

PROGRAMAÇÃO DA MANUTENÇÃO: análise da Manutenção da Aeronave C-105

MAINTENANCE TASK SCHEDULING - C-105 aircraft maintenance analysis

Guilherme Martins de Andrade¹

Rachel Andrade Ballardin²

Daniel Cherobini³

RESUMO

Este trabalho analisa a manutenção da aeronave C-105, quando submetida a uma inspeção de nível parque. Uma vez que esse tipo de manutenção é extremamente complexo, e resulta em elevados custos e longos períodos da aeronave fora de serviço, foi identificada uma oportunidade de abordagem para estes eventos. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é avaliar individualmente as atividades de manutenção realizadas em uma inspeção nível parque da aeronave C-105, e aplicar metodologias de programação dessas atividades, como análise do caminho crítico e o *Optimized Production Technology*, que resultem na redução da duração total dessa inspeção. Este propósito será atingido ao realizar uma pesquisa exploratória acerca do assunto, que inclui uma pesquisa bibliográfica dos autores de referência além de uma pesquisa documental no âmbito da FAB para identificar as ferramentas existentes e dados históricos disponíveis, assim como pesquisa nos manuais do fabricante da aeronave. A análise permitiu identificar medidas que viabilizam a elaboração de um novo planejamento de manutenção, prevendo a redução de 8,5% na duração da inspeção, em comparação aos registros históricos observados desde a incorporação da aeronave na Força Aérea Brasileira. Além disso, foi possível criar uma programação que detalha o momento em que uma tarefa é executada, contendo duração, recursos necessários e condições da aeronave.

Palavras-chave: C-105. Método OPT. Caminho Crítico.

ABSTRACT

This study analyzes C-295 aircraft maintenance when it needs a depot-level inspection. As this type of maintenance is extremely complex, and results in high costs and long aircraft downtime, an opportunity to address these events was identified. The objective of this research is evaluate each maintenance task carried out in a C-295 depot check, and apply methodologies for programming these tasks, such as Critical Path Analysis and Optimizes Production Technology, which results in duration reduction of this check. This purpose will be achieved through a literature review of reference authors as well as a BrAF documentary research to identify existing tools and available historical data, in addition with a research in aircraft manufacturer's manual. The analysis allowed the identification of measures that enable the elaboration of a new maintenance planning, predicting an 8.5% reduction in inspection time, in relation to the historical records observed since

¹ Pós-graduação em Logística Empresarial, UNIS (2021). E-mail: andradegma@fab.mil.br.

² Doutora em Educação pela Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP/2016. Mestre em Engenharia Civil na área de concentração: Infraestrutura e gerência viária com ênfase em transportes pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC/ 2009. E-mail: ballardinchel@gmail.com

³ Graduação em Engenharia Mecânica-Aeronáutica pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (2009) e mestrado em Logística e Gestão da Cadeia de Suprimentos pelo *Air Force Institute of Technology* - USAF (2020). Atualmente, é consultor do Instituto de Logística da Aeronáutica (ILA), atuando principalmente nos seguintes temas: confiabilidade, programa de manutenção e logística. E-mail: cherobinidc@fab.mil.br.

its use began in the Brazilian Air Force. In addition, it was possible to create a schedule detailing when a task should be performed, containing the conditions, required resources and duration.

Keywords: C-295. OPT Method. Critical Path.

1 INTRODUÇÃO

A aeronave C-105 Amazonas, principal vetor aéreo responsável pela logística em zonas remotas da Amazônia, opera na Força Aérea Brasileira (FAB) desde 2007, quando foram adquiridas 12 unidades do modelo conhecido internacionalmente como EADS CASA C-295. Daquele momento até o ano de 2014, o Parque de Material Aeronáutico de São Paulo (PAMA SP) atuou como coordenador do projeto C-105 e executor de suas manutenções.

A partir do ano de 2014, as referidas atividades foram transferidas para o Parque de Material Aeronáutico do Galeão (PAMA GL), mais especificamente a contar de 3 de setembro, quando a primeira aeronave pousou naquele Parque, para manutenção programada.

Com a nova responsabilidade, os setores do PAMA GL prontamente se organizaram de modo que no ano de 2015, após um extenso e minucioso processo de manutenção, a primeira inspeção de uma aeronave C-105 foi finalizada. Nesta primeira experiência, inúmeras lições foram aprendidas e, desde então, o PAMA GL mantém-se empenhado em melhorar ainda mais os processos e, conseqüentemente, os resultados.

O PAMA GL leva cerca de 6 meses para concluir a inspeção da aeronave, porém, nos melhores cenários, já foi possível atingir marcas de conclusão de inspeção em 4,5 meses. Isto demonstra que o processo de manutenção da aeronave, apesar de amadurecido, ainda possui espaço para melhorias, e, dessa forma, sistemas de planejamento, programação e controle de produção podem trazer resultados expressivos para a organização.

Dessa forma, a presente análise se justifica, pela identificação de que, cada vez mais, tanto as empresas de referência em manutenção aeronáutica, quanto as Organizações Militares especializadas nessas atividades, aplicam as metodologias modernas de Planejamento e Controle de Produção, para garantir o sucesso de suas operações.

Nesta ótica, o objetivo deste trabalho é avaliar individualmente as atividades de manutenção realizadas em uma inspeção nível parque da aeronave C-105, e aplicar metodologias de programação dessas atividades, como análise do caminho crítico e o *Optimized Production Technology*, que resultem na redução da duração total dessa inspeção.

Para tal, será realizada uma pesquisa exploratória acerca da manutenção da aeronave C-105, por meio de pesquisa bibliográfica junto aos autores de referência sobre a administração da produção, dentre eles, Nigel Slack e sua equipe da *Warnick University*, sediada no Reino Unido, com uma relação estreita com o ambiente empresarial; Henrique L. Corrêa e Irineu G. N. Gianesi que incentivaram o desenvolvimento do tema no Brasil; e Eliyahu Goldratt, reconhecido por criar a filosofia por trás de um dos métodos explorados. Por fim, será conduzida uma pesquisa documental no âmbito da FAB para identificar as ferramentas existentes e dados históricos disponíveis, assim como pesquisa nos manuais do fabricante da aeronave.

2 PLANEJAMENTO, PROGRAMAÇÃO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

Para iniciar a pesquisa proposta neste artigo, torna-se necessária uma revisão bibliográfica sólida, contemplando os principais autores e metodologias existentes na área. Após essa etapa é possível observar o desafio da linha de produção do C-105, com uma visão técnica e especializada, possibilitando um melhor entendimento do cenário atual.

Segundo Corrêa e Giansesi (2007) o papel da produção intraorganizacional mudou consideravelmente nas últimas décadas, devido a três motivos:

- a) Houve alterações substanciais no panorama competitivo mundial com o surgimento de novos competidores, competindo em bases muito diferentes daquelas vigentes, o que forçou a indústria do mundo ocidental, até então acomodada na sua posição de liderança, a repensar suas práticas;
- b) Houve desenvolvimento acelerado de novas tecnologias de processo que representam um potencial competitivo formidável, mas que demandam alterações substanciais na forma de gerenciar os sistemas produtivos que delas utilizam; e
- c) Houve progresso notável no entendimento da contribuição que a produção pode dar ao poder de competitividade da organização (CORRÊA e GIANESI, 2007, p.38).

De acordo com Slack *et al* (2008), para toda organização que visa sucesso a longo prazo, a função produção é imprescindível, uma vez que fornece à Organização eficiência e eficácia na execução das atividades. Ainda para o autor, o sucesso é obtido devido a cinco critérios competitivos de desempenho (ou objetivos de desempenho, segundo outros autores), quais sejam: qualidade, rapidez, confiabilidade, flexibilidade e custos.

Na visão de Corrêa e Giansesi (2007), não há como um sistema produtivo obter desempenho excelente, ao mesmo tempo, em todos os critérios competitivos, e por este motivo a produção deve concentrar ações e recursos para alcançar excelência de desempenho em um ou dois critérios competitivos prioritários. Nesse contexto, o sistema de Planejamento, Programação e Controle da Produção (PPCP), ganhou importância na indústria moderna, na medida em que buscava a excelência por meio da melhoria de processos de produção.

De acordo com Martins e Laugeni (2005), o PPCP é um instrumento de decisão da manufatura que recebe informações sobre estoques existentes, vendas previstas, linha de produtos, modo de produzir e capacidade produtiva, e tem como objetivo transformar este conjunto de informações em ordens de fabricação. É, ainda, um sistema de informações relacionado à estratégia de manufatura que apoia a tomada de decisões táticas e operacionais, referentes às questões de “o quê”, “quanto” e “quando” produzir e comprar, além de observar com que recursos produzir.

Dessa forma, tendo como base a capacidade do sistema de PPCP, vários outros sistemas se desenvolveram ao longo do tempo e se adaptaram às formas de produção de cada organização. Dentre eles, pode-se destacar o *Just In Time* (JIT), o *Material Requirement Planning* (MRP I), *Manufacturing Resource Planning* (MRP II) e o *Optimized Production Technology* (OPT).

Na visão de Corrêa e Giansesi (2007), a Filosofia JIT diferencia-se da abordagem tradicional de administrar a produção, uma vez que os estoques são considerados nocivos por ocuparem espaço, representarem altos investimentos de capital, e principalmente por esconderem ineficiências do processo produtivo, como problemas de qualidade, altos tempos de preparação de máquina para troca de produtos e falta de confiabilidade de equipamentos.

Já o sistema MRP I, de acordo com Slack *et al* (2008), originalmente data dos anos 60 e permite que as empresas calculem quantos materiais de determinado tipo são necessários, e em que momento. Para fazer isso, ele utiliza os pedidos em carteira, assim como uma previsão para os pedidos que a empresa acha que irá receber. O MRP I verifica, então, todos os componentes que são necessários para completar esses pedidos, garantindo que sejam providenciados a tempo.

Por outro lado, não se limitando apenas a recursos materiais, foi desenvolvido o MRP II com o foco nos demais recursos de manufatura. Na ótica de Corrêa e Giansesi (2007), para que ficasse claro que se tratava apenas de uma extensão do conceito do MRP I original, o novo MRP I passou a chamar-se MRP II, com a sigla agora significando, de forma mais abrangente, *Manufacturing Resources Planning*, ou seja, planejamento dos recursos de manufatura. Nessa

mesma linha, Martins e Laugeni (2005) esclarecem que o MRP II é uma extensão do MRP I com a inclusão de recursos como: mão-de-obra, equipamentos, instalações, entre outros.

O último sistema a ser analisado é o OPT, que é uma técnica de gestão de produção desenvolvida por um grupo de pesquisadores israelenses, do qual fazia parte o físico Eliyahu Goldratt. De acordo com Corrêa e Gianesi (2007), a filosofia OPT aponta que para ganhar mais dinheiro, é necessário que, no nível da fábrica, se aumente o fluxo e ao mesmo tempo se reduzam os estoques e as despesas operacionais.

Nesse sentido, Slack *et al* (2008) esclarecem que existem certos princípios por trás do OPT, os quais concentram seu foco nos gargalos:

- a) balanceie o fluxo, não a capacidade;
- b) o nível de utilização de um não gargalo é determinado por alguma outra restrição do sistema, não por sua capacidade;
- c) utilização e ativação de um recurso não são sinônimas;
- d) uma hora perdida num recurso gargalo é uma hora perdida para sempre em todo o sistema;
- e) uma hora poupada num recurso não gargalo é uma miragem;
- f) os gargalos governam tanto a produção como os estoques do sistema;
- g) o lote de transferência pode não ser, e muitas vezes não deveria ser, igual ao lote de processamento;
- h) o lote de processamento deveria ser variável, não fixo;
- i) os lead times são resultados da programação e não podem ser determinados a priori;
- j) os programas devem ser estabelecidos olhando-se todas as restrições simultaneamente (SLACK *et al*, 2008, p.349).

Segundo Martins e Laugeni (2005), o OPT não deve ser visto como alternativa ao MRP, mas sim um complemento, principalmente pela simplicidade na focalização das restrições críticas ou gargalos, o que, conseqüentemente, poupa esforços nos locais não-gargalo. Ainda sobre o referido sistema:

[...] utiliza a terminologia do “tambor, pulmão e corda” para explicar sua abordagem de planejamento e controle. Utilizando o OPT, o centro de trabalho gargalo transforma-se num tambor, batendo o ritmo para o restante da fábrica. Este ritmo determina a programação de setores não gargalo, puxando o trabalho na linha (a corda) de acordo com a capacidade do gargalo e não a capacidade do centro de trabalho. Nunca deveria ser permitido trabalhar um gargalo a menos do que a capacidade máxima; conseqüentemente, pulmões de estoque deveriam ser colocados antes do gargalo, de modo a garantir que ele nunca pare por falta de trabalho (SLACK *et al*, 2008, p.349).

Além das ferramentas descritas por autores de referência no assunto, é possível observar estudos específicos para o planejamento da manutenção aeronáutica de empresas de aviação.

Dinis *et al* (2019) estabeleceram um *framework* utilizando os dados históricos de 372 projetos de manutenção de aeronave em uma empresa de manutenção em Portugal, desenvolvendo uma metodologia que considera as variáveis *espaço - tempo - especialidade* em um projeto de manutenção.

Kulkarni *et al* (2017) observaram os desafios enfrentados pelo planejamento da manutenção aeronáutica, como: escopo significativo de atividades não programadas; necessidade de remoção de peças de outras aeronaves para atender os prazos de conclusão das fases; diferença entre a quantidade de horas de trabalho previsto pelo fabricante e o empreendido pelos técnicos; não comunicação do término de uma tarefa quando finalizada antes do prazo; e concorrência de recursos em um ambiente de multiprojetos.

Samaranayake *et al* (2012) relataram que cerca de 50% do escopo de um projeto de manutenção é identificado apenas em inspeções realizadas durante a execução da manutenção da aeronave. Em adição, postularam que as consequências das atividades não programadas podem ser prontamente mitigadas por meio de uma capacidade de planejamento futuro, construída em uma estrutura que integra as principais funcionalidades das técnicas *Critical Path Method* (CPM), MRP e *Production Activity Control* (PAC).

Dessa forma, tendo em vista a extensão dos estudos que abordam o assunto, este trabalho busca identificar uma ferramenta ideal para aprimorar o desempenho da linha de manutenção do C-105, sediada no PAMA GL, com foco no critério de velocidade.

3 MATERIAL E MÉTODO

Os dados obtidos no estudo foram coletados por meio de uma pesquisa exploratória, observando os sistemas envolvidos na manutenção da aeronave C-105. As pesquisas exploratórias:

[...] têm como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses. Pode-se dizer que estas pesquisas têm como objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. Seu planejamento é, portanto, bastante flexível, de modo que possibilite a consideração dos mais variados aspectos relativos ao fato estudado. [...] Embora o planejamento da pesquisa exploratória seja bastante flexível, na maioria dos casos assume a forma de pesquisa bibliográfica ou de estudo de caso (GIL, 2002, p.41).

Para isso, este trabalho considerou uma pesquisa bibliográfica junto aos autores referência no assunto, além de pesquisa documental nos sistemas utilizados pela FAB e nos manuais do fabricante da aeronave.

A pesquisa bibliográfica:

[...] é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos. Embora em quase todos os estudos seja exigido algum tipo de trabalho dessa natureza, há pesquisas desenvolvidas exclusivamente a partir de fontes bibliográficas (GIL, 2002, p. 44).

A pesquisa documental assemelha-se muito à pesquisa bibliográfica:

A diferença essencial entre ambas está na natureza das fontes: Enquanto a pesquisa bibliográfica se utiliza fundamentalmente das contribuições dos diversos autores sobre determinado assunto, a pesquisa documental vale-se de materiais que não recebem ainda um tratamento analítico, ou que ainda podem ser reelaborados de acordo com os objetos da pesquisa (GIL, 2002, p. 45).

Dessa forma, por meio da metodologia descrita, foi cumprido o objetivo específico deste trabalho, de aprimorar o desempenho da linha de revisão do PAMA GL, responsável por executar a manutenção de terceiro nível da aeronave C-105. O foco recai sobre o indicador de velocidade, buscando manter inalterados os demais indicadores: qualidade, confiabilidade, flexibilidade e custos.

3.1 MANUTENÇÃO DA AERONAVE C-105

Inicialmente, cumpre evidenciar que a manutenção de terceiro nível da aeronave C-105 é subdividida em pacotes de inspeção, também conhecidos como *Check*. Cada um destes pacotes

reúne um conjunto de tarefas de manutenção específicas, que possuem um prazo de vencimento em comum. Este prazo de vencimento pode estar vinculado ao tempo calendário, às horas de voo da aeronave (*Flight Hour* - FH) ou à quantidade de ciclos da aeronave (*Flight Cycles* - FC). Os pacotes são estabelecidos considerando o perfil de operação da aeronave, que contempla a quantidade média de horas de voo por ano e a quantidade média de horas de voo por ciclo.

A tabela a seguir descreve cada pacote de inspeção, considerando o perfil de operação da FAB, e seus respectivos intervalos de cumprimento.

Tabela 1: Pacotes de Inspeção da aeronave C-105 e seus intervalos de vencimento.

Pacotes de Inspeção	Intervalo de Vencimento
<i>Check 1C</i>	2400 FH ou 1440 dias
<i>Check 2C</i>	4800 FH ou 2880 dias
<i>Check 2Y</i>	720 dias
<i>Check 4Y</i>	1440 dias
<i>Check 8Y</i>	2880 dias
<i>Check 1A</i>	300 FH ou 240 dias
<i>Check 2A</i>	600 FH ou 480 dias
<i>Check 3A</i>	900 FH ou 720 dias

Fonte: C-105 *Maintenance Planning Document*.

Além dos pacotes descritos acima, há outras atividades menos relevantes em termos de quantidade de tarefas e tempo de execução, que, para simplificar a análise, não serão consideradas, como o *Check S*, *Check 72 FH*, *Check 100 FH*, *Check 300 FH*, *Check 400 FH* e *Check 3000 FH*.

Por outro lado, também fazem parte das inspeções de terceiro nível da aeronave as tarefas fora de fase. Elas carregam esse nome por não terem o seu vencimento compatível com os pacotes de inspeção estabelecidos, com base no perfil de operação da frota. Dessa forma, essas tarefas são analisadas separadamente, quanto à sua necessidade de cumprimento.

Somando-se às tarefas e pacotes mencionados anteriormente, o PAMA GL também soluciona as discrepâncias que o operador observa durante a operação da aeronave, as quais ficam relatadas no Livro de Registro da Aeronave (LRA). Essas discrepâncias são específicas para cada avião, possuindo peculiaridades na sequência lógica para a sua resolução, e, dessa forma, não serão consideradas neste estudo.

Em complemento, também faz parte da inspeção de terceiro nível, a substituição de componentes controlados. Como o próprio nome diz, esses componentes possuem um controle individual, que carrega informações desde a sua revisão geral, ou até mesmo desde a sua fabricação. Como cada componente possui o seu próprio controle, é feita uma análise minuciosa de todos os componentes controlados instalados na aeronave, de forma a identificar aqueles que precisam ser substituídos na inspeção de terceiro nível.

Por fim, também são consideradas as ações de manutenção adicionais, motivadas por Diretrizes de Aeronavegabilidade (DA). Essas intervenções podem ser específicas para cada aeronave, dependendo das condições de operação, ou podem ser aplicadas a toda a frota. Assim como as tarefas fora de fase, as Diretrizes de Aeronavegabilidade possuem vencimentos específicos ou podem estar associadas à próxima inspeção da aeronave, em determinado nível. Além disso, essas Diretrizes podem conter tarefas repetitivas, ou seja, realizadas a cada intervalo de tempo, horas de voo ou ciclos, com uma possível ação final que as extingue.

Nesse sentido, após uma sucinta explanação das atividades realizadas em uma manutenção de terceiro nível do C-105, buscou-se uma ferramenta ideal para aprimorar o desempenho da linha de revisão desta aeronave, considerando um projeto que englobe os pacotes: *Check 1C*, *Check 4Y*, *Check 2Y*, *Check 3A*, *Check 2A* e *Check 1A*.

3.2 SISTEMAS DE PROGRAMAÇÃO, PLANEJAMENTO E CONTROLE EXISTENTES

Com o desenvolvimento dos planos de manutenção das aeronaves, foi observada uma tendência em reduzir cada vez mais o escopo das manutenções, e, para que isso pudesse ser alcançado, cada tarefa de manutenção passou a ser avaliada individualmente. Essa análise individual possibilitou definir, para cada tarefa, um intervalo máximo de operação, ou tempo decorrido, para que a aeronave pudesse operar de forma segura.

A programação, planejamento e controle desse programa de manutenção, com tarefas cada vez mais individualizadas, se tornou então um desafio para os sistemas existentes e para os gestores da manutenção. Nesse sentido, a FAB buscou soluções para atender a essa demanda.

A principal ferramenta utilizada pela FAB para a programação, planejamento e controle da manutenção de terceiro nível das aeronaves é o Sistema Integrado de Logística de Materiais e de Serviços (SILOMS), que, em conjunto com o Livro de Registro da Aeronave (LRA), possui todas as informações necessárias para garantir a rastreabilidade das informações de manutenção, bem como programar e planejar as próximas inspeções de manutenção.

Antes de uma aeronave iniciar uma manutenção programada no PAMA GL, são observados quais pacotes e atividades de manutenção devem ser executados, de acordo com seus respectivos intervalos de vencimento e com o histórico de operação da aeronave. Ao considerar todas essas atividades de manutenção, o setor de planejamento define fases de manutenção para a aeronave, que, normalmente, contemplam:

Tabela 2: Fases da Inspeção da aeronave C-105.

Fase	Descrição
1	Recebimento da aeronave
2	Limpeza
3	Preservação de Sistemas
4	Programa Zonal
5	Programa Estrutural
6	Diretivas Técnicas
7	Programa <i>System and Powerplants</i>
8	<i>Checks</i> Operacionais
9	Limpeza para Pintura
10	Pintura
11	Pesagem
12	Ensaio em Voo
13	Entrega da Aeronave

Fonte: SILOMS.

Com as fases definidas, cada bloco ou atividade de manutenção é dividido e sequenciado em tarefas, e essas tarefas são associadas a cada fase. Dessa forma, é possível distribuir as centenas

de tarefas de manutenção e controlar a evolução do projeto de manutenção, tendo em vista os *checkpoints* alcançados após o término de cada fase.

Mesmo com o nível de programação e planejamento existente, observa-se a necessidade de aperfeiçoar o detalhamento de algumas fases, considerando o seu escopo de tarefas, os recursos disponíveis, e as condições em que a aeronave deve estar, para possibilitar ou impedir a execução das tarefas.

Na prática atual observa-se que o Coordenador de Manutenção, militar que atua na linha de revisão do C-105, analisa as condições em que a aeronave se encontra, bem como a disponibilidade dos recursos e, dessa forma, inviabiliza ou prossegue com a execução do rol de tarefas. Essa verificação é realizada semanalmente, e o Coordenador de Manutenção torna-se o principal ator a definir a ordem das tarefas.

Esta prática possui aspectos positivos, como a simplicidade e a adaptabilidade, e é uma solução adotada quando os recursos são escassos ou compartilhados com outros projetos. Entretanto, o aspecto negativo observado é a inviabilidade de se determinar um prazo de entrega confiável, além da dificuldade em se definir e priorizar um caminho crítico.

Outro desafio encontrado é a quantidade excessiva de retrabalho para alterar as condições da aeronave, na medida em que as tarefas apresentam a possibilidade de serem cumpridas. A título de exemplo, uma aeronave pode acabar sendo energizada e desenergizada repetidas vezes, ou, ainda, posicionada e removida de macacos hidráulicos para a execução de outras atividades de manutenção, sendo que tais condições poderiam ser estabelecidas apenas uma única vez.

Dessa forma, observa-se nesse procedimento a característica de um sistema empurrado. Assim que a aeronave apresenta as condições necessárias para a execução de uma tarefa, e encontram-se disponíveis os recursos essenciais, ela é indicada para execução, independentemente se aquela tarefa faz parte do caminho crítico ou não.

Essa prática ganhou força no sistema de manutenção da FAB, no entanto, é sabido que é uma metodologia primitiva, que precisa ser aperfeiçoada ou substituída para alcançar os níveis de produção observados no mercado atual.

3.3 ANÁLISE DE DADOS

Para executar o planejamento da manutenção, foi elaborada uma planilha contendo todas as tarefas a serem cumpridas nos Pacotes A, 2A, 3A, 2Y, 4Y e C, totalizando 538 ações de manutenção. Essa planilha consolidou as informações extraídas do manual de execução de cada tarefa, que traz consigo as condições da aeronave, os acessos que devem ser abertos, as ferramentas necessárias, e os itens de consumo gastos. Os manuais também expõem a expectativa de homem-hora necessário e a quantidade mínima de técnicos para a execução da maioria das tarefas.

Em seguida, foi realizada a estimativa das horas de trabalho das tarefas que não traziam essa informação. Um aspecto que chama a atenção na análise é a disparidade entre duas fontes de valor para a duração da tarefa de manutenção: a indicada pelo fabricante da aeronave $T_{\text{FABRICANTE}}$; e a obtida pelas médias históricas registradas pelo PAMA GL. Foi observado haver um período fixo adicional a cada cartão, relativo ao tempo gasto para levantamento do sistema, impressão do manual, leitura, preparação da atividade e conclusão da tarefa no sistema. Além disso, há um atraso proporcional ao tamanho da tarefa, devido a ocorrência de ensino simultâneo à execução, falta de equipamentos de suporte ideais e interrupções recorrentes.

Dessa forma, por meio de uma aproximação dos dados da última inspeção, foi adotada a seguinte fórmula para o cálculo da duração real da tarefa de manutenção (T_{REAL}).

$$\text{Equação 01: } T_{\text{REAL}} = 2 \times T_{\text{FABRICANTE}} + 30 \text{ min}$$

Em seguida, foi definido o nível de qualificação necessária para a execução de cada tarefa. No contexto da manutenção do C-105 no PAMA GL, a qualificação foi dividida em 3 níveis: Inspetor, Técnico e Auxiliar.

O nível Inspetor é o de maior qualificação técnicas, e é subdividido nas seguintes categorias: inspetor de elétrica (INSP.ELE), eletrônica e instrumentos (INSP.ELT), estruturas (INSP.EST), célula (INSP.CEL), pneumática (INSP.PNE), hidráulica (INSP.HID), combustíveis (INSP.COM), equipamentos em voo (INSP.EQV), motores (INSP.MOT) e hélices (INSP.HEL). A eles são atribuídas as tarefas de inspeção zonal, inspeção de sistemas e inspeções estruturais.

O nível Técnico é subdividido em Aviônica (TEC.AVI), Airframe (TEC.AFR) e Grupo Motopropulsor (TEC.GMP). A eles são atribuídas as tarefas de correção das discrepâncias observadas nas inspeções, preparação da aeronave, aberturas de acessos, testes funcionais, testes operacionais, lubrificação, substituição/descarte de componentes, limpeza de áreas sensíveis e repletamento de fluidos e gases.

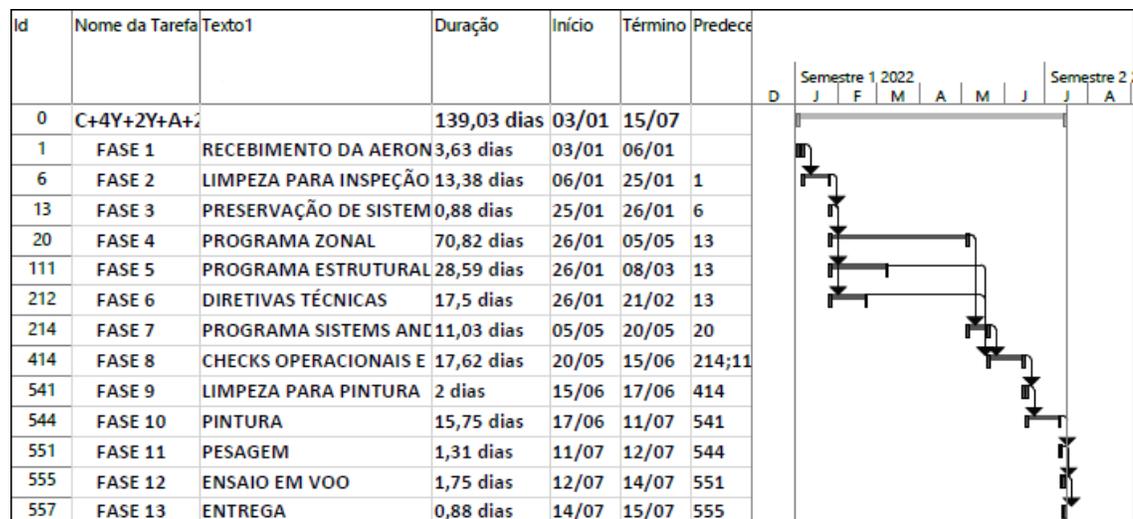
O nível Auxiliar é aquele sem qualificação específica, e executam tarefas como lavagem simples, lixamentos de superfícies, transporte de ferramentas e bancadas, além de limpeza de regiões não sensíveis.

Por fim, as tarefas foram distribuídas utilizando o *software* de planejamento e controle MICROSOFT PROJECT 2016, seguindo uma rotina de trabalho 35 horas por semana, desconsiderando o trabalho durante os fins de semana, que é reservado para os *buffers* ou pulmões do projeto. Por meio da interface do *software* foi possível evidenciar os caminhos críticos, bem como a distribuição de recursos no decorrer do projeto. Nesse sentido, foram realizadas iterações para melhorar o desempenho da velocidade do projeto.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

No primeiro planejamento, foram seguidas as 13 fases utilizadas no SILOMS e as tarefas foram distribuídas considerando um inspetor, três técnicos e um auxiliar de cada subespecialidade. A figura a seguir mostra o gráfico de Gantt que resume a programação do projeto.

Figura 1: Gráfico de Gantt que resume o projeto.



Fonte: O próprio autor (2021).

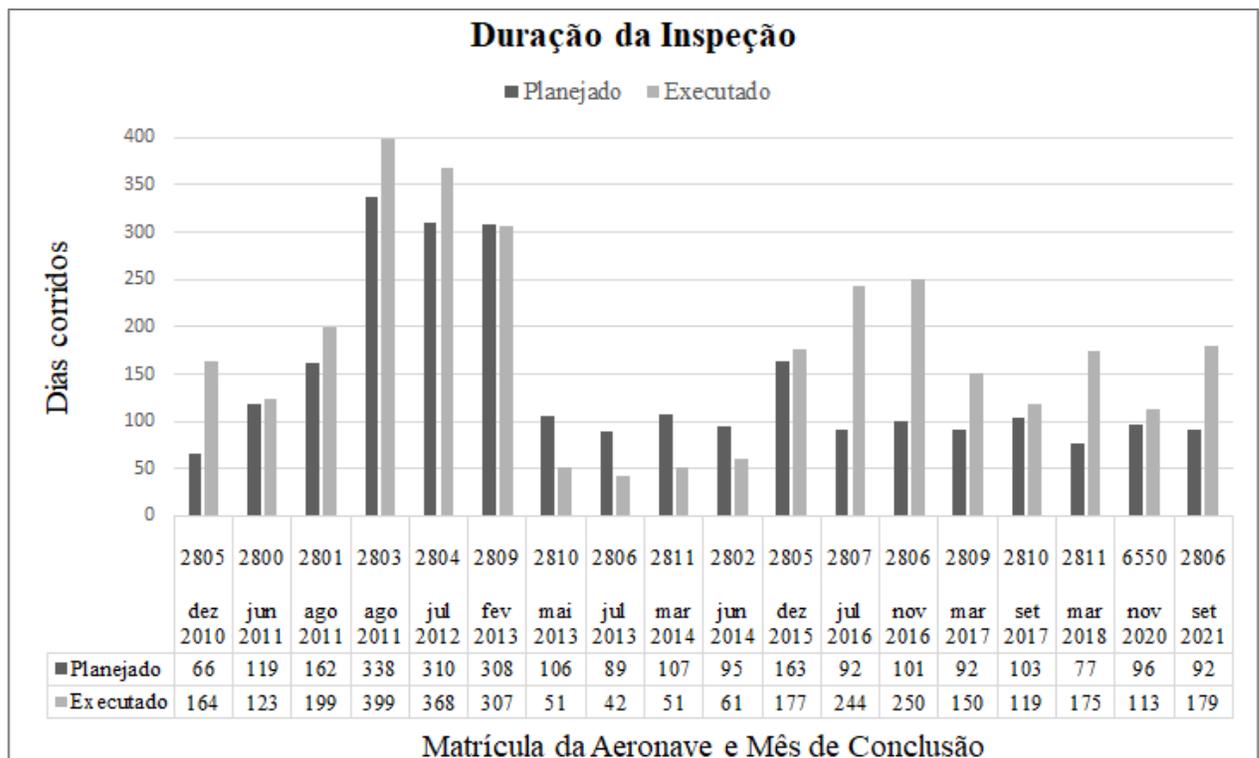
Tabela 3: Duração da inspeção em cada cenário

Cenário	Duração da Inspeção (dias corridos)	Redução da duração em relação ao cenário anterior	Redução da duração em relação ao cenário inicial
0	194	-	-
1	185	5%	5%
2	137	26%	29%
3	129	6%	34%

Fonte: O próprio autor (2021).

Após a otimização realizada, foi possível comparar o planejamento proposto, em relação aos dados de manutenções passadas do C-105, disponíveis no SILOMS. Os resultados históricos do PAMA SP e PAMA GL estão representados no histograma e tabela a seguir, que contém informações desde o ano de 2010. As manutenções das seguintes aeronaves não serão consideradas, no entanto: aeronave 2807, em abril de 2013, uma vez que realizou um grande reparo devido a um pouso placado; aeronave 2808, em fevereiro de 2015, por ter sido concluída após a desmobilização da linha de manutenção do PAMA SP, sendo a última aeronave entregue por este Parque; e aeronave 2800, em dezembro de 2014, por ter sido a primeira realizada pelo PAMA GL. Além disso, as inspeções das matrículas 2803, 2802, 2800 e 2805, concluídas nos anos entre 2019 e 2021 também serão descartadas por terem iniciado em um momento de escassez de equipamentos reparáveis para a aeronave que causou impacto significativo em seus prazos de entrega.

Figura 3: Histórico de Duração das Inspeções



Fonte: SILOMS.

Tabela 4: Histórico de Duração das Inspeções

Aeronave	Mês de Término	H/h	Planejado (dias corridos)	Executado (dias corridos)
2805	dez 2010	1709:56	66	164
2800	jun 2011	384:53	119	123
2801	ago 2011	2286:06	162	199
2803	ago 2011	6377:58	338	399
2804	jul 2012	13422:13	310	368
2809	fev 2013	9115:35	308	307
2807*	abr 2013	3077:20	528	584
2810	mai 2013	1806:17	106	51
2806	jul 2013	1850:10	89	42
2811	mar 2014	2095:16	107	51
2802	jun 2014	2752:48	95	61
2800*	dez 2014	7549:34	301	334
2808*	fev 2015	10338:37	614	947
2805	dez 2015	9645:46	163	177
2807	jul 2016	13647:02	92	244
2806	nov 2016	14586:27	101	250
2809	mar 2017	9233:32	92	150
2810	set 2017	9109:13	103	119
2811	mar 2018	11700:16	77	175
2803*	mar 2019	40716:50	1599	1588
2802*	mar 2020	34853:05	1863	1866
6550	nov 2020	5797:50	96	113
2800*	mar 2021	22253:12	718	730
2805*	jul 2021	19014:06	512	529
2806	set 2021	14026:38	92	179
Média		7197:06	140	176

(*) inspeções não consideradas por terem ocorrido em cenários incomuns.

Fonte: SILOMS.

Nota-se que a duração da inspeção planejada possui um tempo médio de 140 dias corridos, que é 8,5% acima dos 129 dias corridos otimizados pelo cenário 3. Entretanto, é possível notar algumas situações especialmente desafiadoras, como a da aeronave 2806, concluída em setembro de 2021, em que se havia planejado uma duração de 92 dias. Posteriormente, tal prazo foi considerado inviável, devido à escassez de recursos disponíveis no PAMAGL à época, de forma que essa inspeção teve a duração real de 179 dias.

Por outro lado, observa-se que a duração real da inspeção possui uma média de 176 dias corridos, que é razoável em relação ao “Cenário 3”, uma vez que podem ocorrer restrições que não foram contempladas no planejamento otimizado, tais como indisponibilidades de recursos, ações não programadas significativas, ou impossibilidade de se executar cartões no momento programado por restrições físicas não contempladas.

Para avaliar a quantidade de tarefas não programadas, também foram observados a quantidade de horas de trabalho planejadas para consumo na inspeção, frente àquela registrada

historicamente. Pela programação realizada, foram contabilizadas cerca de 2758 horas de trabalho para o cumprimento das tarefas programadas, enquanto os dados históricos para esse tipo de inspeção registaram uma média de 7197 horas. A diferença entre o registrado e o programado representa, em sua maioria, atividades não programadas (aproximadamente 4438 horas), uma vez que este estudo realizou as simplificações detalhadas anteriormente no item 3.1.

Ao calcular a razão entre as horas de trabalho com tarefas não programadas sobre as programadas, o valor de 1,6 é encontrado. Observa-se que essa razão é próxima ao valor calculado por Diniz *et al* (2019) na aviação civil, em inspeções 2C, 3C e 4C.

Também cumpre destacar o aumento significativo do consumo de recursos de trabalho com a transferência da manutenção do PAMA SP para o PAMA GL, sendo que o primeiro possuía uma média de 4180 horas de trabalho por inspeção, enquanto o segundo passou ao patamar de aproximadamente 10968. Este fato pode ser resultado do envelhecimento da aeronave, que aumenta a taxa de discrepâncias encontradas nas inspeções, e também pelo fato do PAMA GL ter realizado entre os anos de 2015 e 2018 um ciclo de inspeções 2C, que possuem tarefas adicionais em relação ao escopo da inspeção 1C. Entretanto, não se pode descartar a hipótese de que o treinamento da equipe do PAMA GL, durante a transição da gestão da manutenção, tenha sido insuficiente para manter o desempenho anteriormente alcançado pelos mantenedores do PAMA SP.

Um fato preocupante é que, caso sejam consideradas as manutenções realizadas nos últimos dois anos, relativas às aeronaves 2803, 2802, 2800, 2805 e 2806, obtém-se uma média de 26172 homem-hora por aeronave, valor que representa quase quatro vezes a média histórica. Dessa forma, recomenda-se um estudo dedicado para analisar essa tendência.

Por fim, os gargalos da manutenção da aeronave foram identificados, focando na melhoria dos processos que os permeiam. Por conseguinte, foi viabilizada uma melhoria no tempo da inspeção, mantendo as demais condições inalteradas. Além disso, foi possível estabelecer um planejamento, com um nível adequado de precisão, que permite realizar o controle das tarefas em cada momento, segundo a doutrina do MRP II. Assim, os resultados do estudo permitem embasar a justificação de eventual adoção de turnos adicionais, bem como obter uma estimativa mais realista para o prazo de entrega da aeronave, tendo em vista as constantes variações de disponibilidade de recursos no decorrer do projeto.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Realizar manutenções em uma aeronave, para atender requisitos de segurança é um desafio complexo e caro. Além disso, enquanto a aeronave está fora de serviço, um notável prejuízo por imobilização de ativos é proporcionado à FAB. Atualmente, o PAMA GL realiza as inspeções C da aeronave C-105, que é considerada uma manutenção pesada, com intervenções severas na aeronave e longo período em manutenção.

Nesse sentido, torna-se oportuno resgatar o objetivo inicial do trabalho, de avaliar individualmente as atividades de manutenção realizadas em uma inspeção nível parque da aeronave C-105, e aplicar metodologias de programação dessas atividades, como análise do caminho crítico e o *Optimized Production Technology*, que resultem na redução da duração total dessa inspeção.

Dessa forma, o projeto pôde ser programado e detalhado, identificando cada tarefa de manutenção, com suas respectivas condições, recursos humanos e materiais, além do respectivo tempo de cumprimento. Tal fato possibilitou identificar gargalos e obter melhorias na programação, graças a combinação do método OPT com o MRPII.

Também foram realizadas comparações com os dados históricos existentes, evidenciando que a programação obtida neste estudo está alinhada com o praticado. Entretanto, com a aplicação

dos métodos descritos, oportunidades de melhorias foram identificadas, como as alternativas propostas nos cenários avaliados, as quais representaram uma redução de 8,5% em relação à média de duração histórica planejada.

Nesse sentido, por meio da programação estabelecida, é possível o controle do projeto pelos coordenadores de uma forma transparente e inequívoca. Esta ação permite coordenar o eventual acionamento de turnos adicionais, ou ainda a utilização dos *buffers* dos fins de semana, os quais podem ser convertidos em redução efetiva da duração da inspeção, uma vez que o gargalo passa a ser facilmente identificado. Por outro lado, também permite a avaliação direta dos possíveis ganhos que um investimento na linha de manutenção possa representar, facilitando a tomada de decisão pelos gestores.

Por fim, destaca-se que a utilização do material desenvolvido neste estudo pode ser bastante oportuna em ocasiões futuras, de modo a facilitar o controle da execução das tarefas de manutenção, por intermédio de uma abordagem mais ativa. Em complemento, esta atuação permite uma coleta melhor direcionada da duração das tarefas em campo, que, posteriormente, realimentarão os dados utilizados para esta programação, sustentando um processo de melhoria contínua.

REFERÊNCIAS

AIRBUS, **C-295M Maintenance Planning Document**. Toulouse: Airbus Industrie, 2020.

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N. **Just in Time, MRPII e OPT: um enfoque estratégico**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2007

DINIS, D.; PÓVOA A. B.; TEIXEIRA A.P. A Supporting framework for Maintenance Capacity Planning: A supporting framework for maintenance capacity planning and scheduling. **International Journal of Production Economics**. 11 fev. 2019. Vol 218. p. 1-15.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

KULKARNI A.; YADAV D.; NIKRAZ, H. Aircraft maintenance checks using critical chain project path. **Aircraft Engineering and Aerospace Technology**. 2 out. 2017. Vol.89(6). p.879-892.

SLACK, Nigel; CHAMBER, Suart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da Produção**. 3 ed. São Paulo: Saraiva, 1999.

SAMARANAYAKE, P; KIRIDENA S. Aircraft Maintenance Planning and Scheduling: an Integrated Framework. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**. 19 out. 2012. Vol 18. p. 432-453.