

# AVALIAÇÃO DA ALTERAÇÃO DO PROGRAMA DE MANUTENÇÃO DAS AERONAVES A-29 DA FORÇA AÉREA BRASILEIRA

## EVALUATION OF THE CHANGE IN THE MAINTENANCE PROGRAM FOR A-29 AIRCRAFT OF THE BRAZILIAN AIR FORCE

Jefferson Rodrigues de Sousa<sup>1</sup>  
Rachel Andrade Ballardin<sup>2</sup>  
Jardel Figueira da Silva<sup>3</sup>

### RESUMO

Este trabalho analisa a alteração do programa de manutenção das aeronaves A-29 da Força Aérea Brasileira. Tal abordagem se faz necessária por não haver garantia de que o desempenho da frota de aeronaves tenha melhorado quanto à confiabilidade, incidência de falhas e disponibilidade operacional. O objetivo deste trabalho é avaliar a eficácia da alteração do Programa de Manutenção das Aeronaves A-29, verificando se houve melhora no desempenho da frota no que diz respeito à confiabilidade do sistema, incidência de falhas e disponibilidade. Este intento será conseguido por meio da revisão bibliográfica e análise documental dos programas de manutenção anterior e posterior à mudança. Esta análise comparativa se deu por meio de coleta e análise dos dados de falha e disponibilidade compreendidos entre 2017 e 2022. O estudo evidenciou que houve um impacto positivo na confiabilidade e na incidência de falhas do sistema aeronave. Além disso, ficou evidenciado um incremento de disponibilidade na frota de aeronaves após a utilização do novo programa de manutenção. Contudo, quando avaliados os sistemas que compõem as aeronaves, não foram todos que se beneficiaram da alteração do programa de manutenção, de modo que houve piora no índice confiabilidade e incidência de falhas para alguns deles.

**Palavras-chave:** Confiabilidade. Disponibilidade. Programa de Manutenção.

### ABSTRACT

This paper analyzes the change of the maintenance program of the A-29 aircraft of the Brazilian Air Force. Such an approach is necessary because there is no guarantee that the performance of the aircraft fleet has improved in terms of reliability, incidence of failures and operational availability. The objective of this work is to evaluate the effectiveness of the change of the A-29 Aircraft Maintenance Program, verifying if there was an improvement in the performance of the fleet about the reliability of the system, incidence of failures and availability. This aim will be achieved through literature review and document analysis of the maintenance programs before and after the change. This comparative analysis took place through the collection and analysis of failure and availability data between 2017 and 2022. The study showed that there was a positive

---

<sup>1</sup> Pós-graduando em logística pelo Instituto de Logística da Aeronáutica, Engenheiro Mecânico-aeronáutico pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica. E-mail: sousajrs@fab.mil.br.

<sup>2</sup> Doutora em Educação pela Universidade Metodista de Piracicaba, mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina e bacharel em Secretariado Executivo Bilingue pelo Centro Universitário Newton Paiva. E-mail: ballardin@uol.com.br.

<sup>3</sup> Graduado em Engenharia Aeronáutica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Mestre em Ciências e Tecnologias Espaciais Instituto Tecnológico de Aeronáutica. E-mail: jardelfs@fab.mil.br.

impact on the reliability of the aircraft system, as well as on the incidence of system failures. In addition, there was an increase in the availability of the aircraft fleet after the use of the new maintenance program. However, when the aircraft systems were analyzed individually, not all were benefited by the change in the maintenance program, and there was a reduction in reliability and an increase in the incidence of failures for some of them.

**Keywords:** Reliability. Availability. Maintenance Program.

## 1 INTRODUÇÃO

As aeronaves A-29 da Força Aérea Brasileira (FAB) iniciaram sua operação em 2004 e possuem mais de 15 anos de operação. O projeto é importantíssimo para as missões de Defesa Aérea, Ataque, Reconhecimento Armado, Reconhecimento Aéreo, Controle Aéreo Avançado, Apoio Aéreo Aproximado e Demonstração Aérea. Recentemente, a frota mundial de aeronaves A-29 Super Tucano alcançou a marca de 500 mil horas de voo. Com mais de 260 unidades fabricadas, a aeronave atua em 16 forças aéreas em todo o mundo, incluindo a Força Aérea dos Estados Unidos (USAF), além de vários países da América Latina, sendo a FAB o maior operador dessa aeronave no mundo.

Nesse contexto, o plano de manutenção das aeronaves A-29 da FAB sofreu uma alteração significativa após estudo realizado pela Embraer com dados de campo de 75 aeronaves da FAB, no ano de 2017. O estudo intitulado *Maintenance Program Evolution Plan General Guideline* (MPEPGG) resultou em um aumento da periodicidade dos cartões de manutenção das aeronaves em cerca de 17%, o que permitiu que se realizassem menos intervenções de manutenção ao longo do ciclo de vida das aeronaves.

Contudo, sabe-se que os dados de operação coletados e inseridos no Sistema Integrado de Logística de Material e Serviços (SILOMS) não são 100% confiáveis, mesmo após intenso trabalho de tratamento. Isso ocorre devido à natureza humana de inserção de dados, sujeita a erros, portanto. Assim, não há garantias em relação à melhora no desempenho da frota no que tange à confiabilidade do sistema, incidência de falhas e disponibilidade após a alteração dos intervalos de manutenção.

Este trabalho trata de uma avaliação da eficácia da alteração do programa de manutenção realizada pela Embraer com vistas a verificar se houve melhora no desempenho da frota no que diz respeito à confiabilidade do sistema, incidência de falhas e disponibilidade das aeronaves.

Tal abordagem se faz necessária por não haver garantia de melhora no desempenho da frota após o aumento na periodicidade dos cartões de inspeção. Ainda que isso represente, em tese, menos intervenções humanas nos sistemas da aeronave e maior disponibilidade operacional, não há instrumento que garanta a manutenção do índice de falhas do sistema, por exemplo.

É importante ressaltar também a contribuição do trabalho para a logística do Comando da Aeronáutica (COMAER), uma vez que a validação de um modelo de alteração de plano de manutenção realizado por empresa externa possibilita a internalização do estudo por parte da FAB. No caso de comprovação de melhorias em relação aos parâmetros avaliados, pode-se criar um framework de extensão de cartões de manutenção com base no estudo realizado pela empresa. Dessa forma, qualquer projeto aeronáutico da FAB pode ser beneficiado ao se normatizar um processo de aumento de intervalos de manutenção baseado em confiabilidade.

O objetivo deste trabalho é avaliar a eficácia da alteração do Programa de Manutenção da Frota de A-29, verificando se houve melhora no desempenho da frota no que diz respeito à confiabilidade do sistema, incidência de falhas e disponibilidade.

Este intento será conseguido a partir da revisão bibliográfica e uma análise comparativa dos períodos anterior e posterior à implementação do novo programa de manutenção. A análise terá duas vertentes: quanto à confiabilidade e incidência de falhas, por meio da extração de dados de falha extraídas do SILOMS e implementadas em modelo estatístico com apoio do *software* Weibull++ versão 11, da Reliasoft; e quanto à disponibilidade, por meio dos indicadores gerenciais extraídos do SILOMS.

## 2 PROGRAMA DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

### 2.1 PROGRAMA DE MANUTENÇÃO

Um primeiro aspecto a ser tratado neste trabalho é o entendimento de Programa de Manutenção dentro da FAB. De acordo com a MCA 66-7/2017, em um programa de manutenção constam os requisitos das verificações das aeronaves e seus componentes prescritos na Ordem Técnica aplicável. É um documento emitido pelo Parque de Material Aeronáutico (PAMA) central e encaminhado à Diretoria de Material Aeronáutico e Bélico (DIRMAB) para apreciação.

Blanchard (2014) destaca que o programa de manutenção é um plano detalhado com métodos e procedimentos a serem seguidos para suporte do sistema durante todo o ciclo de vida do sistema. Ademais, esse programa é desenvolvido geralmente durante a fase de projeto.

Sobre a abordagem de construção dos programas de manutenção pelas empresas fabricantes de aeronaves, Kinnison (2004) lembra que os programas são desenvolvidos sob duas óticas básicas: uma primeira relacionada à ação de manutenção, ou seja, orientada a tarefas; e a segunda relativa à maneira pela qual as ações de manutenção são determinadas e atribuídas a componentes e sistemas, ou seja, orientada a processos.

Na realidade da FAB, em que diversos projetos de aeronaves são mais antigos, a abordagem por processos nos programas de manutenção se faz presente. Essa abordagem utiliza três conhecidos processos de manutenção primários para ações de manutenção programadas.

Esses processos são conhecidos como *hard time* (HT), *on-condition* (OC) e *condition monitoring* (CM). De acordo com Kinnison (2004), os processos *hard time* e *on-condition* são usados para componentes ou sistemas que, respectivamente, têm limites de vida definidos ou períodos de desgaste detectáveis. Já o processo de *condition monitoring* (CM) é usado para monitorar sistemas e componentes que não podem utilizar os processos HT ou OC. Esses itens de CM são operados até a falha e as taxas de falha são rastreadas para auxiliar na previsão de falhas ou nos esforços de prevenção de falhas.

Ademais, a abordagem de manutenção orientada a tarefas utiliza cartões de manutenção predeterminados para evitar falhas em serviço. Algumas vezes, redundâncias de equipamentos são usadas para permitir que falhas em serviço ocorram sem afetar adversamente a segurança e a operação. Um programa de confiabilidade geralmente é empregado (semelhante, mas mais elaborado que o processo CM) para os componentes ou sistemas cujas taxas de falha não são previsíveis e para aqueles que não têm tarefas de manutenção programadas (KINNISON, 2004).

Será abordado em seguida os aspectos relativos à manutenção centrada em confiabilidade.

### 2.2. MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

De acordo com Moubray (1997), a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) é um processo usado para determinar o que deve ser feito para assegurar que qualquer ativo físico

continue a fazer o que os seus usuários esperem que ele faça no seu contexto operacional presente. Ele ainda enfatiza que a MCC é o que há de mais evidente na chamada terceira geração da manutenção, fase iniciada em meados dos anos 70. Diferentemente das fases primeira e segunda, ela tem foco principal em aumento de confiabilidade e disponibilidade dos sistemas e tem como objetivo a maior vida útil dos equipamentos.

Na FAB, o processo de MCC foi introduzido através do MCA 400-15 de 2006. No que diz respeito à motivação da implantação desse conceito, a intenção foi de adaptar os programas de manutenção existentes levando em consideração os dados de operação específicos das aeronaves da FAB. Neste caso, o objetivo é aumentar o grau de previsibilidade de possíveis falhas de modo a reduzir as intervenções de manutenção desnecessárias.

Dentro do escopo de uma análise MCC, devem estar presentes, obrigatoriamente, entre outros:

- 1) a determinação da frequência de manutenção para a seleção do melhor intervalo para cada tarefa ou requisito de manutenção; e
- 2) a reavaliação periódica de requisitos individuais de manutenção e dos intervalos das tarefas. Esta reavaliação deverá considerar o fato que os programa de manutenção inicial de um novo sistema é normalmente conservativo e que um enfoque mais realista, baseado em uma análise qualitativa e quantitativa de dados, provê informações adicionais para um ajuste apropriado dos intervalos das tarefas de um sistema às reais condições operacionais a que ele está submetido (BRASIL, 2006).

Este estudo irá avaliar exatamente se o aumento da periodicidade das tarefas de manutenção feita pelo fabricante tem um enfoque mais realista quando se trata de previsibilidade de falhas.

Para tanto, será utilizado um modelo matemático representado pela distribuição de probabilidade Weibull, o qual é tratado na MCA 400-15, por ser um dos modelos mais flexíveis para modelagem de dados de falha. A depender do parâmetro de forma  $\beta$ , esta distribuição engloba uma grande variedade de dados de falha. Sua representação é conforme a fórmula abaixo:

$$f(t) = \frac{\beta}{y} \left(\frac{t-\gamma}{y}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{y}\right)^{\beta}} \quad (1)$$

Onde:  $\beta$ ,  $\eta$  e  $\gamma$  são os parâmetros dessa distribuição.

Ainda nesse contexto, a fim de medir os aspectos relacionados à confiabilidade na manutenção, Blanchard (2014) apresenta o conceito de fatores de disponibilidade, e que, de acordo com ele, pode representar um percentual ou uma probabilidade de um sistema estar pronto ou disponível quando necessário para uso. As três principais métricas de disponibilidade apontadas por Blanchard (2014) são descritas abaixo:

- a) Disponibilidade Inerente (Di): Probabilidade de que um sistema ou equipamento, quando usado sob condições estabelecidas em um ambiente de suporte ideal (ou seja, ferramentas prontamente disponíveis, peças sobressalentes, pessoal de manutenção etc.), funcionará satisfatoriamente a qualquer momento, conforme necessário. Exclui ações de manutenção preventiva ou programada, tempo de atraso logístico e tempo de atraso administrativo.

$$Di = \frac{MTBF}{MTBF + \overline{Mct}} \quad (2)$$

- b) Disponibilidade Atingida ( $D_a$ ): Probabilidade de que um sistema ou equipamento, quando usado sob condições estabelecidas em um ambiente de suporte ideal (ou seja, ferramentas prontamente disponíveis, peças sobressalentes, pessoal etc.), funcione satisfatoriamente a qualquer momento. Esta definição é semelhante à definição de  $D_i$ , exceto por incluir manutenção preventiva (ou seja, programada) no cálculo. Exclui o tempo de atraso logístico e o tempo de atraso administrativo.

$$D_a = \frac{MTBM}{MTBM + \bar{M}} \quad (3)$$

- c) Disponibilidade Operacional ( $D_o$ ): Probabilidade de que um sistema ou equipamento, quando usado sob condições estabelecidas em um ambiente operacional real, operará satisfatoriamente quando solicitado. Inclui todos os tipos de atrasos supracitados.

$$D_o = \frac{MTBM}{MTBM + MDT} \quad (4)$$

Onde:

MTBF (*mean time between failure*) representa o tempo médio entre falhas no Sistema.

MTBM (*mean time between maintenance*) representa o tempo médio entre manutenções programadas e não programadas.

$\bar{M}$ ct representa o tempo gasto em uma manutenção corretiva ou não programada.

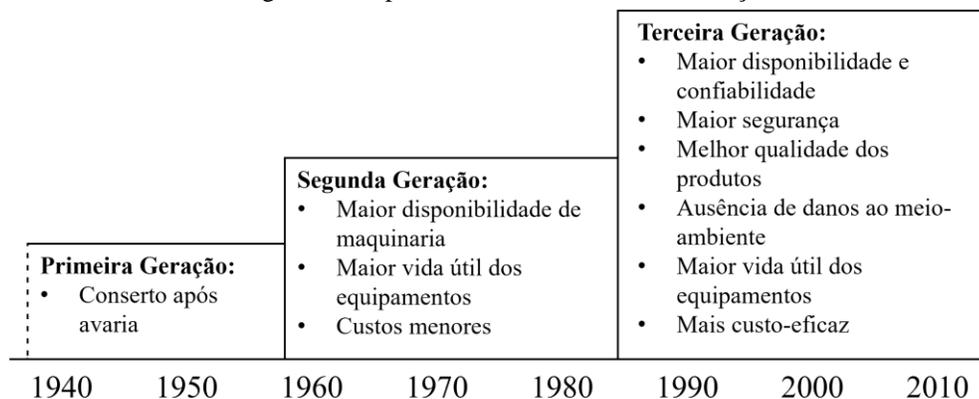
$\bar{M}$  representa o tempo gasto em manutenções preventiva e corretiva.

MDT (*maintenance downtime*) representa todo tempo gasto em manutenções acrescido de todos os tipos de atrasos logísticos e administrativos.

### 2.3. EVOLUÇÃO DOS PROGRAMAS DE MANUTENÇÃO

A manutenção de componentes e sistemas deixou de ser algo relacionado à necessidade e passou a ter um caráter estratégico com o passar dos anos. Moubray (1997) apresenta essa relação classificando as três gerações de manutenção e as principais diferenças entre elas, conforme mostra na figura 1.

Figura 1 – Expectativas crescentes da manutenção



Fonte: (MOUBRAY, 1997)

Essa evolução do conceito de manutenção é fundamental para entender o processo que levou à criação de um trabalho realizado por um grupo de diversos representantes ligados ao ramo

da indústria aeronáutica americana, conhecido como *Maintenance Steering Group* (MSG). Esse trabalho, criado em 1967, foi a base para a elaboração do programa de manutenção da aeronave Boeing 747.

Com o tempo, diversas melhorias foram implementadas neste trabalho, que veio a ter mais duas versões, o MSG-2, e, por último, o MSG-3. Este, datado da década de 1980, incorporou novas práticas de manutenção baseadas em um fluxo de decisões lógicas conhecido como abordagem *top-down*, ao passo que nas versões anteriores utilizava-se a abordagem *bottom-up*.

Contudo, ainda que tais práticas de manutenção estejam bastante avançadas, ainda há uma limitação para os fabricantes de aeronaves na elaboração dos programas de manutenção de novos projetos de aeronaves. O não conhecimento das condições reais de operação é o principal obstáculo enfrentado hoje pelas empresas durante a elaboração desses documentos. Por mais que se destrincham os sistemas em busca de todos os modos de falha dos equipamentos, não há garantia de que o sistema irá se comportar da maneira pela qual ele foi projetado à medida que ele opera nas condições reais.

Dessa forma, a fim de que dados de campo sejam considerados para melhoria dos programas de manutenção, representantes das agências reguladoras de transporte aéreo europeia (EASA), americana (FAA), canadense (TCCA) e brasileira (ANAC), por meio do *International Maintenance Review Board Policy Board* (IMRBPB), elaboraram o *Issue Paper 44* (IP44).

De acordo com o IP44, o programa de manutenção de qualquer novo projeto de aeronave é desenvolvido essencialmente na ausência de experiência real em serviço. Como resultado, a tendência é que haja um conservadorismo no processo de tomada de decisão. À medida que a experiência de serviço é acumulada, os intervalos das tarefas (limites/repetições) devem ser ajustados para refletir os resultados dos dados reais em serviço. Assim, o documento propõe um processo de análise de dados baseado em fatores como idade da frota, ambiente geográfico de operação, quantidade de tarefas de inspeção cumpridas, remoções de componentes para manutenção programada e não-programada, dentre outros, a fim de se obter uma evolução dos programas de manutenção mais próxima da realidade de operação das aeronaves.

Este foi o documento que a Embraer utilizou como base para realizar a alteração do programa de manutenção das aeronaves A-29 da FAB. Até a apresentação deste trabalho, o programa desenvolvido com base nos dados de operação da FAB não é utilizado em outras frotas de aeronaves no mundo. O resultado desse estudo pode ser, portanto, um importante fator de decisão para a expansão do novo programa de manutenção para a frota mundial de aeronaves A-29.

### **3 MATERIAL E MÉTODO**

A metodologia utilizada neste trabalho é definida, de acordo com Scanfone e Vasques (2018) como sendo pesquisa aplicada quanto à finalidade e descritiva quanto ao objetivo. Esta referência também é utilizada nas classificações seguintes.

Quanto aos procedimentos, a pesquisa bibliográfica foi fundamental na construção de uma base teórica de avaliação de programas de manutenção com foco em confiabilidade. Além disso, permitiu a profunda compreensão do trabalho desenvolvido por Silva (2013) na avaliação dos indicadores gerenciais após alteração do programa de manutenção das aeronaves T-25.

Em um segundo momento, uma pesquisa documental foi realizada por meio de documentos técnicos que compõem o programa de manutenção das aeronaves A-29 da FAB. O estudo que gerou a mudança no programa de manutenção das aeronaves A-29 foi realizado pela Embraer em 2017 e incorporado pela FAB através do Boletim Técnico BT LS 19 496 A-29 014, em 2019.

Ademais, e como forma de introduzir as aeronaves ao novo programa, um plano de transição foi emitido em 2019 para migrar as aeronaves do programa antigo para o programa novo. Desse modo, este trabalho irá considerar para efeito de análise os dois seguintes períodos: um anterior à emissão do Plano de Transição para o Novo Programa de Manutenção da Aeronave A-29 (BT LS 19 497 A-29 015), de 2017 a 2019, e um posterior ao programa de transição, de 2020 a 2022.

Para a avaliação da mudança no programa de manutenção quanto à confiabilidade do sistema e incidência de falhas, será realizada coleta de dados de falha no SILOMS por meio das Fichas de Coleta de Dados de Defeito (FCDD), bem como o registro das inspeções realizadas pela frota no período de 2017 a 2022. Essas fichas são preenchidas pelos mantenedores assim que eventos de falha ocorrem durante a operação das aeronaves.

Em posse desses dados, e após um adequado tratamento, será a vez de inseri-los na plataforma do *software* de apoio Weibull++ versão 11, da Reliasoft. Ele será útil para plotar a curva de probabilidade de falha do sistema, bem como as curvas de confiabilidade e taxa de falha para os períodos em análise, possibilitando as devidas comparações quantitativas.

Com relação à avaliação da disponibilidade, serão extraídos, de maneira similar no SILOMS, os dados de esforço aéreo, disponibilidade, indisponibilidade por manutenção programada e não programada, indisponibilidade por suprimento, bem como recolhimentos de itens recuperáveis nos períodos considerados acima. Com isso, é possível avaliar como se comportou o indicador logístico disponibilidade no período em análise.

No que diz respeito à natureza da pesquisa, os cenários mencionados anteriormente serão avaliados quantitativamente, ou seja, haverá uma base numérica de comparação e pressupõe, portanto, uma análise estatística com modelagem matemática no tratamento de dados.

Por fim, com relação ao local de realização da pesquisa, ela é definida como pesquisa de campo, uma vez que não há controle sobre a observação dos dados. Isto significa que, não obstante haja o tratamento dos dados coletados do SILOMS, ele não é utilizado para fins de controle do ambiente, mas puramente para eliminação de erros inerentes à natureza humana da coleta dos fenômenos.

## **4 RESULTADO E DISCUSSÃO**

### **4.1 CONFIABILIDADE E INCIDÊNCIA DE FALHAS**

Após um extenso tratamento dos dados de falha obtidos para a frota de aeronaves analisadas no período compreendido entre 2017 e 2022, eles foram inseridos no *software* Weibull ++ versão 11. Com isso, foi possível gerar os gráficos de confiabilidade e taxa de falha do período pré e pós alteração do programa de manutenção. A tabela 1 mostra quantas inspeções e FCDD's foram analisadas para os intervalos de 300 e 350 horas, e a figura 2 mostra como estão distribuídos os registros de inspeções em relação à média.

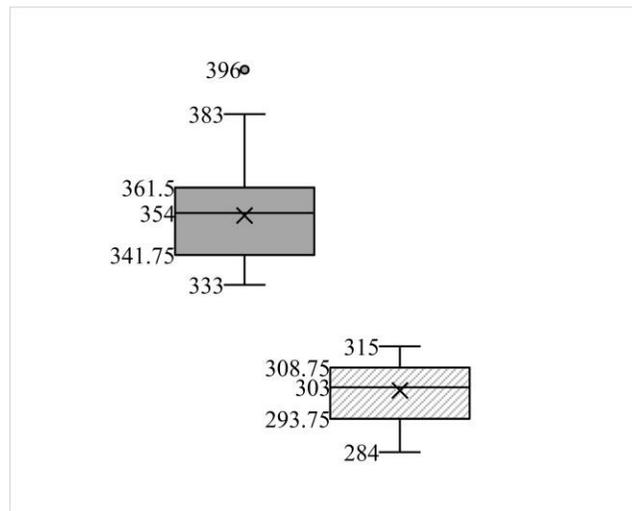
Tabela 1: Quantidade de inspeções e FCDD's analisadas

Intervalo	FCDD	Qtde inspeções	Média intervalo
300	429	37	302.1
350	338	41	353.3

Fonte: O próprio autor (2022)

Da tabela 1, pode-se observar que nem todas as aeronaves da frota realizaram a migração completa do programa de manutenção antigo para o novo. Isso ocorreu porque o Programa de Transição constante no BT LS 19 497 A-29 015 estabelece alguns critérios para a migração. Foi verificado que algumas aeronaves, a depender do TSN (*time since new*), precisam cumprir cartões adicionais em algumas inspeções, bem como cumprir inspeções do programa antigo por um determinado pacote de horas de voo. Sendo assim, foram analisadas 41 inspeções com o intervalo de manutenção estabelecido pelo novo boletim de manutenção, e 37 inspeções relacionadas ao plano antigo. Vale ressaltar que, todas as inspeções foram selecionadas baseando-se nas aeronaves que cumpriram alguma inspeção do novo programa de manutenção, isto é, não foram analisadas, para efeitos dos resultados, inspeções de outras aeronaves que não passaram pela transição dos programas de manutenção.

Figura 2: Gráfico *boxplot* dos valores de intervalos reais das inspeções realizadas

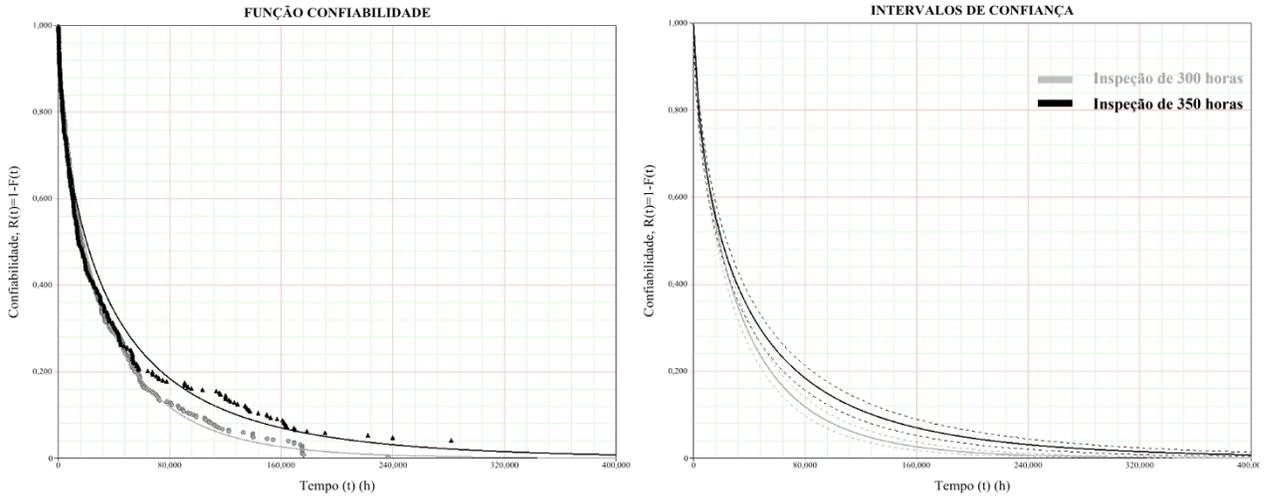


Fonte: O próprio autor (2022)

Do gráfico *boxplot*, pode-se verificar que, das 41 inspeções realizadas com o novo intervalo de manutenção de 350 horas, e 37 inspeções que foram analisadas com o intervalo antigo de 300 horas, nem todas as inspeções são realizadas com o intervalo exato determinado pelo Plano de Manutenção.

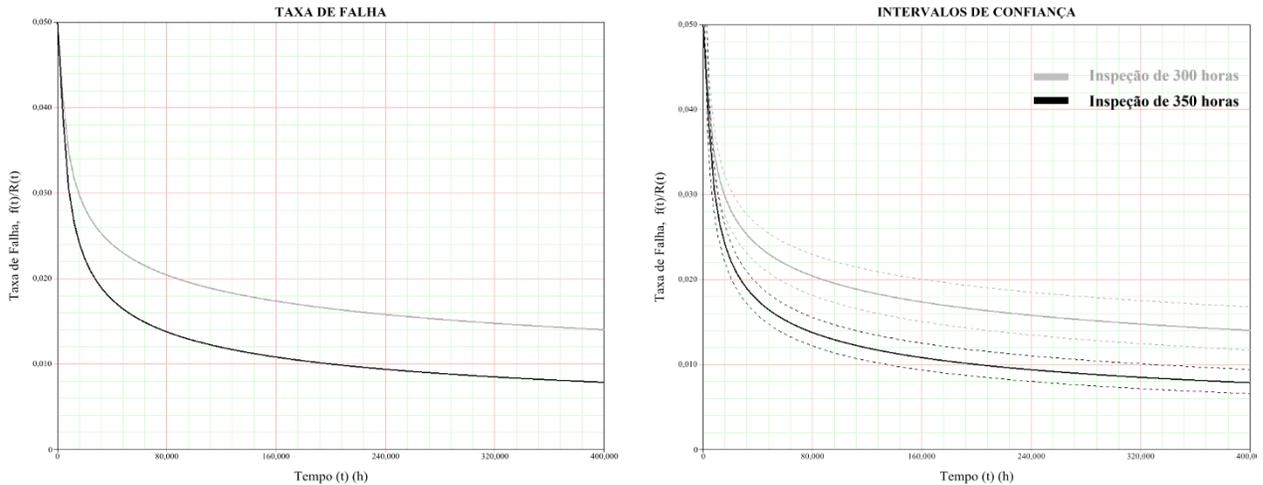
O motivo para isso é, sobretudo, o ajuste das diagonais de manutenção. Normalmente, há uma tolerância de cerca de 10 horas de voo para que o Operador consiga adequar a diagonal de manutenção. Os casos que extrapolam essa tolerância são apreciados pelo Parque Central, por meio da Subdivisão de Engenharia, onde é feita uma análise de assessoramento técnico, que, em caso de deferimento, o Operador consegue disponibilizar a aeronave por mais horas de voo. Sendo assim, é razoável que algumas inspeções tenham seu intervalo de manutenção aumentado ou reduzido em relação ao valor base de 300 horas para o programa antigo e 350 horas para o programa novo.

Figura 3: Gráfico da função confiabilidade versus tempo para os intervalos de 300 e 350 horas e nível de confiança de 90%.



Fonte: O próprio autor (2022)

Figura 4: Gráfico da função taxa de falha versus tempo para os intervalos de 300 e 350 horas e nível de confiança de 90%.



Fonte: O próprio autor (2022)

Dos gráficos das figuras 3 e 4, pode-se observar as curvas traçadas no *software* Weibull ++ 11, em que os parâmetros da equação (1) calculados de  $\beta$  e  $\eta$  foram conforme a tabela 2. O método de estimativa dos parâmetros utilizado foi o *Maximum Likelihood Estimation* (MLE), uma vez que há uma considerável presença de dados suspensos na análise.

Tabela 2: Parâmetros da distribuição Weibull para as inspeções de 300 e 350 horas.

<b>Inspeção</b>	<b><math>\beta</math></b>	<b><math>\eta</math></b>
300 horas	0,766	29,802
350 horas	0,652	35,777

Fonte: O próprio autor (2022)

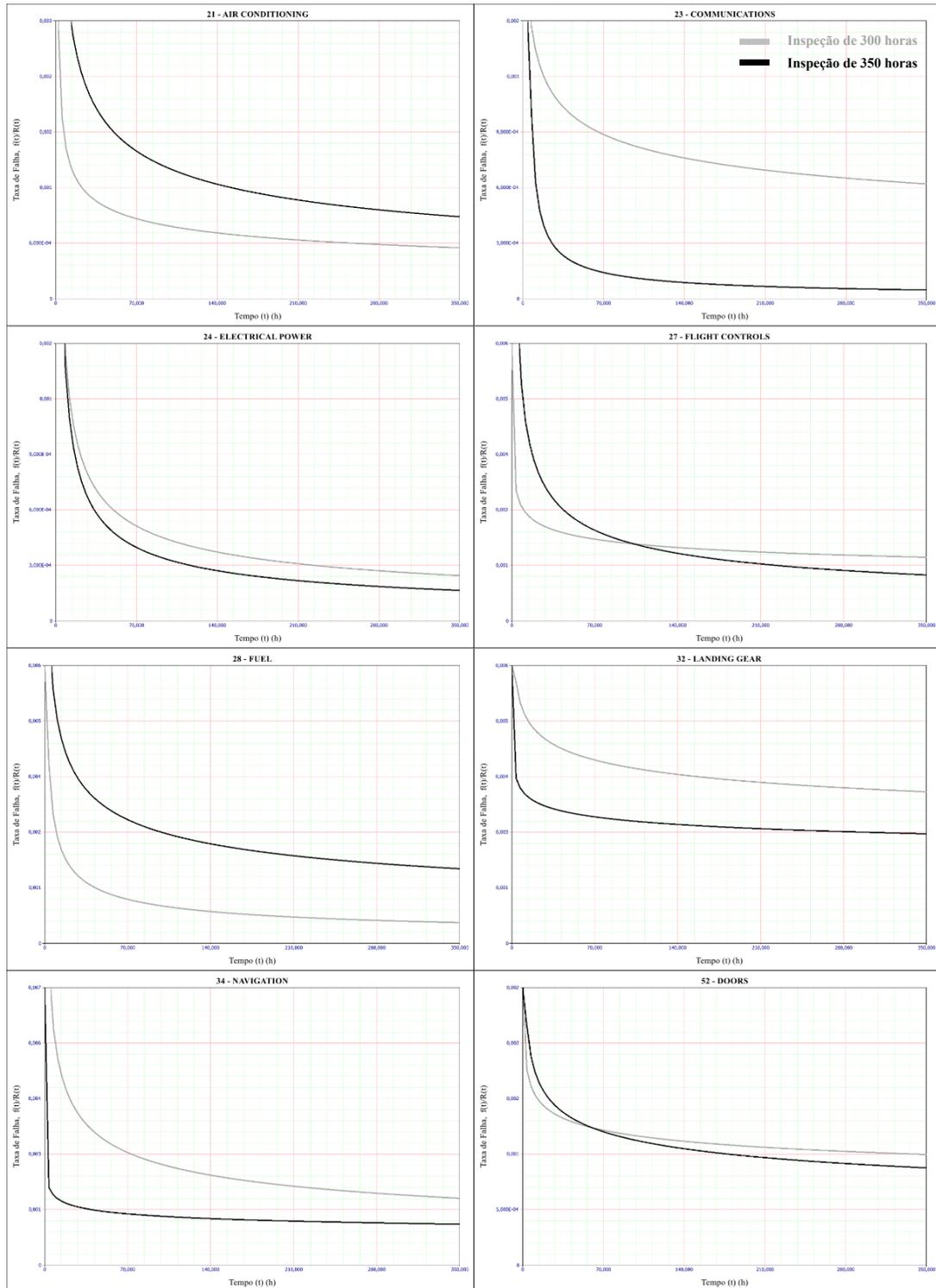
Nota-se do gráfico da figura 3 uma razoável melhoria da confiabilidade do sistema aeronave e do gráfico da figura 4 uma queda na taxa de falha do sistema, que é de aproximadamente 42% após 80 horas de operação do sistema. Este dado é interessante porque mostra que o ponto ótimo de realização da manutenção preventiva não é a cada 300 horas, o que não significa dizer que ele seja de 350 horas. Uma taxa de falha menor significa que, ao aumentar o intervalo entre inspeções, ou seja, uma redução nas intervenções de manutenção, não induz novas falhas. Pelo contrário, o excesso de intervenções de manutenção aumenta o índice de falhas do sistema.

Outro resultado importante desses gráficos, sobretudo, das curvas de taxa de falha, é que o aumento na periodicidade dos cartões de manutenção de 300 para 350 horas não alterou o comportamento da curva ( $\beta < 1$ , taxa de falha decrescente). Isso mostra que os cartões de manutenção continuam apresentando a mesma efetividade no que se refere ao tipo de manutenção a ser executada e apenas o intervalo de manutenção maior deslocou a curva de taxa de falha para baixo.

Contudo, esse deslocamento da curva não se dá em todo seu prolongamento. Pode-se observar que, para poucas horas de operação do sistema, as curvas de taxas de falha, bem como as de confiabilidade do sistema, se sobrepõem. Isso mostra que a mortalidade infantil desse sistema pós inspeção ainda é muito alta.

Ademais, uma análise por sistema foi conduzida a fim de verificar se os diversos sistemas da aeronave tiveram redução na taxa de falha, acompanhando, portanto, o desempenho geral dos dados de inspeção. O resultado da análise pode ser visualizado na figura 5.

Figura 5: Gráfico da função taxa de falha versus tempo para os sistemas da aeronave com maior impacto na confiabilidade do sistema aeronave.



Fonte: O próprio autor (2022)

Dos gráficos da figura 5, observa-se que os sistemas que apresentaram maior impacto nas falhas das aeronaves tiveram suas taxas de falha variando conforme a tabela 3:

Tabela 3: Variação da taxa de falha para os diversos sistemas da aeronave

Sistema	Variação Taxa de Falha	Variação em t=350 HV
21 - Ar-condicionado	Aumentou	33,33%
23 - Comunicações	Reduziu	-83,33%
24 - Elétrico	Reduziu	-25,00%
27 - Comandos de Voo	Reduziu Parcialmente	-33,33%
28 - Combustível	Aumentou	250,00%
32 - Trem de Pouso	Reduziu	-21,05%
34 - Navegação	Reduziu	-33,33%
52 - Portas	Reduziu Parcialmente	-20,00%

Fonte: O próprio autor (2022)

De uma maneira geral, os sistemas da aeronave tiveram suas taxas de falhas reduzidas com o novo intervalo de manutenção. Contudo, dois sistemas apresentaram aumento nesse indicador, que foram os sistemas de ar-condicionado (33,33%) e combustível (250,00%), sendo este um sistema crítico para a aeronave. Além disso, os sistemas de comandos de voo e portas tiveram uma redução parcial das taxas de falha, já que ambos os gráficos evidenciam uma taxa de falha mais alta nas primeiras horas de operação.

Com relação ao aumento das taxas de falha, o resultado não pode ser atribuído apenas à alteração feita nos intervalos de manutenção de 300 horas para 350 horas. Após a emissão do novo Programa de Manutenção, houve a implementação do Programa de Transição para migrar as aeronaves entre os planos de manutenção. Com isso, alguns cartões de inspeção, não constantes em nenhum dos programas, foram adicionados no Programa de Transição, com a finalidade de ajustar a frota de aeronaves. Um exemplo dessa alteração pode ser visualizado nas tabelas retiradas do BT LS 19 497 A-29 015, conforme figura 7.

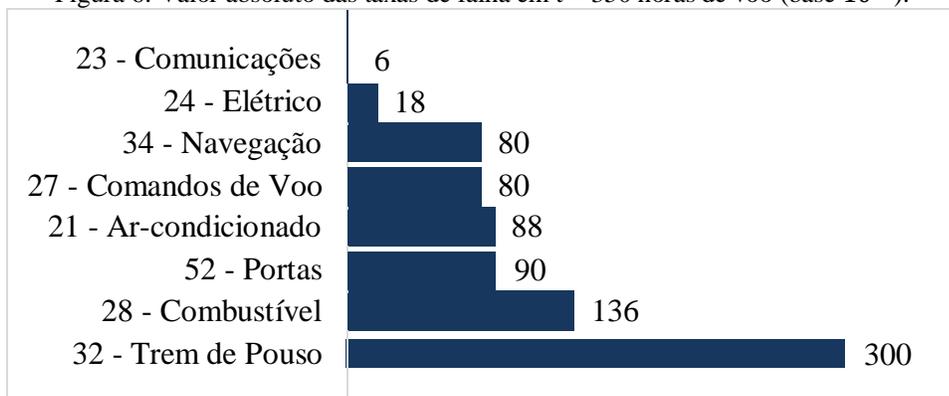
Ademais, para cumprir a transição entre os programas, algumas aeronaves realizaram inspeções com intervalos reduzidos, mesmo em relação ao programa antigo. Na figura 6, pode-se visualizar intervalos de parada de 200 horas e até de 50 horas. Desse modo, ainda que nesta análise de falhas tenham sido considerados apenas os dados de falha dentro dos intervalos de 300 e 350 horas, as interferências adicionais de manutenção causadas pelo ajuste do Programa de Transição podem ter surtido algum efeito negativo em alguns sistemas da aeronave, em especial nos sistemas cuja mortalidade infantil aumentou.

Um outro fator que deve ser levado em consideração é a mudança na periodicidade das inspeções calendárias de dois anos para anual. Muito embora esta inspeção seja relativamente simples, quando comparada às horárias, a mudança na periodicidade representa uma intervenção de manutenção duas vezes maior na prática.

Vale ressaltar que, não obstante a maior parte dos sistemas ter tido redução na taxa de falha, os dois sistemas em que houve aumento no indicador devem ser tratados com maior atenção, especialmente o sistema de combustível, pela criticidade e impacto na segurança de voo. Sobre este sistema, a Embraer já havia realizado estudo de correção de falhas do sistema de combustível, o qual resultou na emissão do Boletim de Serviço BS 314-28-0023. Este boletim alterou a lógica de operação das bombas de combustível tendo em vista o alto índice de falha desses componentes no

sistema. Desse modo, é válido um estudo aprofundado desse sistema quanto à eficácia do novo programa de manutenção.

Figura 6: Valor absoluto das taxas de falha em  $t = 350$  horas de voo (base  $10^{-5}$ ).



Fonte: O próprio autor (2022)

Além disso, pode-se observar ainda do gráfico da figura 6 que o sistema com maior impacto na taxa de falha da aeronave é o sistema de trem de pouso, com um valor absoluto de 0,003 falha por hora de operação, representando 37,5% da taxa de falha do sistema, ainda que esse indicador tenha reduzido com o novo programa de manutenção. Com isso, para que haja uma redução ainda maior na taxa de falha da aeronave, recomenda-se um estudo específico de confiabilidade desse sistema.

Nesse contexto, as recomendações de estudos futuros para os sistemas de combustível e trem de pouso são fundamentais para aumentar a segurança da operação das aeronaves. Ademais, haverá ganhos de disponibilidade das aeronaves, uma vez que as falhas de ambos os sistemas não são de simples solução tendo em vista a complexidade de correção, abertura de acessos, o que aumenta o tempo de *downtime* de manutenção não programada.

Figura 7: Exemplo de tabelas do Programa de Transição com inclusão de cartões extras para aeronaves com diferentes fases do ciclo de vida. Cartões em azul foram cumpridos; em preto são do novo programa; e em amarelo são os cartões extras criados apenas para a transição.

INSPEÇÃO	A	2A	3A	4A	5A	6A	C	2C	3C
300 FH	A								
600 FH	A	2A							
900 FH	A		3A						
1200 FH	A	2A		4A					
1500 FH	A				5A				
1800 FH	A	2A	3A			6A			
2100 FH	A						7A		
2400 FH	A	2A		4A					
2700 FH	A		3A						
3000 FH	A	2A			5A		C		
3300 FH	A								
3600 FH	A	2A	3A	4A		6A			
3900 FH	A								
4200 FH	A	2A					7A		
4500 FH	A		3A		5A				
4800 FH	A	2A		4A					
5100 FH	A								
5400 FH	A	2A	3A			6A			
5700 FH	A								
5950 FH	A	2A		4A	5A				
6000 FH	A	2A	3A				C	2C	
6300 FH	A	2A	3A			6A			
6650 FH	A								
7000 FH	A	2A		4A	5A				

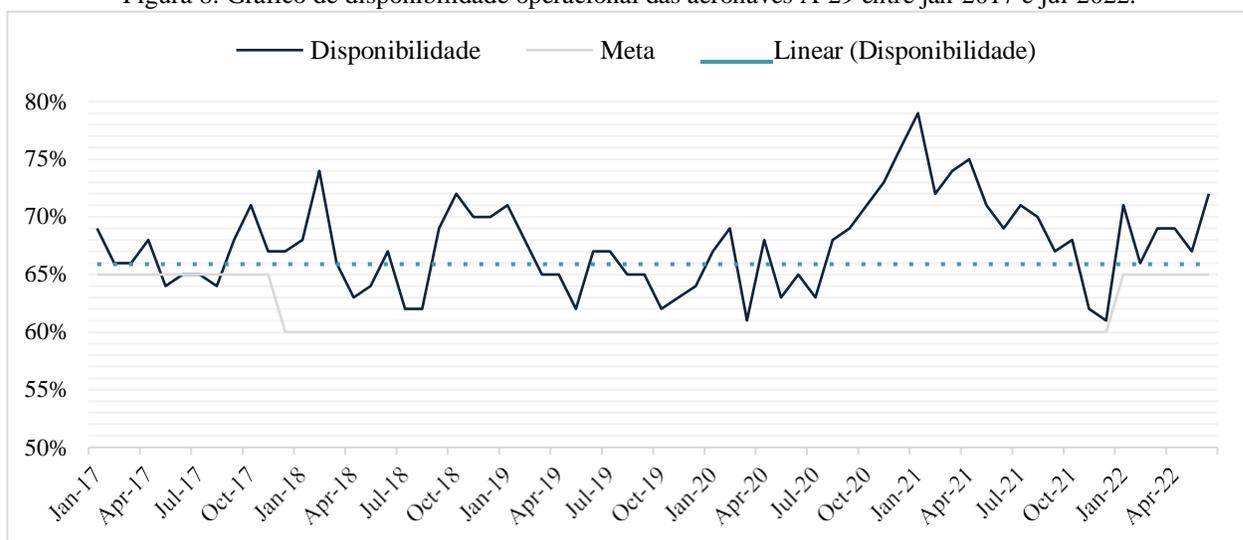
INSPEÇÃO	A	2A	3A	4A	5A	6A	C	2C	3C
300 FH	A								
600 FH	A	2A							
900 FH	A		3A						
1200 FH	A	2A		4A					
1500 FH	A				5A				
1800 FH	A	2A	3A			6A			
2100 FH	A						7A		
2400 FH	A	2A		4A					
2700 FH	A		3A						
3000 FH	A	2A			5A		C		
3300 FH	A								
3500 FH	A	2A	3A		5A				
3850 FH	A			4A		6A			
4200 FH	A	2A	3A	4A		6A			
4550 FH	A								
4900 FH	A	2A							
5250 FH	A		3A		5A				
5600 FH	A	2A		4A					
5950 FH	A								
6000 FH	A	2A	3A				C	2C	
6300 FH	A	2A	3A			6A			
6650 FH	A								
7000 FH	A	2A		4A	5A				

Fonte: BT LS 19 497 A-29 015 – Programa de Transição (2019)

## 4.2 DISPONIBILIDADE

Com relação ao indicador gerencial disponibilidade, os dados extraídos do SILOMS, referente ao período compreendido entre 2017 e 2022, mostram uma tendência crescente ao longo dos anos, especialmente nos anos 2020 e 2021, em que o indicador atinge a marca de 78%, maior valor do período.

Figura 8: Gráfico de disponibilidade operacional das aeronaves A-29 entre jan-2017 e jul-2022.

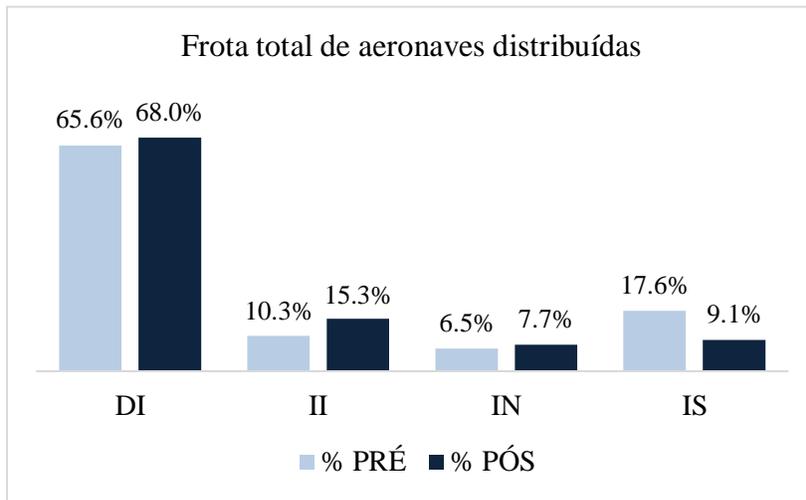


Fonte: O próprio autor (2022)

Os valores do gráfico da figura 8 são resultado da disponibilidade operacional, ou seja, estão incluídos no cômputo o *downtime* da frota relativo a manutenções programadas, não programadas, atrasos logísticos e administrativos (equação 4).

Nesse contexto, apenas com este gráfico, não é razoável inferir que o aumento no indicador disponibilidade tem interferência direta da alteração do programa de manutenção das aeronaves A-29. Dessa forma, foram analisados principais indicadores que compõem o resultado da figura 8. No SILOMS, eles são identificados como DI (disponibilidade), II (indisponibilidade por manutenção programada), IN (indisponibilidade por manutenção não programada) e IS (indisponibilidade por suprimento).

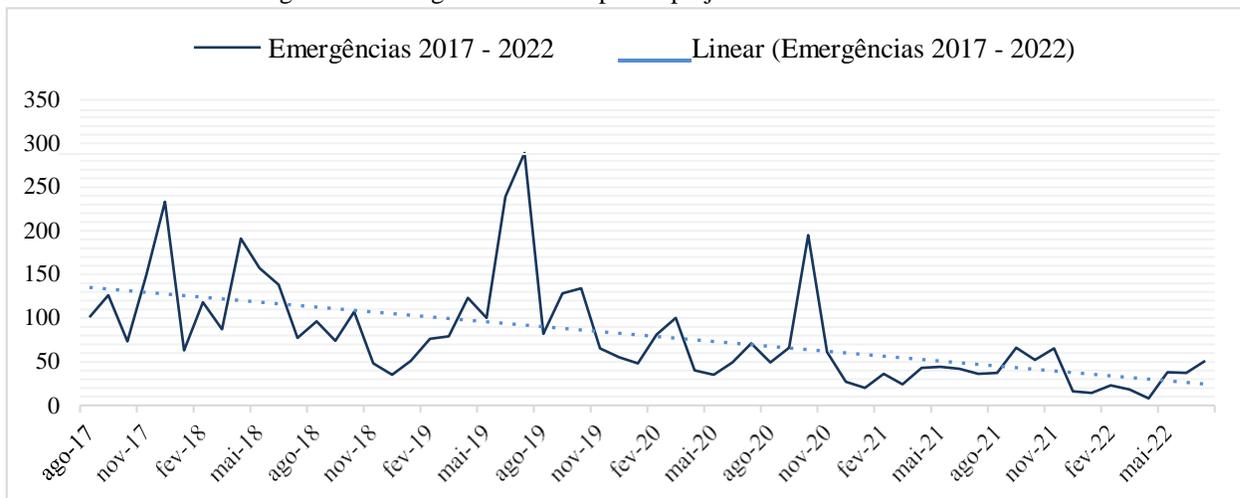
Figura 9: Comparativo entre os principais tipos de disponibilidade e indisponibilidades para toda a frota de aeronaves A-29 distribuídas.



Fonte: O próprio autor (2022)

O resultado da figura 9 mostra que o aumento de 2,4% na disponibilidade da frota é causado, sobretudo, pela redução da indisponibilidade por suprimento e não pela redução do *downtime* das manutenções, como poderia se supor. A redução do atraso logístico causado pela falta de suprimento pode ser explicada por uma gestão mais eficiente de material, que por sua vez é facilitada por um aumento no intervalo entre as inspeções. A alteração do programa, que aumentou o intervalo de inspeções, pode ter contribuído para uma melhora da gestão de material permitindo que o operador consiga se planejar de forma mais eficiente nos seus pedidos de material. Isso é evidenciado no gráfico da figura 10, que mostra como a quantidade de emergências abertas para o projeto A-29 reduziu entre 2017 e 2022.

Figura 10: Emergências abertas para o projeto A-29 entre 2017 e 2022



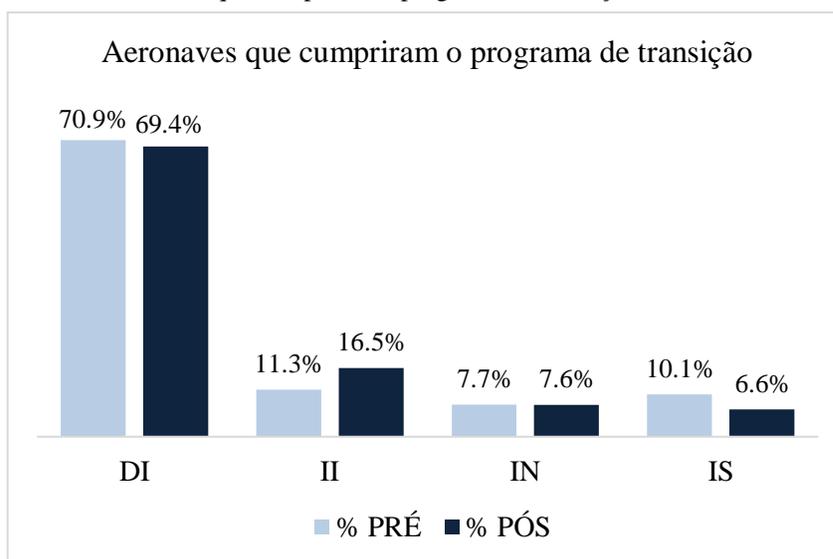
Fonte: O próprio autor (2022)

Um pedido de material em emergência ocorre quando um determinado projeto necessita de um material que não está disponível naquele momento e cuja falta esteja prejudicando a operação da aeronave ou uma linha de manutenção. Os indicadores mais comuns que retratam estas situações são IPLR (Item Parando Linha de Revisão) e AIFP (Aeronave Indisponível por Falta de Peça).

Com relação ao aumento de indisponibilidade por manutenções programadas e não programadas, deve-se considerar o Programa de Transição do BT LS 19 497 A-29 015. Embora o novo plano de manutenção altere os intervalos de parada de 300 para 350 horas, a transição para o novo programa onerou algumas inspeções ao incluir cartões de manutenção extras para adequação da frota, conforme discutido no item 4.1 e visualizado nas tabelas do BT LS 19 497 A-29 015 (figura 7), além de reduzir o intervalo das inspeções calendárias.

Desse modo, é possível inferir que o programa de transição, especialmente considerando os cartões adicionais, tem um impacto substancial no aumento da indisponibilidade por manutenção programada.

Figura 11: Comparativo entre os principais tipos de disponibilidade e indisponibilidades para as aeronaves que cumpriram o programa de transição.

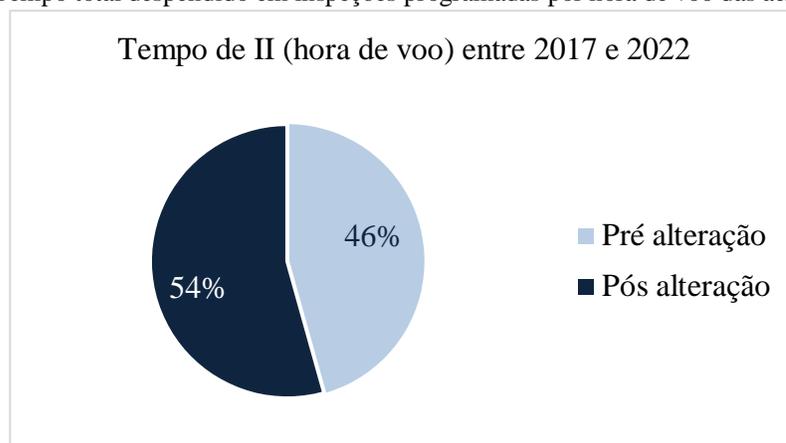


Fonte: O próprio autor (2022)

Com relação apenas às aeronaves que cumpriram o programa de transição e tiveram ao menos uma inspeção realizada com 350 horas de intervalo (figura 11), o resultado é similar ao anterior quanto às manutenções programadas. Contudo, o indicador de indisponibilidade por manutenção não programada tem uma leve queda, o que corrobora a análise de confiabilidade, já que houve uma redução na taxa de falhas do sistema.

Quando verificado o tempo total despendido nas inspeções programadas por hora de voo de toda a frota de aeronaves A-29 (figura 12), verificou-se uma correspondência de 46% para o período anterior à alteração do plano de manutenção e 54% para o período posterior, o que mostra um aumento no tempo de parada ocasionado pelos cartões adicionais do programa de transição.

Figura 12: Tempo total despendido em inspeções programadas por hora de voo das aeronaves A-29



Fonte: O próprio autor (2022)

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste momento, é oportuno retomar o objetivo deste trabalho, qual seja o de avaliar a eficácia da alteração do Programa de Manutenção da Frota de A-29, verificando se houve melhora no desempenho da frota no que diz respeito à confiabilidade do sistema, incidência de falhas e disponibilidade. De uma maneira geral, considerando o sistema aeronave, houve melhora em todos os critérios avaliados. Os gráficos de confiabilidade e taxa de falha registraram uma redução no índice de falhas em 42% quando operado acima de 80 horas de voo, e quanto à disponibilidade, o aumento registrado foi de 2,4% quando comparados os períodos anterior e posterior à alteração do programa de manutenção. Contudo, o estudo avaliou ainda a taxa de falha dos principais sistemas da aeronave, bem como os principais indicadores que configuram a disponibilidade operacional da frota. Nestes casos, não houve melhoria em todos os quesitos.

No que se refere à confiabilidade e incidência de falhas, o trabalho demonstrou que, apesar da redução na taxa de falha dos sistemas de comunicações, elétrico, trem de pouso e navegação, dois sistemas apresentaram aumento nesse indicador, que foram os sistemas de ar-condicionado e combustível, sendo este um sistema crítico para a aeronave. Além disso, os sistemas de comandos de voo e portas apresentaram uma taxa de falha mais alta nas primeiras horas de operação, representando maior mortalidade infantil do sistema pós alteração do programa de manutenção.

Com relação à disponibilidade da frota, demonstrou-se que o principal componente deste indicador que causou o seu aumento foi a redução da indisponibilidade por suprimento, o que representou uma melhoria na gestão de material do projeto A-29. Contudo, quando verificadas apenas as aeronaves que cumpriram o programa de transição e tiveram ao menos uma inspeção realizada com 350 horas de intervalo, o indicador de indisponibilidade por manutenção não programada também apresentou uma leve queda, o que corrobora a análise de confiabilidade, já que houve uma redução na taxa de falhas do sistema. Esta redução de manutenções corretivas, somada à consequente redução de IS, também foi verificada no trabalho desenvolvido por Silva (2013), o que mostra o impacto que alterações nos programas de manutenção têm na cadeia de suprimentos de projetos aeronáuticos.

É importante retomar aqui o impacto do programa de transição entre os planos de manutenção, uma vez que ele onera algumas inspeções, o que pode ter resultado em indução de falhas no sistema, sobretudo naqueles em que houve aumento na mortalidade infantil. Além disso,

ficou comprovado que ele impactou diretamente na disponibilidade da frota, já que em todas as análises houve aumento no tempo de parada para manutenção programada.

Por fim, este estudo requer uma análise mais aprofundada nos dois sistemas em que houve aumento no indicador taxa de falha, e devem, portanto, serem tratados com maior atenção, em especial o sistema de combustível, pela criticidade e impacto na segurança de voo. Ademais, ainda que tenha apresentado uma melhora na sua taxa de falha, foi identificado que o sistema com maior representatividade no índice de falhas da aeronave é o trem de pouso, com 37,5% da taxa de falha do sistema. Dessa forma, também se recomenda uma análise de confiabilidade específica para este sistema a fim de que sejam identificados seus principais modos de falha e, com isso, sejam propostas ações de manutenção que permitam uma maior confiabilidade desse sistema.

## REFERÊNCIAS

BLANCHARD, B.S. **Logistics Engineering and Management**. 6. ed. Harlow: Pearson Education Limited, 2014.

BRASIL. **MCA 66-7 Manual de Manutenção Doutrina, Processos e Documentação de Manutenção**. Comando da Aeronáutica. Estado Maior da Aeronáutica. Brasília, DF, 2017.

BRASIL. **MCA 400-15, Manual do Comando da Aeronáutica – Manutenção Centrada em Confiabilidade**. Comando da Aeronáutica. Estado Maior da Aeronáutica. Brasília, DF, 2006.

INTERNATIONAL MAINTENANCE REVIEW BOARD POLICY BOARD (2008) Ottawa, Canada – EASA; [accessed 2022 May 24]. <https://www.easa.europa.eu/document-library/imrbpb-issue-papers>

KINNISON, Harry A. **Aviation Maintenance Management**. Nova Iorque: McGraw-Hill, 2004.

MOUBRAY, John. **RCM II Reliability-Centered Maintenance II**. Oxford, UK: Industrial Press, 1997.

PARQUE DE MATERIAL AERONÁUTICO DE LAGOA SANTA – PAMA-LS. **BT LS 19 496 A-29 014 Programa de Manutenção das Aeronaves A-29**. Lagoa Santa, MG, 2019.

PARQUE DE MATERIAL AERONÁUTICO DE LAGOA SANTA – PAMA-LS. **BT LS 19 497 A-29 015 Plano de Transição para o Novo Programa de Manutenção da Aeronave A-29**. Lagoa Santa, MG, 2019.

SCANFONE, Leila; VASQUES, Letícia. **Guia de Estudos da disciplina Metodologia da Pesquisa**. Centro Universitário do Sul de Minas - UNIS. 2018

SILVA, Jardel Figueira. **Alteração do programa de manutenção do T-25: Impactos nos indicadores gerenciais**. Trabalho de Conclusão de Curso – EAOAR, Rio de Janeiro, 2013.