido a utilização de dados internos da companhia aérea. Dessa forma, foram extraídos dados de 11 exemplos que estão divididos em dois modelos distintos de aeronaves, sendo 6 exemplos para o primeiro modelo e 5 exemplos para o segundo.

Dessa forma, serão explicitados a seguir, todos os dashboards desenvolvidos para cada um dos campos de dados mencionados anteriormente e, sobre eles, serão descritos passo a passo os:

- Os arquivos Excel utilizados e as informações presentes mais relevantes presentes em cada um deles;
- Qual a lógica geral de cálculo dos níveis de alerta que deveriam ser levadas em consideração;
- As visibilidades e o funcionamento do dashboard.

3.1. DESENVOLVIMENTO DO DASHBOARD DE HORAS E CICLOS DE VOO (*FLIGHT HOURS AND FLIGHT CYCLES*).

3.1.1. Arquivos utilizados.

Para o desenvolvimento deste dashboard, foram extraídas informações do projeto original e que foram devidamente criptografadas e alteradas, a fim de manter o propósito original do desenvolvimento deste trabalho, porém sem que ocorresse a utilização dos dados oficiais e sigilosos da empresa do setor aeronáutico.

Sendo assim, temos três arquivos Excel que foram utilizados para o desenvolvimento do dashboard, sendo que desses, dois também são utilizados para os outros campos de dados. Sendo assim:

- Tabela de Informações Operacionais: esta tabela foi criada com a intenção de verificar se os dados estão presentes dentro do sistema de importação utilizado pela empresa do setor. Desta forma, ela consegue indicar, em cada mês, para cada operador de cada modelo de aeronave, se o tipo de dado foi importado ou não;
- Tabela de Mapa de Dados: esta é um controle interno realizado pela área de Engenharia de Confiabilidade da empresa e que contém as mesmas informações da tabela de

informações operacionais, porém o controle não é feito pelo sistema, e sim, pelo próprio time ao longo do mês, durante a confecção dos processos rotineiros;

- Tabela de Horas e Ciclos de Voo: esta é uma tabela que contém as informações de horas e ciclos mensais de cada aeronave, em um específico mês, e os acumulados totais de horas e ciclos, também de cada aeronave, reportados pelos operadores.

3.1.2. Lógica de cálculo de monitoramento de dados.

Para o monitoramento dos dados de Horas e Ciclos de Voo, o cálculo realizado foi feito em relação ao somatório das horas e ciclos voados de cada aeronave de cada operador.

A partir disso, calcula-se a média dos resultados obtidos e o desvio padrão, para que então se estipulem os níveis de alerta com base na quantidade de intervalos de desvio padrão utilizada.

Sabe-se que, conforme os cálculos apresentados no Livro de Probabilidade e Estatística da UFRGS (2020), 2 desvios padrão representam aproximadamente 95% de abrangência e 3 desvios 99,7%. Porém, o valor utilizado para confecção dos níveis de alerta, foi determinado, neste caso, de forma empírica e está entre os valores especificados pela literatura.

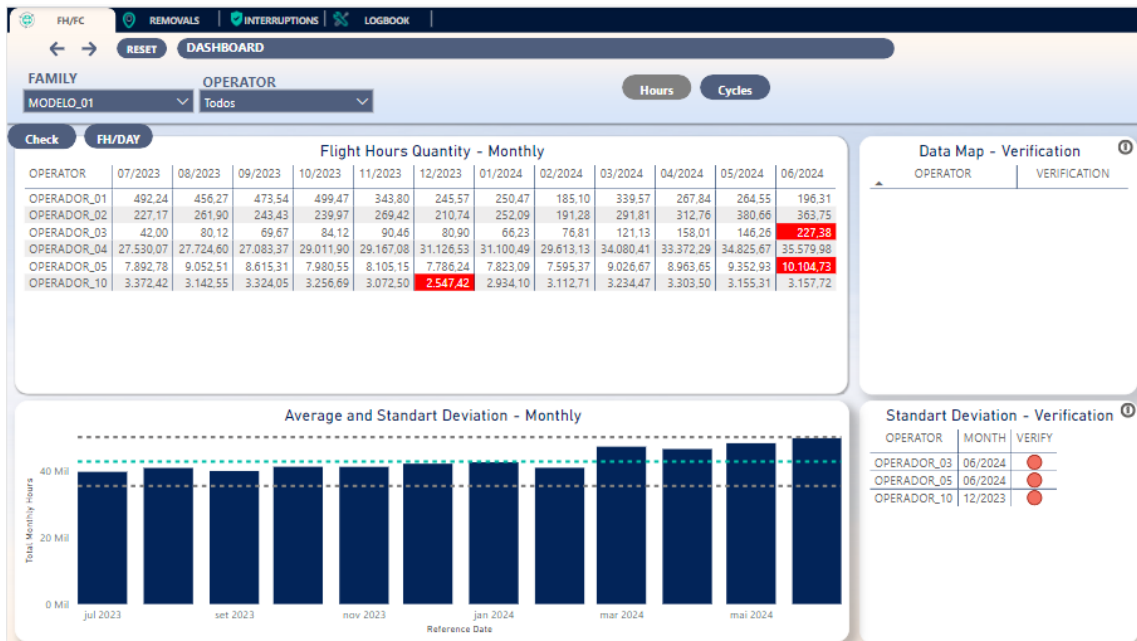
Isso se deve, pelo fato de que, os dados são muito sensíveis e têm suas variações mensais, de tal forma que, ao testar 2 desvios padrão, o dashboard apresentava diversos casos que, muitas vezes, estavam de fato corretos e, ficar verificando todos os dados em uma grande quantidade, faria com que muito tempo, no dia a dia, tivesse que ser destinado para a confirmação destes dados. Por outro lado, 3 desvios padrão abrangiam uma quantidade muito grande de informação, de tal forma a não apresentar quase nenhum alerta em relação aos dados que pudessem ter algum tipo de problema, por estarem fora dos padrões normais.

Com isso, depois da realização de testes e análises de dados de vários operadores, o parâmetro foi ajustado para um valor de 2,5 desvios padrão, com aproximadamente 99% de abrangência, resultando em alguns dados que, de fato estão fora do padrão e que podem estar corretos ou não. Assim, com isso, atinge-se o propósito de destacar dados que necessitam de serem reavaliados.

3.1.3. Explicitação e explicação do funcionamento do dashboard.

Após as explicações anteriores e o desenvolvimento do dashboard, esta foi a ferramenta desenvolvida para monitoramento dos dados:

Figura 4 - Dashboard principal de monitoramento dos dados de horas de voo.



Como apresentado na Figura 4, o dashboard de monitoramento tem como configuração original, abrir nas informações de horas de voo. É possível perceber que, existem algumas possibilidades de diferentes informações a serem visualizadas, pois tem-se as seguintes opções:

- *Hours* (opção padrão): mostra as informações e indicadores de diferentes alertas para os dados de horas;
- *Cycles*: possui as mesmas visibilidades do dashboard de horas, porém com os dados de ciclos de voo;
- *FH/DAY*: é uma visibilidade existente apenas no dashboard de horas que permite verificar a quantidade de horas de voo por quantidade de dias voados
- *Check*: é uma visibilidade presente tanto para horas quanto para ciclos e tem a função de mostrar se existem dados que estão com uma diferença de informação (parâmetro de processo internamente estabelecido).

No dashboard de horas (*Hours*) é possível verificar que temos quatro diferentes visibilidades, sendo elas:

- Quantidade de Horas de Voo por mês;
- Verificação dos dados do Mapa de Dados;
- Gráfico de barras com as informações de horas mensais e indicações de média e níveis de alerta;
- Verificação de dados fora dos níveis de alerta;

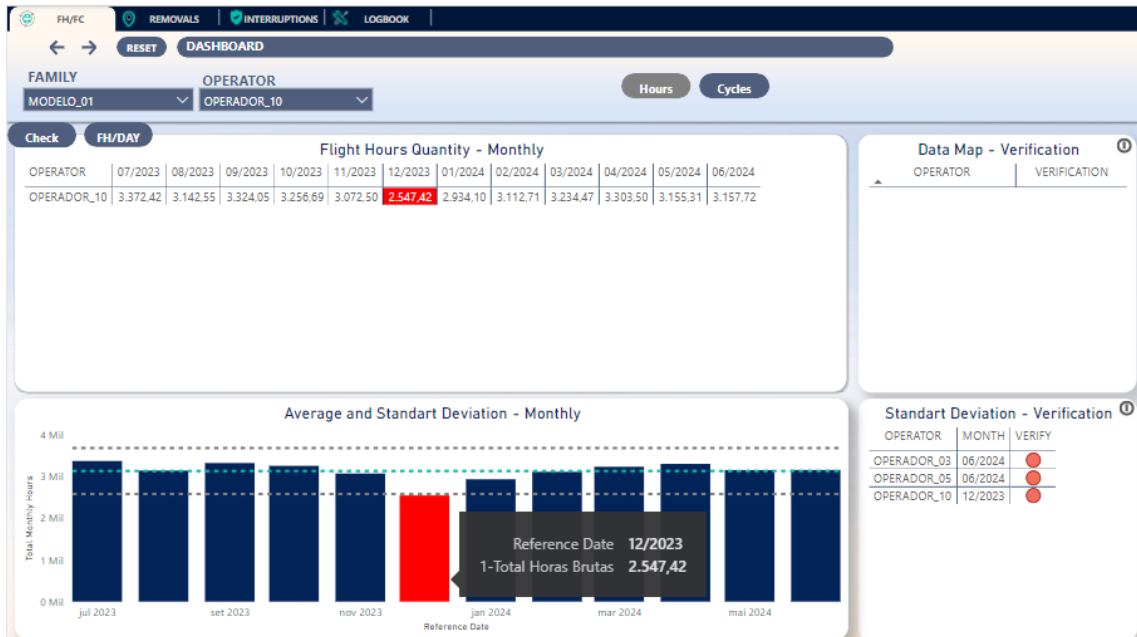
Na primeira visibilidade, é possível perceber que se tem os dados totais (de todas as aeronaves) de horas, separados por operador e por mês, que possuem o modelo número 01 de aeronave, conforme indica o filtro no canto superior do dashboard. Dessa forma, a média e o desvio padrão são calculados para cada um dos operadores levando em consideração os dados totais de horas em cada mês, e os limites inferior e superior são calculados com base na média decrescida de 2,5 vezes o desvio padrão, para o limite inferior, e na média acrescida de 2,5 vezes o desvio padrão, para o limite superior. É possível notar ainda, que a matriz consegue destacar, os valores que estão fora deste intervalo.

Em relação à verificação dos dados do Mapa de Dados, esta é uma visibilidade mais de controle interno, que verifica se há uma discrepância entre os dados existentes na tabela de Mapa de Dados e na tabela de Informações Operacionais. Esta discrepância é encontrada da seguinte forma: se, dentro do sistema, os dados foram importados, porém não estão marcados como importados no Mapa de Dados, então uma flag de verificação com o nome do operador aparecerá, necessitando a verificação do porquê da ocorrência desta situação e ainda, o contrário também se faz válido, quando se tem a marcação no Mapa de Dados (indicando que a importação foi realizada), porém sem a indicação de que, de fato, eles foram importados no sistema. Ainda, quando ocorre o surgimento de um caso a ser verificado, é possível passar o cursor em cima da informação e mais detalhes serão fornecidos.

Na terceira visibilidade, é possível verificar os dados totais de horas (soma de todas as aeronaves), a partir de um gráfico de barras, que também indica as linhas referente à média e aos níveis de alerta calculados. No caso desta visibilidade, as informações podem variar. Por definição padrão, o dashboard mantém selecionado apenas um tipo de modelo (neste caso, modelo 01) e nenhum operador, conforme indicam os filtros no canto superior esquerdo da Figura 4. Sendo assim, os dados que aparecem no gráfico são referentes a soma de todas as horas mensais de todas as aeronaves do modelo filtrado, sem distinção de operador e, os

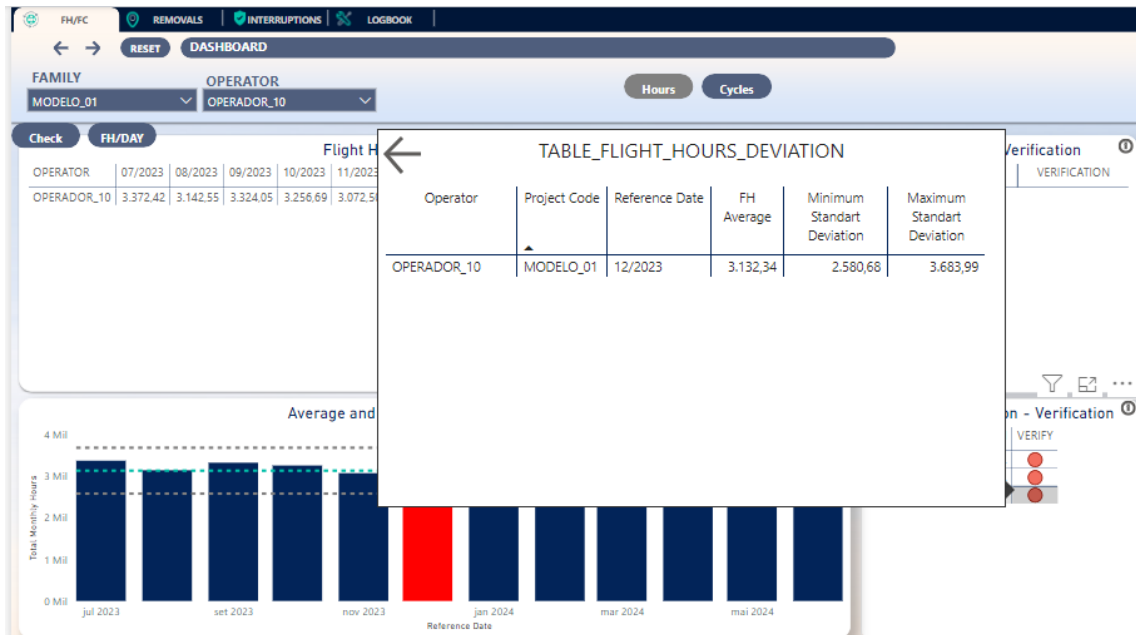
cálculos de média e desvio padrão, são referentes a esta informação. Porém, quando ocorre a filtragem de um operador em específico, todos os valores são readaptados e recalculados conforme os filtros especificados, como mostra a Figura 5.

Figura 5 - Dashboard com filtro de operador aplicado.



Já na visibilidade de verificação de dados fora dos níveis de alerta, a visibilidade está presente para ressaltar e listar os dados que, de fato, apresentam uma anormalidade e que devem ser verificados. Além disso, ao passar o cursor em cima de um dado específico, é possível ver as informações detalhadas, como nome do operador, modelo de aeronave, mês com anormalidade, valor da média para o operador, além dos limites máximo e mínimo, conforme mostra a figura 6.

Figura 6 - Informações detalhadas sobre a verificação do dado sinalizado.



Todas estas informações estão disponíveis e podem ser visualizadas a partir de um único dashboard que é o de horas. Além disso, tem-se a visibilidade de Horas por Dia (*FH/DAY*). Nela, ao clicar, apenas a matriz é alterada, com os valores de quantidade de horas voadas por dia, porém os dados que aparecem na matriz são apenas dos operadores que possuem aeronaves, em algum mês, com quantidade de horas voadas em um dia, maior que 10. Isso ocorre, pelo fato de que, durante o processamento, é possível que ocorra a importação da quantidade de dias de operação de maneira incorreta (ou até a quantidade de horas importada de forma incorreta), de tal forma que, por exemplo, não é possível que uma aeronave opere por mais de 24 horas em um único dia, então quando este caso ocorre, a célula correspondente da matriz é destacada, mostrando necessidade de verificação do dado, enquanto que para uma operação acima de 10 horas por dia, se faz necessário verificar os casos que estão mais suspeitos mas que não necessariamente estão incorretos. Com isso, é possível verificar quais as aeronaves podem possuir problemas de dados, conforme mostra a figura 7.

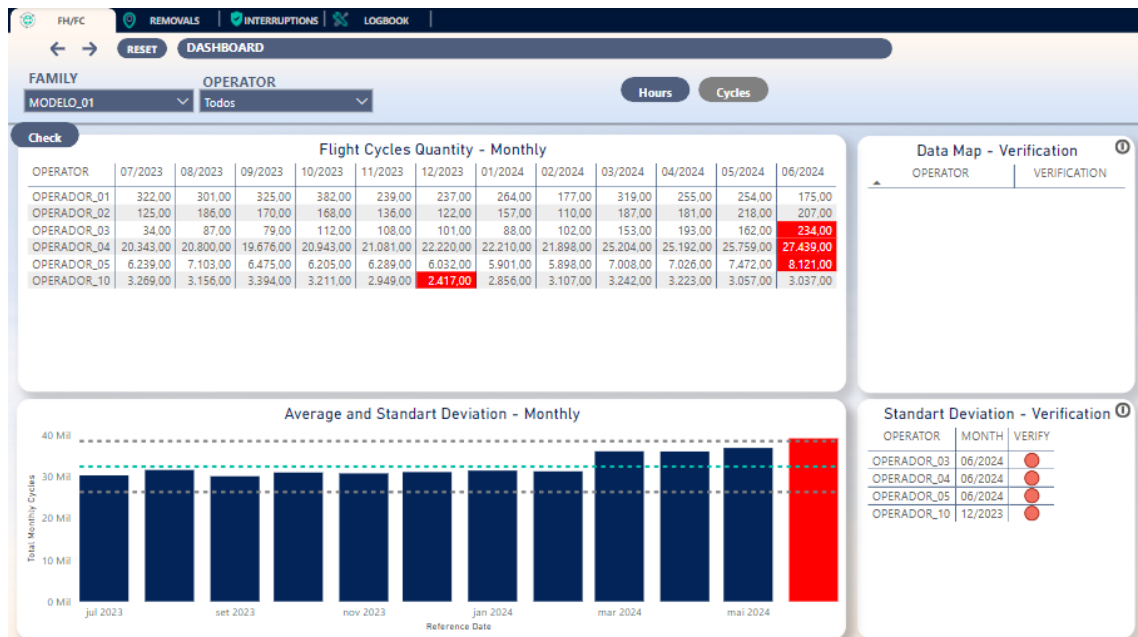
Figura 7- Dados de horas por dia.



Ainda, ao clicar na opção *Check* ele também só irá modificar a matriz, destacando os valores que possuem uma diferença de informação em relação ao parâmetro internamente estipulado. Essa diferença de informação é calculada tomando como referência o valor acumulado do mês anterior ao de referência, acrescido a quantidade de horas do mês de referência e subtraído do acumulado do mês de referência, de tal forma que o ideal é que o valor seja 0, porém se estiver fora de um intervalo determinado por um parâmetro interno, as aeronaves serão destacadas em vermelho. No caso deste projeto, como os dados foram manipulados, eles foram forçados a convergirem, de tal forma que não existe nenhuma divergência de informação nos dados coletados.

Por fim, tem-se o dashboard de Ciclos. Nele, as visibilidades são exatamente as mesmas dos presentes no dashboard de Horas de Voo, porém ao invés de serem utilizados os dados de horas, são utilizados os dados de ciclos de voo e ainda não se tem a parte de quantidade de horas voadas por dia. O funcionamento e funcionalidades também ocorrem da mesma forma neste dashboard.

Figura 8 - Dashboard principal de monitoramento dos dados de ciclos de voo.



3.2. DESENVOLVIMENTO DO DASHBOARD DE REMOÇÕES DE COMPONENTES (*REMOVALS*).

3.2.1. Arquivos Utilizados.

Para o desenvolvimento deste dashboard, foram extraídas informações do projeto original e que foram devidamente criptografadas e alteradas, a fim de manter o propósito original do desenvolvimento deste trabalho, porém sem que ocorresse a utilização dos dados oficiais e sigilosos da empresa do setor aeronáutico.

Dessa forma, temos 3 arquivos Excel que foram utilizados para o desenvolvimento do dashboard, sendo que desses, 2 também são utilizados para os outros campos de dados. Sendo assim:

- Tabela de Informações Operacionais: esta tabela foi criada com a intenção de verificar se os dados estão presentes dentro do sistema de importação utilizado pela empresa do setor. Desta forma, ela consegue indicar, em cada mês, para cada operador de cada modelo de aeronave, se o tipo de dado foi importado ou não;
- Tabela de Mapa de Dados: esta é um controle interno realizado pela área de Engenharia de Confiabilidade da empresa e que contém as mesmas informações da tabela de

informações operacionais, porém o controle não é feito pelo sistema, e sim, pelo próprio time ao longo do mês, durante a confecção dos processos rotineiros;

- Tabela de Remoções de Componentes: esta é uma tabela que contém as informações de todas as remoções de componentes serializados que ocorreram em cada aeronave e em cada mês, de cada operador, além da classificação da remoção.

3.2.2. Lógica de cálculo de monitoramento de dados.

Para o monitoramento dos dados de Remoção de Componentes, o cálculo realizado foi feito em relação a quantidade de remoções reportadas totais de cada operador.

A partir disso, calcula-se a média dos resultados obtidos e o desvio padrão, para que então se estipulem os níveis de alerta com base na quantidade de intervalos de desvio padrão utilizada.

Sabe-se que, conforme os cálculos apresentados no Livro de Probabilidade e Estatística da UFRGS (2020), 2 desvios padrão representam aproximadamente 95% de abrangência e 3 desvios 99,7%. Porém, o valor utilizado para confecção dos níveis de alerta, foi determinado, neste caso, de forma empírica e está entre os valores especificados pela literatura.

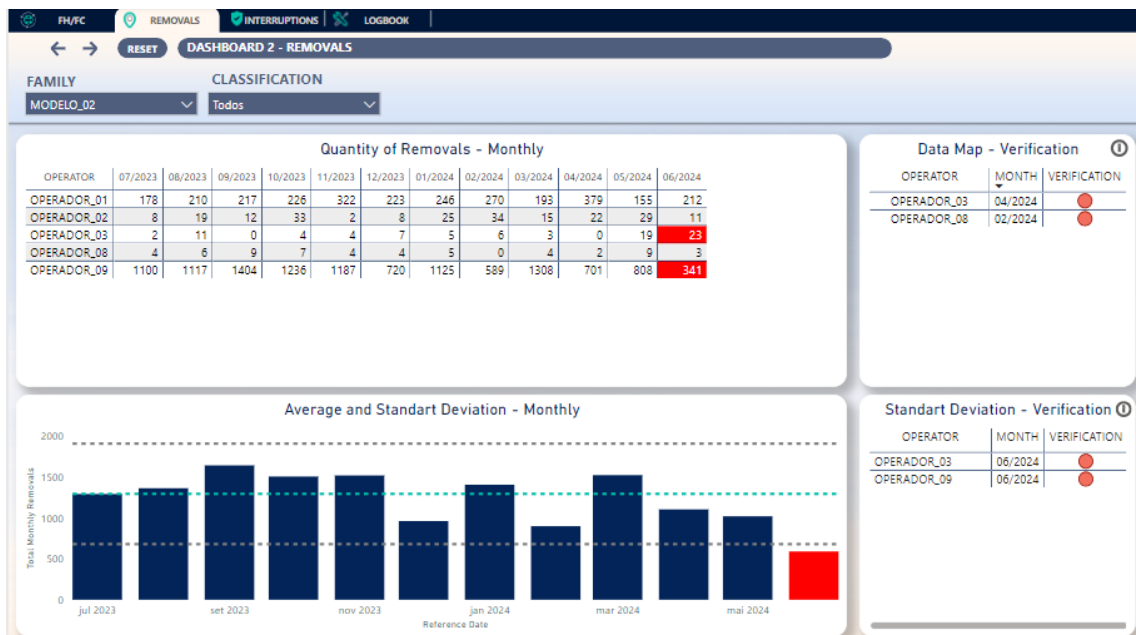
Isso se deve, pelo fato de que, os dados são muito sensíveis e têm suas variações mensais, de tal forma que, ao testar 2 desvios padrão, o dashboard apresentava diversos casos que, muitas vezes, estavam de fato corretos e, ficar verificando todos os dados em uma grande quantidade, faria com que muito tempo, no dia a dia, tivesse que ser destinado para a confirmação destes dados. Por outro lado, 3 desvios padrão abrangiam uma quantidade muito grande de informação, de tal forma a não apresentar quase nenhum alerta em relação aos dados que pudessem ter algum tipo de problema, por estarem fora dos padrões normais.

Com isso, depois da realização de testes e análises de dados de vários operadores, o parâmetro foi ajustado para um valor de 2,5 desvios padrão, com aproximadamente 99% de abrangência, resultando em alguns dados que, de fato estão fora do padrão e que podem estar corretos ou não. Assim, com isso, atinge-se o propósito de destacar dados que necessitam de serem reavaliados.

3.2.3. Explicitação e explicação do funcionamento do dashboard.

Após as explicações anteriores e o desenvolvimento do dashboard, esta foi a ferramenta desenvolvida para monitoramento dos dados:

Figura 9 - Dashboard de remoções de componentes.



Como apresentado na figura 9, o monitoramento da quantidade de remoções é realizado de maneira extremamente similar ao que se tem no dashboard de Horas e Ciclos de Voo. Neste caso, tem-se as seguintes visibilidades:

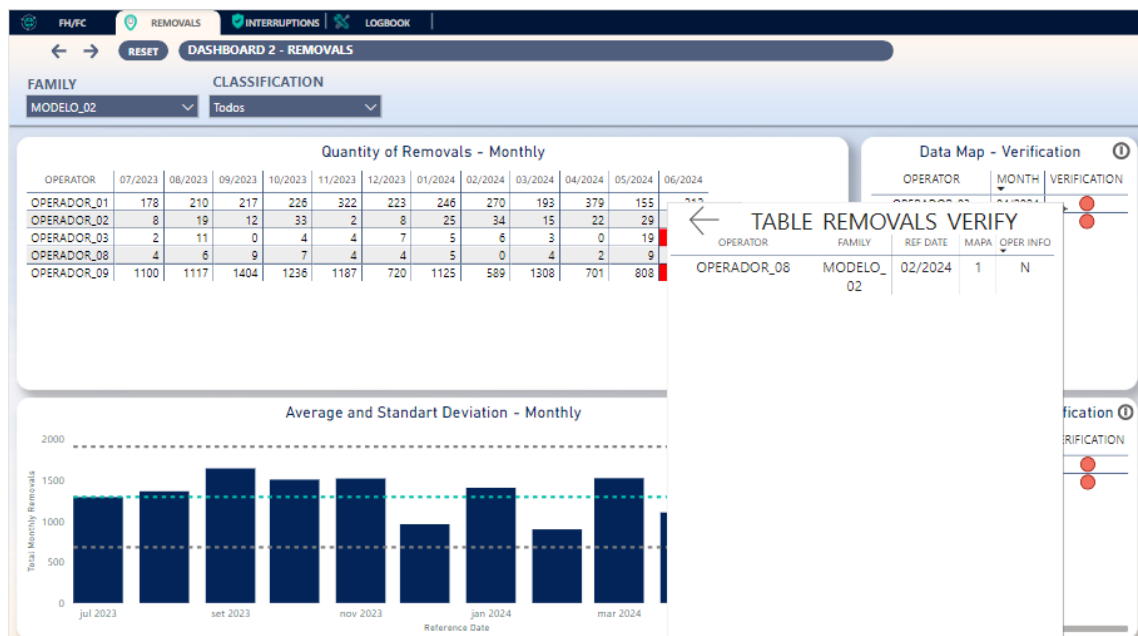
- Matriz com a quantidade de remoções mensais por operador;
- Verificação da importação dos dados de remoção;
- Gráfico com a quantidade de remoções com a indicação da média e dos níveis de alerta;
- Dados que estão fora dos padrões.

Na primeira visibilidade, é possível perceber que se tem as quantidades totais (de todas as aeronaves) de remoções de componentes, separados por operador e por mês, que possuem o modelo número 02 de aeronave, conforme indica o filtro no canto superior do dashboard. Dessa forma, a média e o desvio padrão são calculados para cada um dos operadores levando em consideração as quantidades totais de remoções reportadas em cada mês, e os limites inferior e

superior são calculados com base na média decrescida de 2,5 vezes o desvio padrão, para o limite inferior, e na média acrescida de 2,5 vezes o desvio padrão, para o limite superior. É possível notar ainda, que a matriz consegue destacar, os valores que estão fora deste intervalo.

Em relação à verificação dos dados do Mapa de Dados, esta é uma visibilidade mais de controle interno, que verifica se há uma discrepância entre os dados existentes na tabela de Mapa de Dados e na tabela de Informações Operacionais. Esta discrepância é encontrada da seguinte forma: se, dentro do sistema, os dados foram importados, porém não estão marcados como importados no Mapa de Dados, então uma flag de verificação com o nome do operador aparecerá, necessitando a verificação do porquê da ocorrência desta situação e ainda, o contrário também se faz válido, quando se tem a marcação no Mapa de Dados (indicando que a importação foi realizada), porém sem a indicação de que, de fato, eles foram importados no sistema. Ainda, quando ocorre o surgimento de um caso a ser verificado, é possível passar o cursor em cima da informação e mais detalhes serão fornecidos, conforme a figura 10.

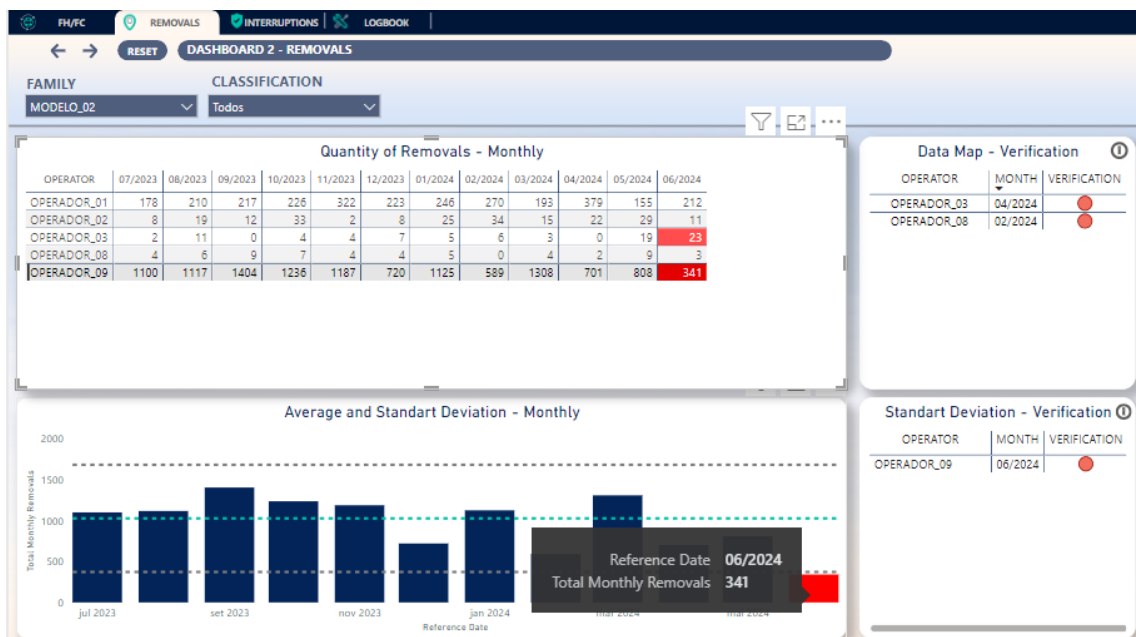
Figura 10 - Representação do detalhamento da visibilidade de verificação de importação.



Na terceira visibilidade, é possível verificar as quantidades totais de remoções reportadas (somatória de todas as aeronaves), a partir de um gráfico de barras, que também indica as linhas referente à média e aos níveis de alerta calculados. No caso desta visibilidade, as informações podem variar. Por definição padrão, o dashboard mantém selecionado apenas

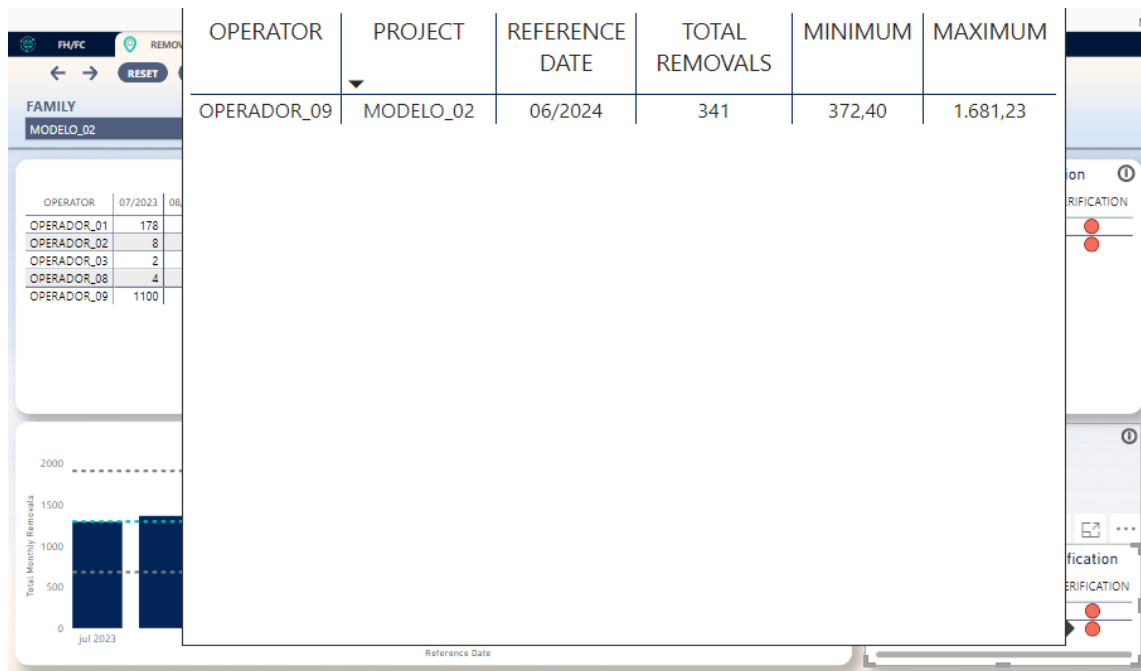
um tipo de modelo (neste caso, modelo 02) e nenhum operador. Sendo assim, os dados que aparecem no gráfico são referentes a somatória de todas as remoções mensais de todas as aeronaves do modelo filtrado, sem distinção de operador e, os cálculos de média e desvio padrão, são referentes a esta informação. Porém, quando ocorre a filtragem de um operador em específico (neste caso a filtragem ocorre clicando no operador na matriz), todos os valores são readaptados e recalculados conforme os filtros especificados, como mostra a figura 11.

Figura 11 - Dashboard de remoções filtrando um operador pela matriz.



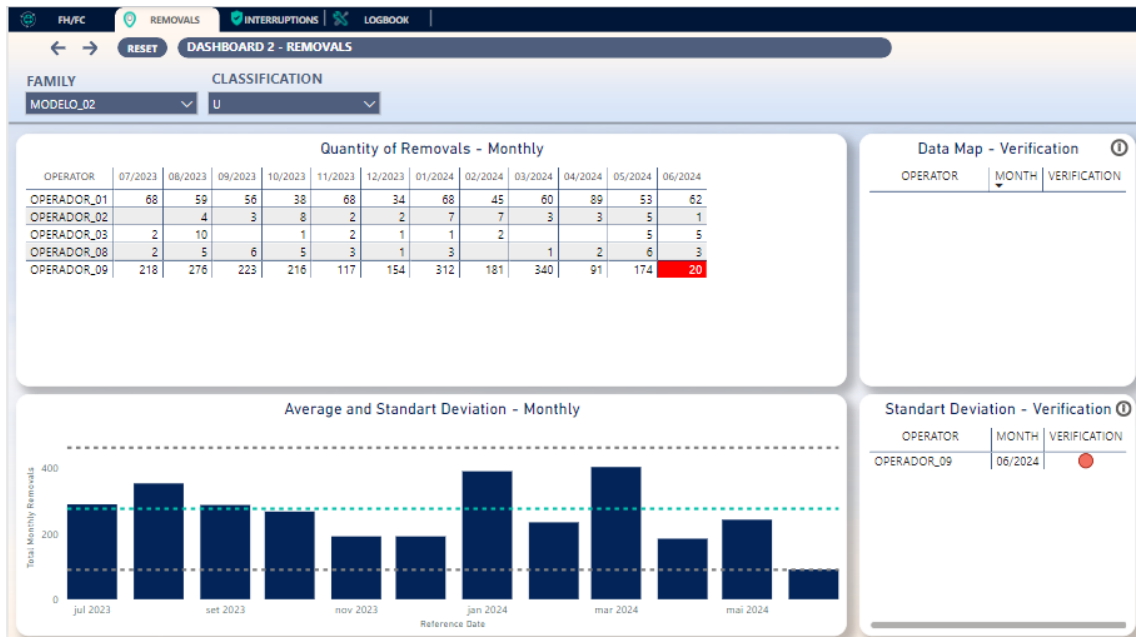
Já na visibilidade de verificação de dados fora dos níveis de alerta, a visibilidade está presente para ressaltar e listar os dados que, de fato, apresentam uma anormalidade e que devem ser verificados. Além disso, ao passar o cursor em cima de um dado específico, é possível ver as informações detalhadas, como nome do operador, modelo de aeronave, mês com anormalidade, valor da média para o operador, além dos limites máximo e mínimo, conforme mostra a figura 12.

Figura 12 - Visibilidade de dados foras do padrão com detalhamento.



Além disso, sabe-se conforme foi explicado previamente na seção de referências, que as remoções possuem tipos de classificações, podendo ser elas classificadas em remoções não programadas (*unschedule*), programadas (*schedule*), remoções que foram feitas para que o componente para colocar em outra aeronave (*robbery*) ou remoções que não tiveram um motivo claro (*others*). Dessa forma, o dashboard consegue filtrar as informações conforme as classificações e ainda calcular os valores de média, e níveis de alerta, conforme a classificação filtrada pelo filtro *Classification* no canto superior esquerdo, conforme mostra a figura 13.

Figura 13 - Dashboard filtrado pelas remoções não programadas (Unschedule).



3.3. DESENVOLVIMENTO DO DASHBOARD DE REGISTRO DE AERONAVES (LOGBKOOK RECORDS).

3.3.1. Arquivos Utilizados.

Para o desenvolvimento deste dashboard, foram extraídas informações do projeto original e que foram devidamente criptografadas e alteradas, a fim de manter o propósito original do desenvolvimento deste trabalho, porém sem que ocorresse a utilização dos dados oficiais e sigilosos da empresa do setor aeronáutico.

Dessa forma, temos 3 arquivos Excel que foram utilizados para o desenvolvimento do dashboard, sendo que desses, 2 também são utilizados para os outros campos de dados. Sendo assim:

- Tabela de Informações Operacionais: esta tabela foi criada com a intenção de verificar se os dados estão presentes dentro do sistema de importação utilizado pela empresa do setor. Desta forma, ela consegue indicar, em cada mês, para cada operador de cada modelo de aeronave, se o tipo de dado foi importado ou não;
- Tabela de Mapa de Dados: esta é um controle interno realizado pela área de Engenharia de Confiabilidade da empresa e que contém as mesmas informações da tabela de

informações operacionais, porém o controle não é feito pelo sistema, e sim, pelo próprio time ao longo do mês, durante a confecção dos processos rotineiros;

- Tabela de Logbook Records: esta é uma tabela que contém as informações de todos os registros de aeronave que ocorreram em cada aeronave e em cada mês, de cada operador, além do tipo de problema e das ATAs referente aos problemas.

3.3.2. Lógica de cálculo de monitoramento de dados.

Para o monitoramento dos dados de *Logbook*, o cálculo realizado foi feito em relação a quantidade de *logbooks* reportados totais de cada operador.

A partir disso, calcula-se a média dos resultados obtidos e o desvio padrão, para que então se estipulem os níveis de alerta com base na quantidade de intervalos de desvio padrão utilizada.

Sabe-se que, conforme a literatura especificada conforme os cálculos apresentados no Livro de Probabilidade e Estatística da UFRGS (2020), 2 desvios padrão representam aproximadamente 95% de abrangência e 3 desvios 99,7%. Porém, o valor utilizado para confecção dos níveis de alerta, foi determinado, neste caso, de forma empírica e está entre os valores especificados pela literatura.

Isso se deve, pelo fato de que, os dados são muito sensíveis e têm suas variações mensais, de tal forma que, ao testar 2 desvios padrão, o dashboard apresentava diversos casos que, muitas vezes, estavam de fato corretos e, ficar verificando todos os dados em uma grande quantidade, faria com que muito tempo, no dia a dia, tivesse que ser destinado para a confirmação destes dados. Por outro lado, 3 desvios padrão abrangiam uma quantidade muito grande de informação, de tal forma a não apresentar quase nenhum alerta em relação aos dados que pudessem ter algum tipo de problema, por estarem fora dos padrões normais.

Com isso, depois da realização de testes e análises de dados de vários operadores, o parâmetro foi ajustado para um valor de 2,5 desvios padrão, com aproximadamente 99% de abrangência, resultando em alguns dados que, de fato estão fora do padrão e que podem estar corretos ou não. Assim, com isso, atinge-se o propósito de destacar dados que necessitam de serem reavaliados.

3.3.3. Explicitação e explicação do funcionamento do dashboard.

Após as explicações anteriores e o desenvolvimento do dashboard, esta foi a ferramenta desenvolvida para monitoramento dos dados:

Figura 14 - Dashboard padrão de monitoramento dos dados brutos de logbook.

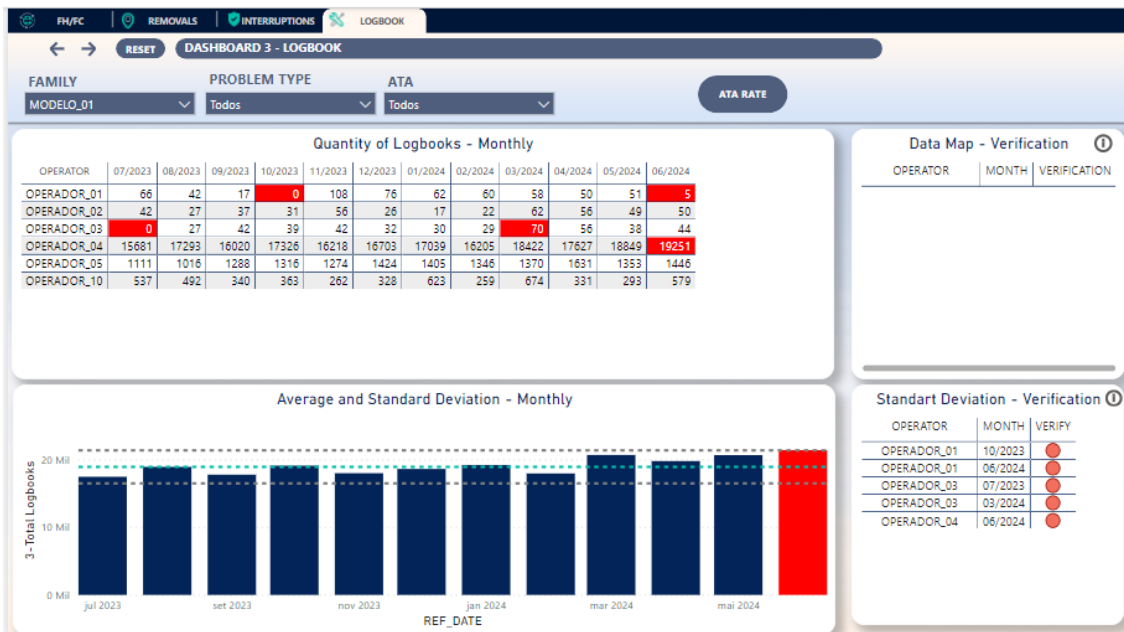
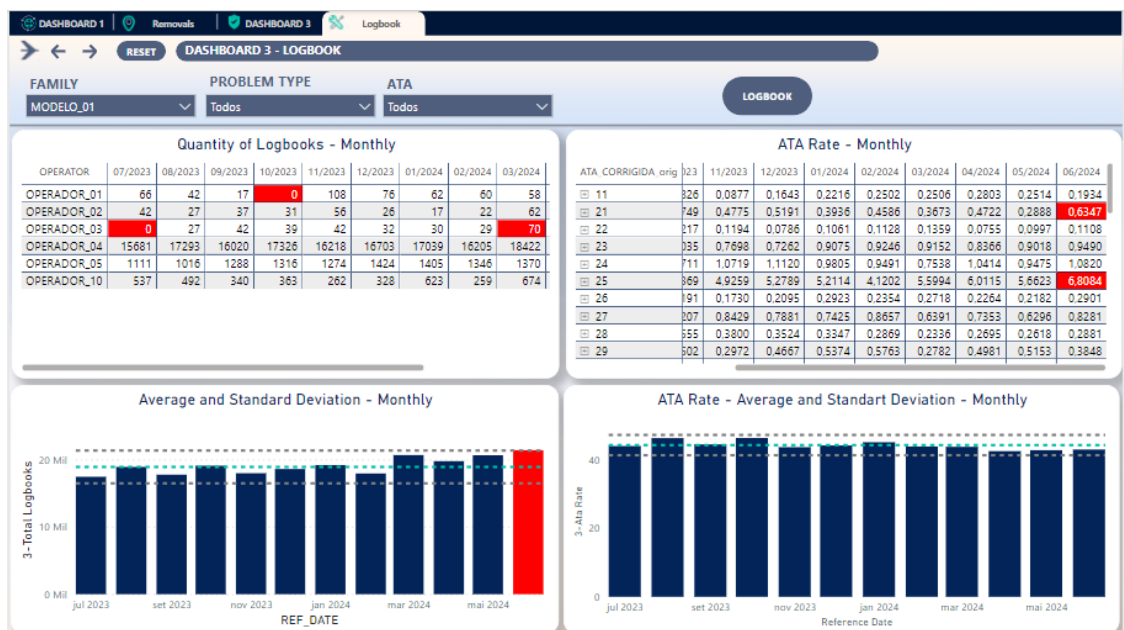


Figura 15 - Dashboard de monitoramento de dados brutos de logbooks e de ATA rates.



Como indicado nas figuras anteriores, o dashboard de *logbook* pode ser visualizado por duas perspectivas distintas, na qual cada uma possui suas próprias visibilidades:

- Perspectiva dos dados brutos:
 - Matriz com quantidade de *logbooks* por operador em cada mês;
 - Verificação da importação dos dados;
 - Quantidade de *logbooks* por mês com a representação da média e dos níveis de alerta;
 - Visibilidade dos dados fora do padrão.
- Perspectiva da ATA Rate:
 - Matriz com quantidade de *logbooks* por operador em cada mês;
 - Matriz com a ATA Rate por ATA em cada mês;
 - Quantidade de *logbooks* por mês com a representação da média e dos níveis de alerta;
 - Cálculos de ATA Rate por mês com a representação da média e dos níveis de alerta dos Rates.

Em relação aos dados brutos, o dashboard funciona exatamente da mesma forma que o dashboard de remoções citado anteriormente, porém ele possui, ao invés do filtro de classificação, os filtros de tipo de problema, podendo ser *PIREP (Pilot Reports)* ou *MAREP (Maintenance Reports)*; e de ATA. Dessa forma, ao selecionar e realizar os filtros, todos os cálculos e validações são realizados de acordo com os filtros aplicados conforme mostram as figuras a seguir.

Figura 16 - Dashboard de logbook com dados filtrados pelo modelo e tipo do problema.

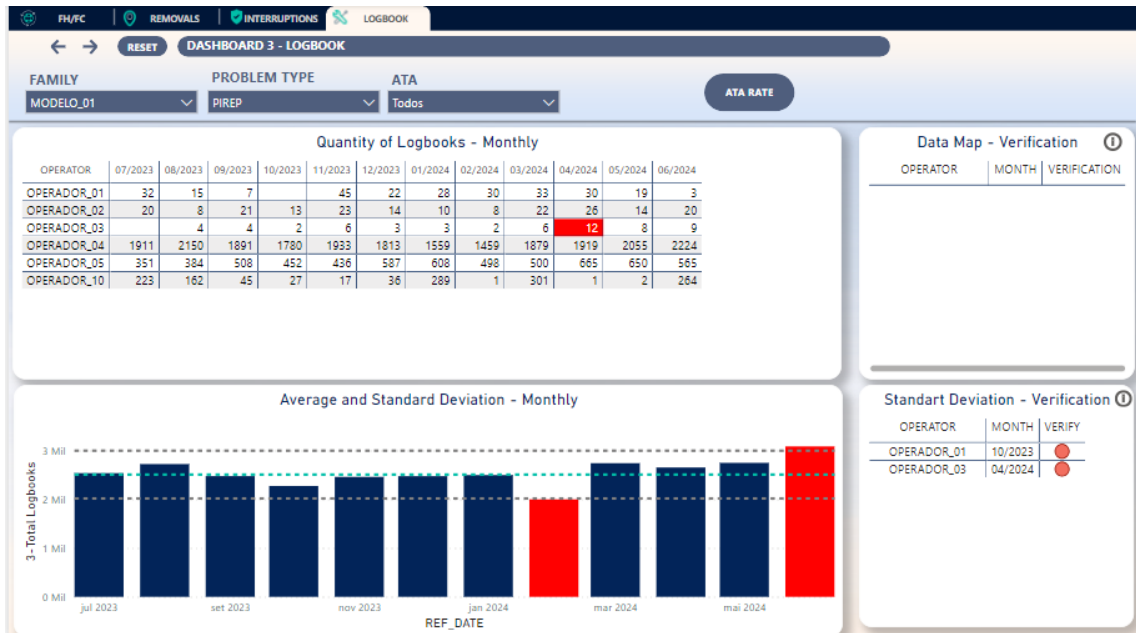


Figura 17 - Dashboard de logbook com dados filtrados pelo modelo e ATA.

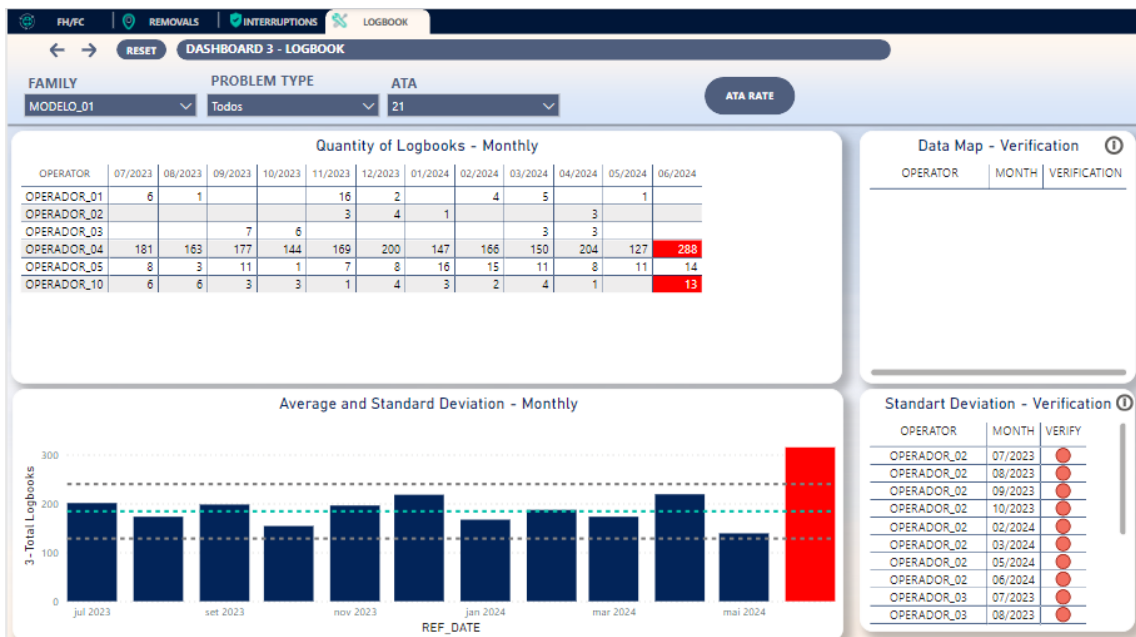
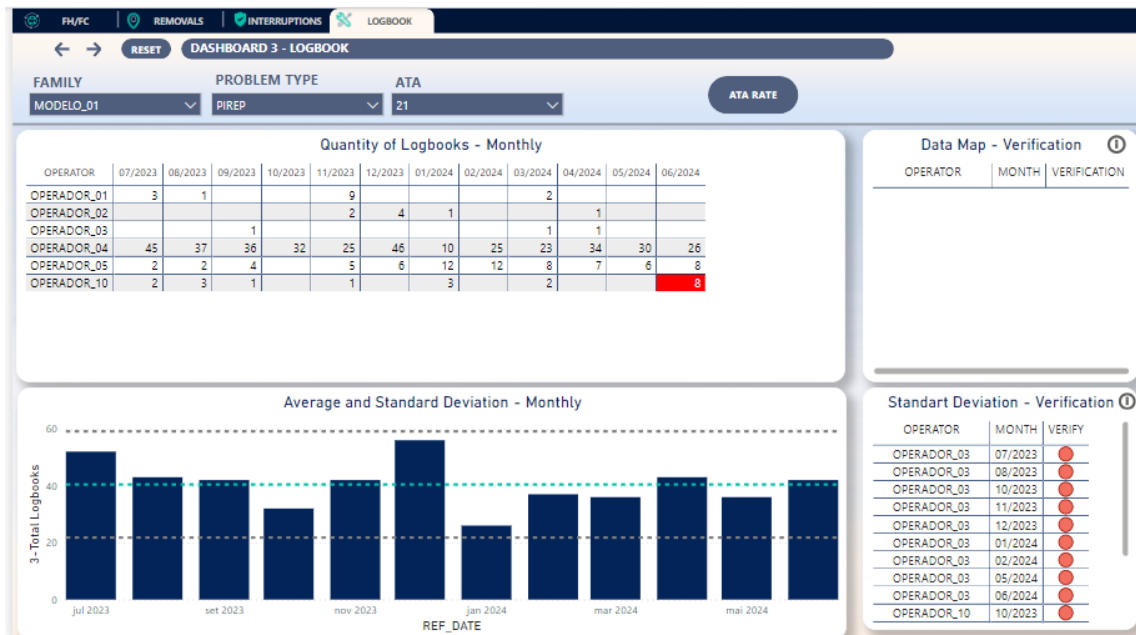


Figura 18 - Dashboard de logbook com dados filtrados pelo modelo, tipo de problema e ATA.

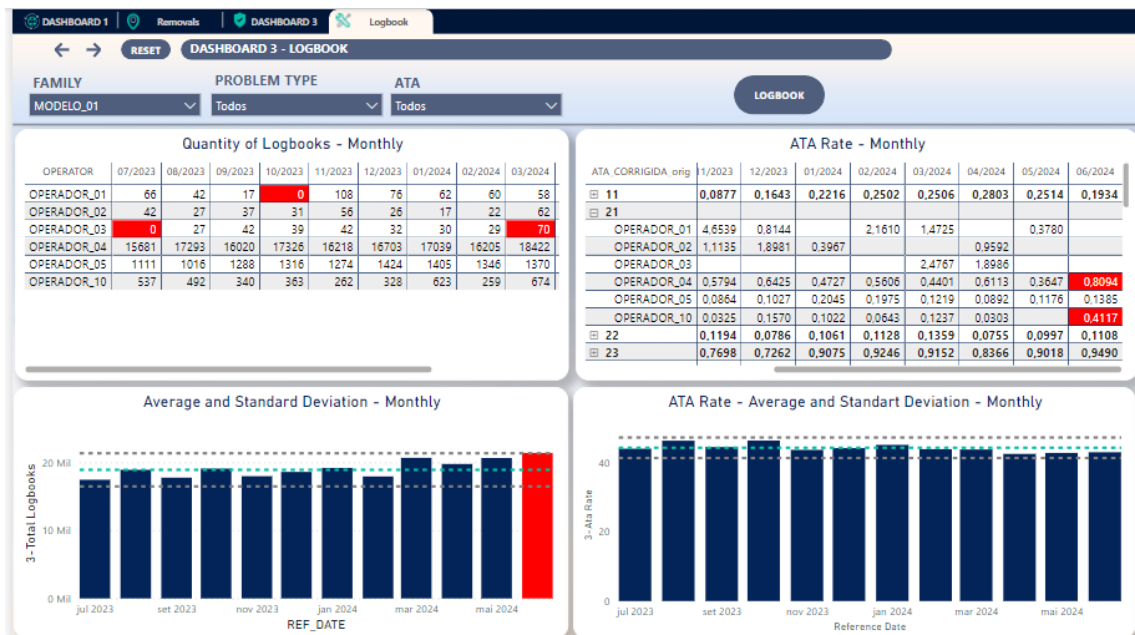


Em relação à segunda perspectiva, os gráficos da esquerda (matriz com dados brutos e gráfico com dados brutos) são exatamente os mesmos existentes na primeira perspectiva, uma vez que é relevante fazer uma comparação dos dados brutos com as ATA's rates calculadas.

Para realização do cálculo dos rates é necessário dividir a quantidade de *logbooks* pela quantidade horas no mês. Este, é o mesmo cálculo que foi descrito na seção de referência para *PIREP Rate* e *MAREP Rate*, porém, sem considerar os tipos de problema.

Na visibilidade da matriz de ATA Rate, é possível verificar os rates referentes a cada uma das ATAs existentes em cada mês e, neste caso, considera-se nos cálculos os *logbooks* dividido pela quantidade de horas voadas de toda a frota em um determinado mês, resultando em um determinado rate. Porém, se expandir qualquer uma das ATAs, será possível visualizar qual foi o valor do rate referente àquela ATA, de cada um dos operadores, em cada mês e, neste caso, o rate é calculado a partir da quantidade de horas voadas pelo operador no determinado mês. Sendo assim, os cálculos de média e níveis de alerta foram feitos respeitando estes contextos de filtragem.

Figura 19 - Perspectiva de ATA Rate com visibilidade do operador na ATA 21.



No gráfico de barras, a lógica que ocorre é a mesma dos dados brutos, porém neste caso, a configuração padrão não faz nenhuma filtragem ou segmentação por ATA, de tal forma que os dados calculados são a quantidade de *logbooks* dividido pela quantidade de horas da frota, em cada mês, resultado nos rates mensais representados pelas barras. Ainda é possível verificar a presença da média e dos níveis de alerta no gráfico.

Porém, como esta é uma ferramenta interativa, é possível realizar diversos tipos de filtragem e diferentes combinações para poder obter melhores e diferentes visibilidades. A exemplo disso, pode-se realizar a filtragem do tipo de problema e das ATAs (podendo escolher uma ou mais opções) e ainda filtrar um operador em específico pela matriz de dados brutos do lado esquerdo.

Em relação a estes comportamentos, é importante ressaltar que, quando são selecionadas um conjunto de ATAs, o gráfico de barras faz o cálculo dos rates e marcações, combinando as seleções realizadas e ainda, quando um determinado operador é selecionado, a matriz passa a apresentar os valores de rate apenas do operador selecionado e o gráfico de barras também apenas do operador e ATAs selecionadas. Dessa forma, é possível realizar diversas extrações de informações combinando as diferentes maneiras de interação permitidas dentro da ferramenta.

Figura 20 - Perspectiva de ATA Rate filtrada por modelo, tipo de problema e ATAs 21, 23 e 25.

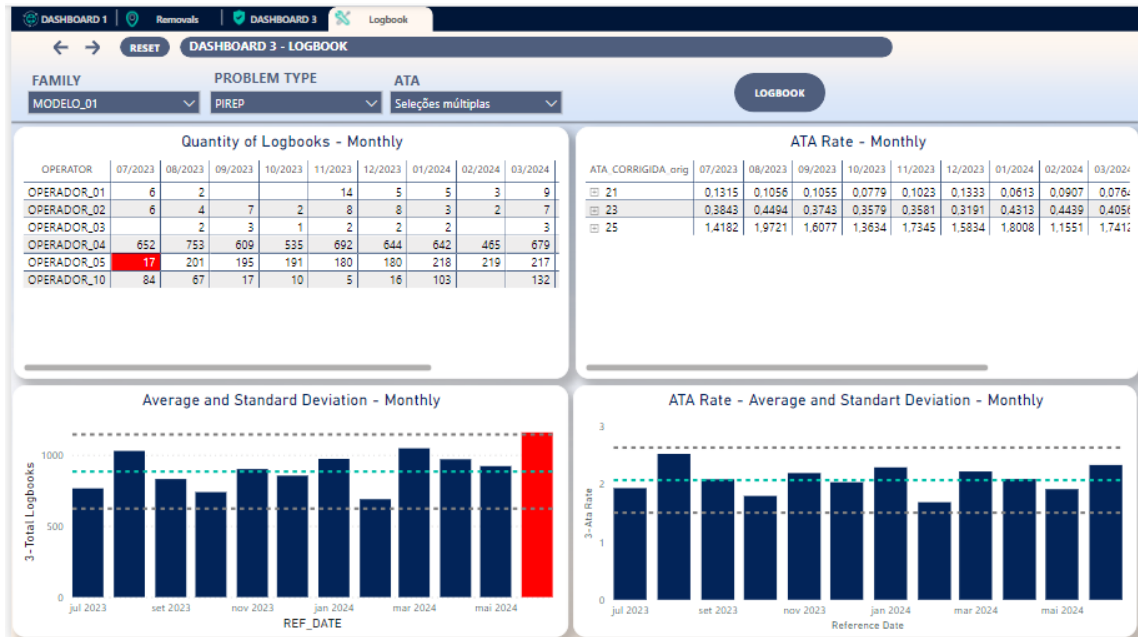
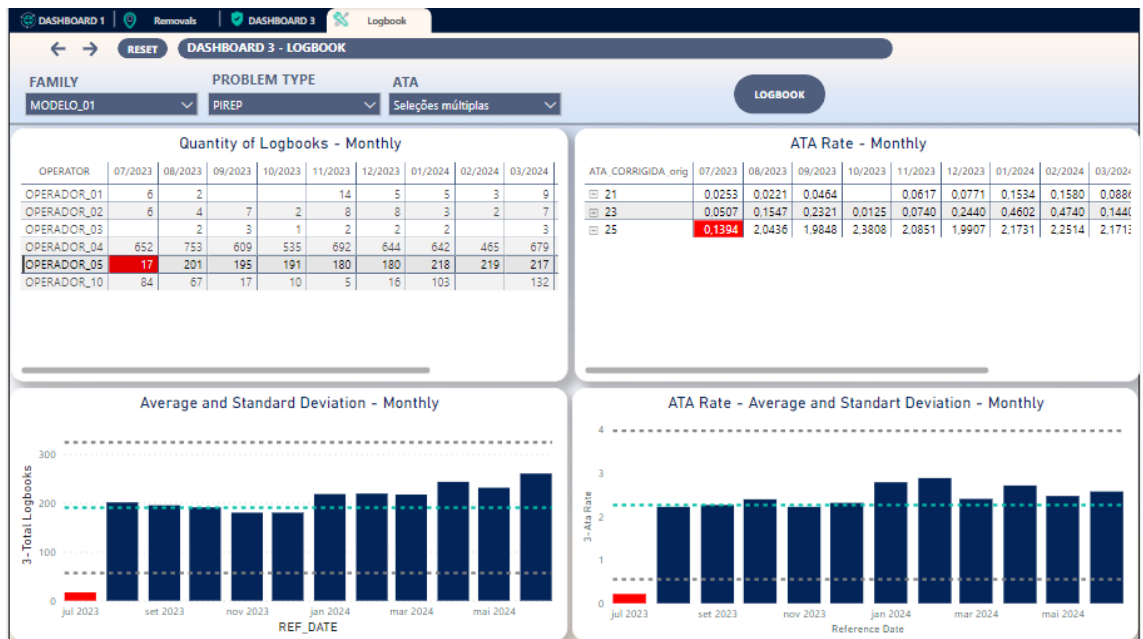


Figura 21 - Perspectiva de ATA Rate filtrada por modelo, operador, tipo de problema e ATAS 21, 23 e 25.



3.4. DESENVOLVIMENTO DO DASHBOARD DE INTERRUPÇÕES (INTERRUPTIONS).

3.4.1. Arquivos Utilizados.

Para o desenvolvimento deste dashboard, foram extraídas informações do projeto original e que foram devidamente criptografadas e alteradas, a fim de manter o propósito original do desenvolvimento deste trabalho, porém sem que ocorresse a utilização dos dados oficiais e sigilosos da empresa do setor aeronáutico.

Dessa forma, temos 3 arquivos Excel que foram utilizados para o desenvolvimento do dashboard, sendo que desses, 2 também são utilizados para os outros campos de dados. Sendo assim:

- Tabela de Informações Operacionais: esta tabela foi criada com a intenção de verificar se os dados estão presentes dentro do sistema de importação utilizado pela empresa do setor. Desta forma, ela consegue indicar, em cada mês, para cada operador de cada modelo de aeronave, se o tipo de dado foi importado ou não;
- Tabela de Mapa de Dados: esta é um controle interno realizado pela área de Engenharia de Confiabilidade da empresa e que contém as mesmas informações da tabela de informações operacionais, porém o controle não é feito pelo sistema, e sim, pelo próprio time ao longo do mês, durante a confecção dos processos rotineiros;
- Tabela de *Interrupções*: esta é uma tabela que contém as informações de todas as interrupções de aeronave que ocorreram em cada aeronave e em cada mês, de cada operador, além da classificação da interrupção e da ATA.
- Tabela de Voos Programados: esta tabela é uma tabela que contém a quantidade de voos programados por um operador, em um determinado mês, para um determinado modelo de aeronave.

3.4.2. Lógica de cálculo de monitoramento de dados.

Para o monitoramento dos dados de interrupção, o cálculo realizado foi feito em relação a quantidade de interrupções reportadas totais de cada operador.

A partir disso, calcula-se a média dos resultados obtidos e o desvio padrão, para que então se estipulem os níveis de alerta com base na quantidade de intervalos de desvio padrão utilizada.

Sabe-se que, conforme demonstrado no Livro de Probabilidade e Estatística da UFRGS (2020), 2 desvios padrão representam aproximadamente 95% de abrangência e 3 desvios 99,7%. Porém, o valor utilizado para confecção dos níveis de alerta, foi determinado, neste caso, de forma empírica e está entre os valores especificados pela literatura.

Isso se deve, pelo fato de que, os dados são muito sensíveis e têm suas variações mensais, de tal forma que, ao testar 2 desvios padrão, o dashboard apresentava diversos casos que, muitas vezes, estavam de fato corretos e, ficar verificando todos os dados em uma grande quantidade, faria com que muito tempo, no dia a dia, tivesse que ser destinado para a confirmação destes dados. Por outro lado, 3 desvios padrão abrangiam uma quantidade muito grande de informação, de tal forma a não apresentar quase nenhum alerta em relação aos dados que pudessem ter algum tipo de problema, por estarem fora dos padrões normais.

Com isso, depois da realização de testes e análises de dados de vários operadores, o parâmetro foi ajustado para um valor de 2,5 desvios padrão, com aproximadamente 99% de abrangência, resultando em alguns dados que, de fato estão fora do padrão e que podem estar corretos ou não. Assim, com isso, atinge-se o propósito de destacar dados que necessitam de serem reavaliados.

3.4.3. Explicitação e explicação do funcionamento do dashboard.

Após as explicações anteriores e o desenvolvimento do dashboard, esta foi a ferramenta desenvolvida para monitoramento dos dados:

Figura 22 - Dashboard de interrupções.

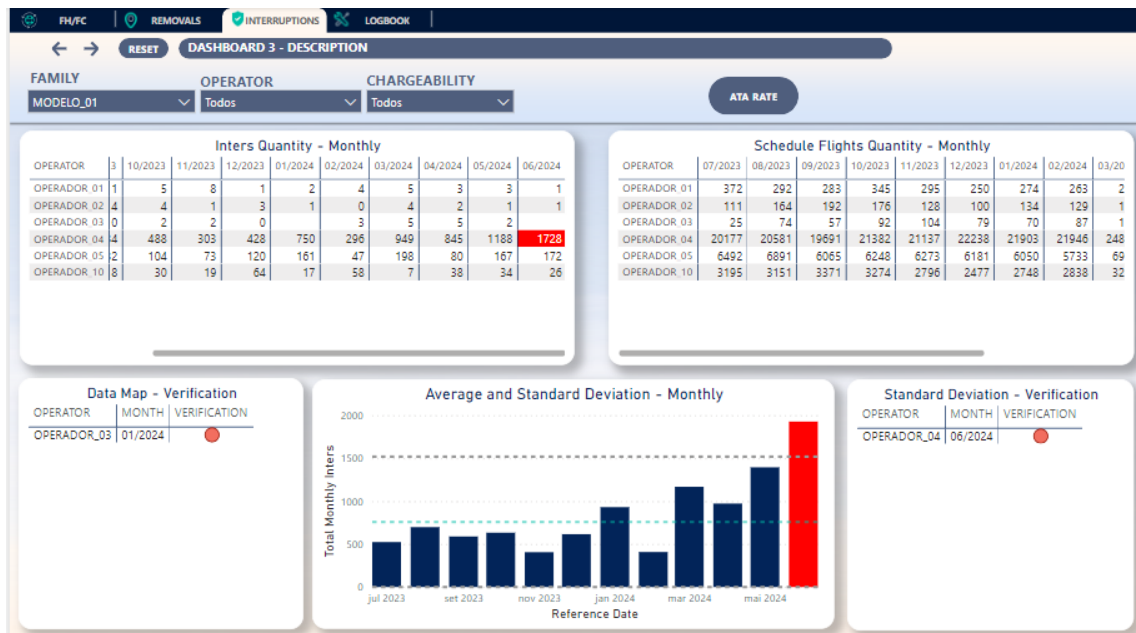
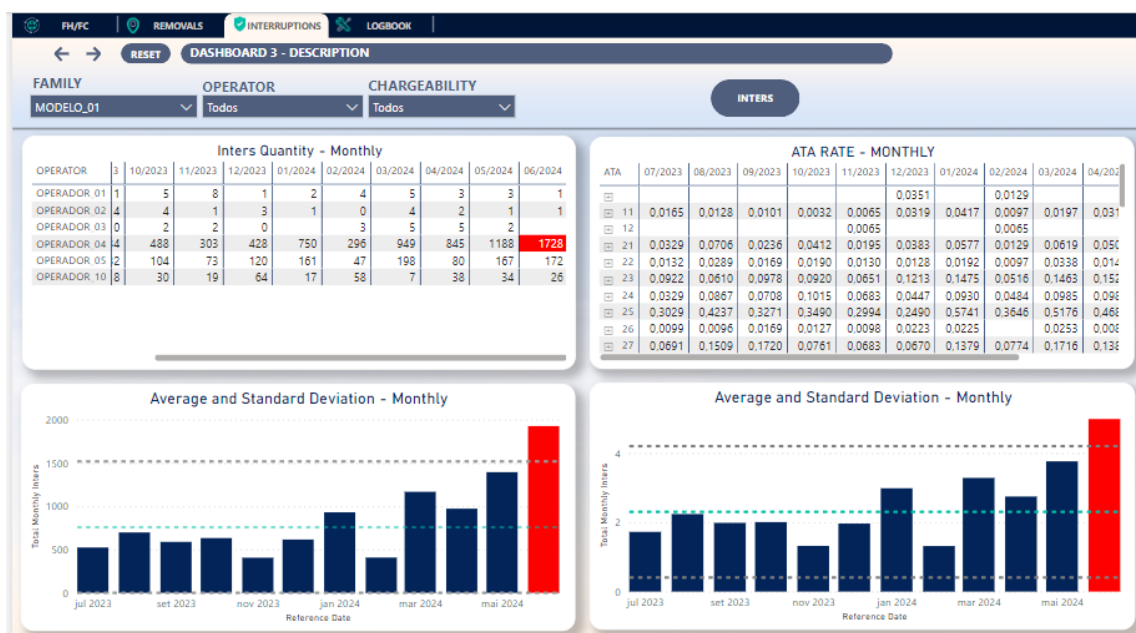


Figura 23 - Dashboard de interrupções e Inter Rate.



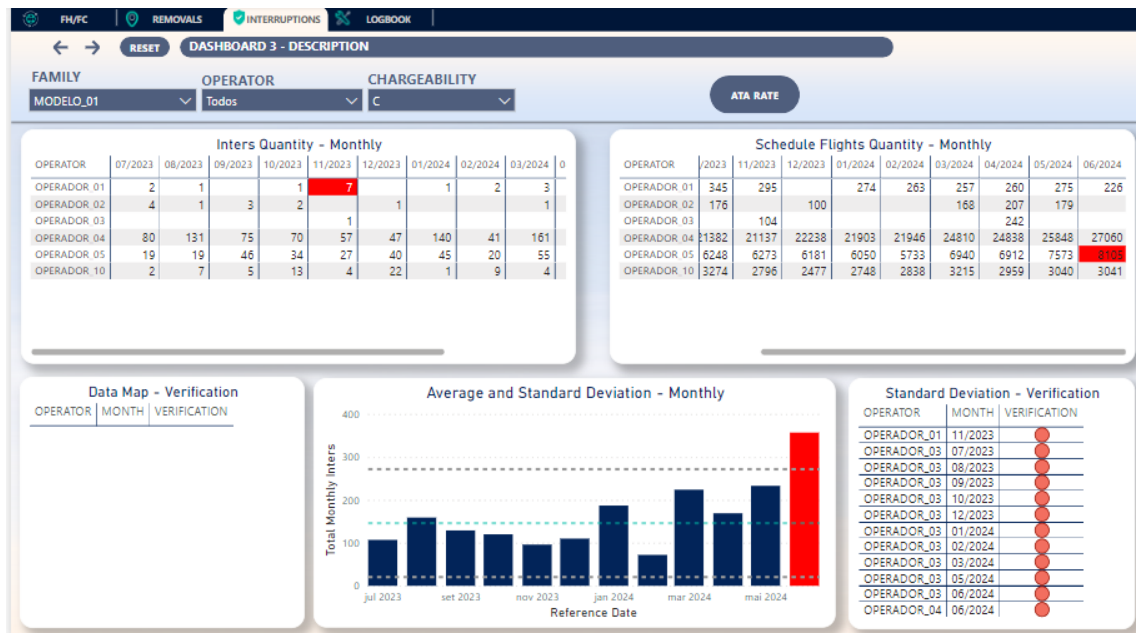
Como indicado nas figuras anteriores, o dashboard de interrupções pode ser visualizado por duas perspectivas distintas, na qual cada uma possui suas próprias visibilidades:

- Perspectiva dos dados brutos:
 - Matriz com quantidade de interrupções por operador em cada mês;

- Matriz com a quantidade de voos programados por operador em cada mês;
- Verificação da importação dos dados;
- Quantidade de interrupções por mês com a representação da média e dos níveis de alerta;
- Visibilidade dos dados fora do padrão para as interrupções.
- Perspectiva de Inter Rate:
 - Matriz com quantidade de interrupções por operador em cada mês;
 - Matriz com o Inter Rate por ATA em cada mês;
 - Quantidade de interrupções por mês com a representação da média e dos níveis de alerta;
 - Cálculos de Inter Rate por mês com a representação da média e dos níveis de alerta dos Rates.

Em relação à primeira perspectiva, o funcionamento é exatamente o mesmo dos dashboards anteriores, as diferenças estão na visibilidade de voos programados e nos filtros disponíveis. Em relação à visibilidade de quantidade de voos programados, a funcionalidade é a mesma da matriz de quantidade de interrupções, porém os dados utilizados são os dados informados de voos programados para os meses especificados para cada operador. Enquanto isso, em relação aos filtros, tem-se os operadores e ainda o filtro denominado de *chargeability*, que representam as interrupções classificadas em técnicas (*Chargeable – C*) ou não técnicas (*Non Chargeable – N*).

Figura 24 - Dashboard filtrado pelo tipo de interrupção.



Em relação à segunda perspectiva de Inter Rate, o funcionamento das filtragens e das interações com o dashboard são também exatamente iguais ao dashboard de ATA Rate, porém neste caso, os cálculos dos rates são feitos levando em consideração a quantidade de interrupções dividida pela somatória de horas de voo. Além disso, a diferença é que neste caso, existe apenas a filtragem de *chargeability* a ser realizada no dashboard pela opção de filtro. No caso da necessidade de filtragem de mais de uma ATA, é possível fazê-la pela matriz de Rate.

Figura 25 - Perspectiva de Inter Rate com modelo filtrado e ATA 21 expandida.

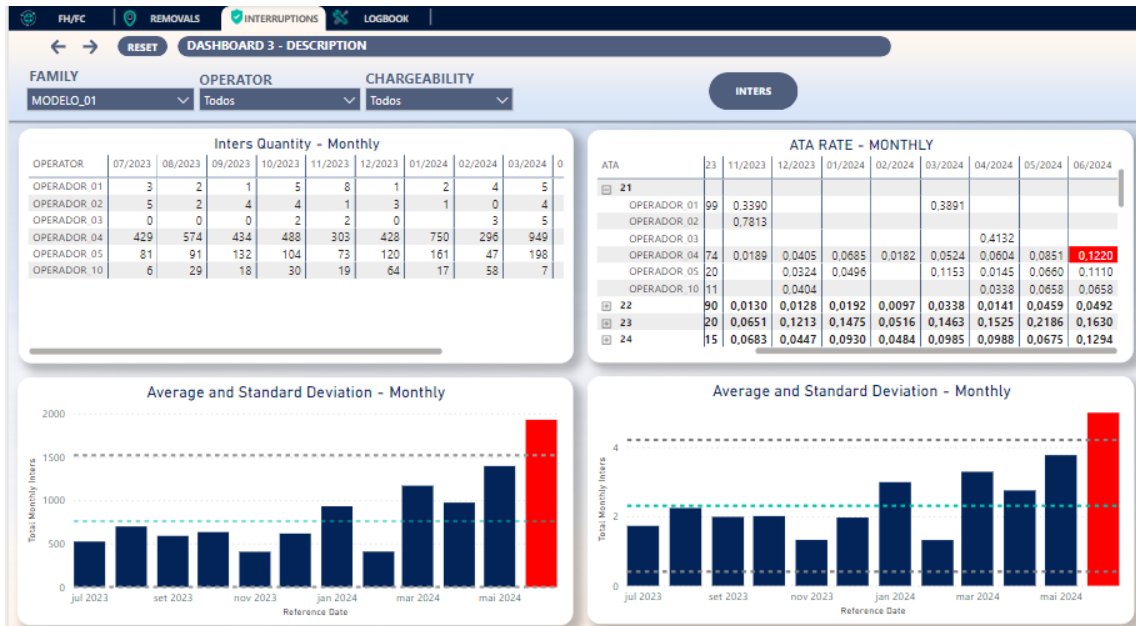


Figura 26 - Perspectiva de Inter Rate com filtro de modelo e chargeable.

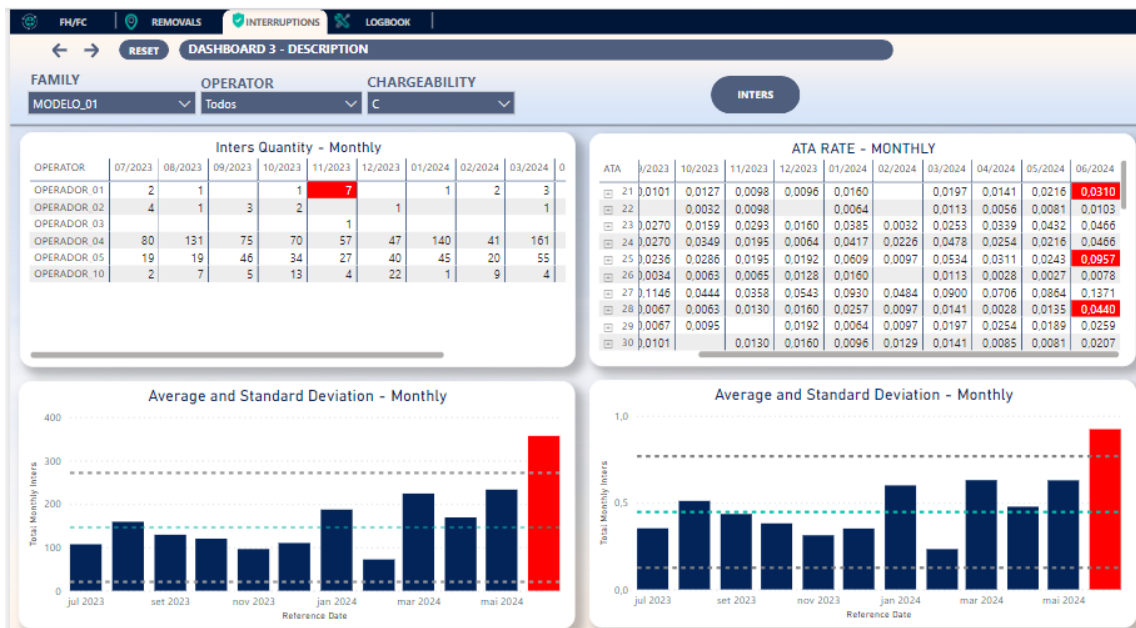
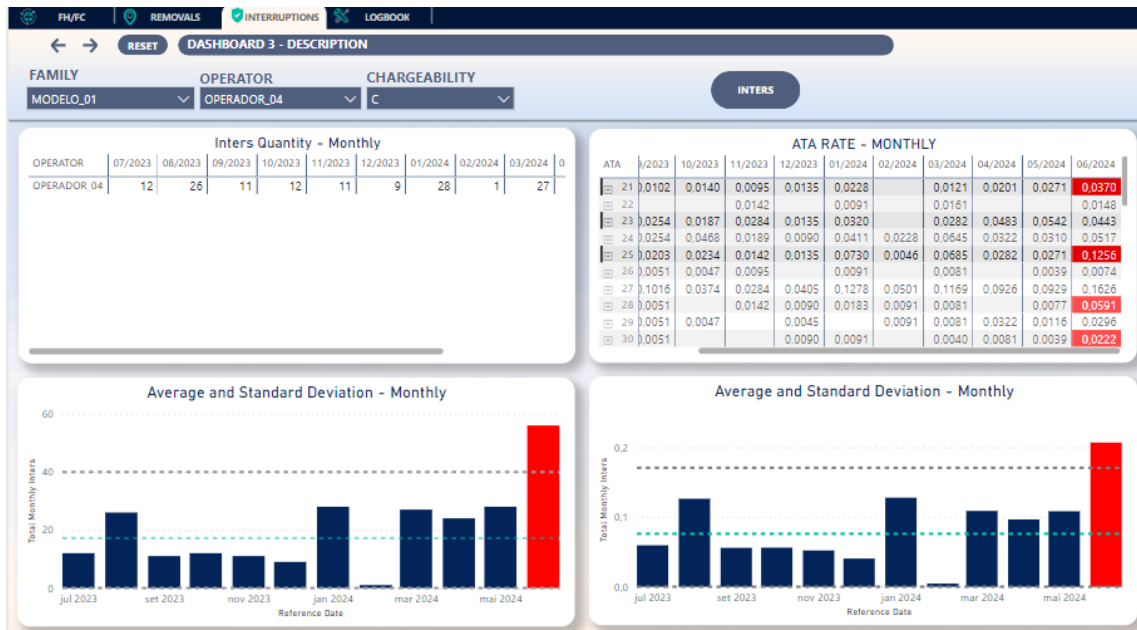


Figura 27 - Perspectiva de Inter Rate com filtro de modelo, operador, chargeable e Atas 21, 23 e 25.



4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.

O desenvolvimento deste projeto proporcionou um avanço significativo na capacidade de monitoramento e verificação dos dados importados mensalmente para a empresa do setor aeronáutico. A seguir, são discutidos os principais resultados alcançados e as implicações para a confiabilidade dos dados e processos da empresa.

4.1. DEFINIÇÃO DOS DESVIOS PADRÃO.

Conforme mencionado anteriormente, a definição da quantidade de desvios padrão utilizada para estabelecer os limites aceitáveis dos dados foi realizada de modo empírico, com o objetivo de atingir uma abrangência entre 95% e 99,7%. Após diversos testes e validações, determinou-se que o uso de 2,5 desvios padrão seria o parâmetro mais adequado para monitoramento dos dados, considerando a amostra de tamanho relativamente pequeno disponível para análise, que abrange apenas os últimos 12 meses de dados da empresa. Esse ajuste mostrou-se eficaz para o contexto atual, já que, com uma quantidade limitada de dados,

foi possível aplicar um critério mais sensível sem comprometer a confiabilidade da detecção de anomalias. Em situações com amostras maiores, esse valor de 2,5 desvios poderia resultar em excesso de falsos positivos, devido à menor estabilidade estatística dos eventos atípicos em amostras amplas.

Utilizando esse critério, observou-se que aproximadamente 80% dos eventos identificados como fora do padrão estavam corretos, enquanto 20% efetivamente apresentavam erros. Esse ajuste foi crucial para garantir um equilíbrio entre a sensibilidade na detecção de anomalias e a redução de falsos positivos, assegurando que a maioria dos dados corretos não fosse classificada erroneamente como anômala. Dessa forma, o critério de 2,5 desvios padrão atendeu à necessidade de monitoramento preciso dentro do contexto e limitações de dados deste estudo.

4.2. IDENTIFICAÇÃO DE ERROS DE PROCESSAMENTO.

A implementação do projeto possibilitou a identificação de diversos erros de processamento de dados, principalmente relacionados aos dados de horas e ciclos, bem como às classificações em termos de ATA dos dados de logbook. Esses erros, que antes poderiam passar despercebidos até a emissão dos relatórios mensais, agora são detectados de forma automática e em tempo hábil para correção. A identificação precoce desses problemas não só melhora a qualidade dos dados, mas também evita que erros acumulados impactem negativamente os indicadores e relatórios da empresa.

4.3. EFICIÊNCIA NO PROCESSO DE VERIFICAÇÃO.

Antes da implementação desta ferramenta, o processo de verificação dos dados importados era realizado manualmente no final de cada mês, demandando cerca de seis horas de trabalho ou mais, especialmente em casos em que erros eram encontrados. Com a introdução da ferramenta de monitoramento, observou-se uma significativa redução no tempo necessário para essa tarefa. O tempo gasto no processo de verificação final caiu para aproximadamente quatro horas. Além disso, ao longo do mês, possíveis erros são apontados durante os processos

de importação de dados, permitindo que sejam investigados e, se necessário, corrigidos imediatamente. Isso não apenas otimiza o tempo, mas também distribui a carga de trabalho ao longo do mês, reduzindo a pressão e a probabilidade de erros no final do ciclo mensal.

4.4. AUMENTO DA CONFIABILIDADE DOS DADOS.

A utilização da ferramenta trouxe uma maior confiabilidade aos dados importados ao longo do mês. Com dados mais precisos e bem monitorados, os indicadores de confiabilidade aeronáutica (descritos no capítulo de referência) tornaram-se mais assertivos e confiáveis. Isso é de extrema importância para a empresa, considerando a natureza crítica dos dados utilizados na tomada de decisões que afetam a segurança e a operação das aeronaves. A assertividade nos indicadores fortalece a confiança dos gestores e operadores nos processos da empresa, além de contribuir para a conformidade com normas regulatórias e padrões de qualidade do setor aeronáutico.

5. CONCLUSÃO.

A qualidade dos dados desempenha um papel crucial na área de confiabilidade dentro do setor aeronáutico. Dados precisos e bem estruturados são fundamentais para garantir que as análises e decisões baseadas neles sejam corretas, o que, por sua vez, afeta diretamente a segurança e a eficiência das operações aéreas. Em um ambiente onde a confiabilidade é essencial, qualquer falha ou imprecisão nos dados pode levar a conclusões errôneas, comprometendo a integridade dos processos e a segurança das aeronaves.

Nesse contexto, o projeto desenvolvido demonstrou ser de grande relevância para assegurar a qualidade dos dados utilizados pela empresa. Ao implementar um sistema de monitoramento e verificação contínua, foi possível identificar e corrigir problemas de processamento de dados, especialmente em áreas críticas como horas e ciclos de voo e classificações de ATA em logbooks. Essas correções garantiram que os dados estejam mais confiáveis, minimizando o risco de erros que poderiam passar despercebidos e impactar negativamente os indicadores de confiabilidade.

Com a melhora na qualidade dos dados, as análises realizadas pelo time de confiabilidade tornaram-se mais precisas e os indicadores mais confiáveis. Essa precisão aumentou a credibilidade do trabalho da equipe, fortalecendo a confiança dos gestores e operadores nos relatórios e dashboards gerados. A capacidade de tomar decisões baseadas em dados corretos é um diferencial crucial na manutenção da segurança e eficiência operacional, tornando o projeto uma contribuição significativa para o processo de trabalho do time de confiabilidade.

Além de melhorar a qualidade dos dados e a precisão das análises, o projeto agregou valor ao processo geral da equipe de confiabilidade, otimizando o tempo gasto em verificações e reduzindo a carga de trabalho associada à identificação de erros. O impacto positivo dessa iniciativa é claro, mas há também oportunidades para aprimoramentos futuros.

O primeiro passo, com o aumento da dependência de dados e do monitoramento contínuo, é garantir que esses dados estejam protegidos contra ataques cibernéticos. Investir em um sistema de monitoramento com camadas adicionais de segurança cibernética pode evitar acesso não autorizado, proteger a integridade dos dados e garantir que a confiabilidade das análises não seja comprometida.

Outro caminho possível é o desenvolvimento de projetos que permitam uma análise mais detalhada do perfil dos operadores, considerando a quantidade de dados por aeronave para cada operador específico. Essa abordagem proporcionaria uma visão mais aprofundada e personalizada dos dashboards, permitindo uma análise ainda mais refinada dos dados e uma compreensão mais completa do perfil de operação das aeronaves, contribuindo para a evolução contínua do processo de confiabilidade na empresa.

Por fim, o cálculo dos custos associados ao desenvolvimento e manutenção do dashboard é relevante para identificar o retorno sobre investimento e auxiliar na definição de orçamentos mais precisos para sistemas de monitoramento similares.

6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS.

ALMEIDA, Maurício Barcellos. Uma introdução ao XML, sua utilização na Internet e alguns conceitos complementares. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ci/a/QQ3HX7jLBfTG3gpvPdfGK9j/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 18 de agosto de 2024. DOI: <https://doi.org/10.18225/ci.inf.v31i2.955>.

AMBORSKI, Jan. Calculation of alert levels for reliability. Institute of Aviation, Varsóvia, p.1-4, 2009. Disponível em: https://www.scs-europe.net/conf/ecms2009/ecms2009%20CD/ecms2009%20accepted%20papers/ese_0121.pdf. Acesso em: 27 de agosto de 2024. DOI: <https://doi.org/10.1177/0954410020925626>.

AVIAÇÃO e turismo apresentam dados animadores e projetam crescimento para os próximos anos. Gov.br. Disponível em: <https://www.gov.br/portos-e-aeroportos/pt-br/assuntos/noticias/2024/01/Aviacao-e-turismo-apresentam-dados-animadores-e-projetam-crescimento-para-os-proximos-anos>. Acesso em 30 de julho de 2024.

CHRISTIANSEN, B. The Past and the Future of Industrial Maintenance Management. ISA Interchange, 2020.

CRESPO, Antônio Arnot. Estatística fácil. São Paulo: Saraiva, 2002.

DORAN, G. T. "There's a S.M.A.R.T. Way to Write Management's Goals and Objectives", Management Review, Vol. 70, Issue 11, pp. 35-36, 1981.

FERREIRA, J.V.S. Inspeção e Monitoramento de Obras de Arte Especiais com vista a Manutenção Preditiva. Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2018.

GONÇALVES, Fabiana C. C. Implantação de procedimentos de manutenção preventiva em Companhias aéreas para operações em baixas temperaturas. 2008. 78f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Mecânica) – Centro de Tecnologia e Ciência ETEP Faculdades, São José dos Campos, 2008.

JACOBS, Rodrigo Carlos. Gestão de custos de reparo de componentes aeronáuticos baseada em confiabilidade. 2017. 38f. Monografia (Especialização em Gerência de Manutenção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

KINNISON, Harry A. Aviation Maintenance Management. 2. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill Professional, 2004.

MOUBRAY John. Reliability Centered Maintenance. 2. ed. Nova Iorque: Industrial Press Inc., 2001.

MOUBRAY, John. Manutenção Centrada na Confiabilidade. 2. ed. Lutterworth, Inglaterra: Aladon Ltd, 2000.

NASCIF, J.; DORIGO, L. C. Manutenção orientada para resultados. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2013.

NAZARETH, Helenalda. Curso básico de estatística. São Paulo: Ática, 2003.

NETTO, W. A. C. A Importância e a Aplicabilidade da Manutenção Produtiva Total (TPM) nas Indústrias. 2008. 53f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2008.

O'CONNOR, Patrick D.T. Practical Reliability Engineering. 4. ed. Nova Iorque: John Wiley and Sons, 2002. DOI: 10.1002/9781119961260.

PASCHOAL, Débora R. S. et al. Disponibilidade e confiabilidade: aplicação da gestão da manutenção na busca de maior competitividade. Revista da Engenharia de Instalações no mar da FSMA, jan. 2009. Disponível em: http://www.fsma.edu.br/EP/Artigos/REV_ENG_3_artigo_3.pdf. Acesso em: 27 agosto 2024.

PAULA, Marcos. Repondo a confiabilidade do sistema de piloto automático de aeronaves: confiabilidade do servomotor após as melhorias implantadas pelo fabricante. 2018. 50f Monografia (Especialização em Engenharia de Confiabilidade) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/18773>. Acesso em: 30 agosto 2024.

PEREIRA, A. S. et al. Metodologia da pesquisa científica. 1. ed. Santa Maria: Universidade federal de Santa Maria, 2018.

SANTOS, Renato V.; GALINDO, Renan F. Projeto para melhoria do cálculo do MTBUR - indicador de confiabilidade para monitorar o desempenho dos componentes das aeronaves comerciais. 2013. 29f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Aeronáutica) – Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, 2013.

SILVA, Heric Ramon. Análise de dados de vida aplicada a um componente Aeronáutico na otimização do seu intervalo de manutenção. 2016. 40f. Monografia (Especialização em Engenharia de Confiabilidade) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/18681>. Acesso em: 27 agosto 2024.

SILVA, Jorge Luiz de Castro e; FERNANDES, Maria Wilda; ALMEIDA, Rosa Livia Freitas de. Matemática estatística e probabilidade. 3. ed. Fortaleza: UECE, 2015.

SOUZA, Áurea. O papel da distribuição normal na Estatística. Disponível em: https://repositorio.uac.pt/bitstream/10400.3/5363/1/Sousa_10%20out%202019.pdf. Acesso em: 27 ago. 2024.

TORATI, Cristiane. Análise de confiabilidade na manutenção aeronáutica de componente. 2016. 61f. Monografia (Especialização em Engenharia de Confiabilidade) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/18675?mode=full>. Acesso em: 27 agosto 2024.

TRANSPORT CANADA. Airworthiness manual advisory (AMA) no. 571.101/1. Disponível em: <https://tc.canada.ca/en/aviation/reference-centre/airworthiness-manual-advisories-aircraft-maintenance-manufacturing-branch-advisory-circulars/airworthiness-manual-advisory-ama-no-571101-1>. Acesso em: 27 ago. 2024.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO – TCU. Técnicas de auditoria: indicadores de desempenho e mapa de produtos. Brasília: TCU, 2000. Disponível em: <https://portal.tcu.gov.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=8A8182A24F0A728E014F0B017A0E4F54>. Acesso em: 17 junho 2024.

UFRGS. Probabilidade e estatística: livro EAD. Disponível em: https://www.ufrgs.br/probabilidade-estatistica/livro/livro_probabilidade_estatistica_EAD.pdf. Acesso em: 27 ago. 2024.

ZIBETTI, André. Distribuição Normal (Gaussiana). Disponível em: <https://www.inf.ufsc.br/~andre.zibetti/probabilidade/normal.html>. Acesso em: 27 agosto 2024.