

Análise do Custo da Contratação de Serviço de Suporte Logístico da Frota C-98/A e do Estoque de Itens Reparáveis

Rennan Assis Matos¹, Ygor Henrique de Almeida², Lucas Sales Martins³, Leila Scanfone²

¹Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos/SP - Brasil

²Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte/MG - Brasil

³Universidade de Pernambuco (UFPE), Recife/PE - Brasil

Resumo— Este trabalho analisa o dimensionamento de recursos financeiros para um novo contrato de suporte logístico das aeronaves Caravan e Grand-Caravan da Força Aérea Brasileira. Este tema surgiu com a necessidade de ter um valor de referência para o próximo contrato. O objetivo é estimar os custos com aquisição de sobressalentes, transporte de materiais, manutenção corretiva e preventiva, e fornecimento de itens consumíveis. Utilizou-se o *software* OPUS10 para calcular os valores de referência do novo contrato, com base em dados reais da operação. A metodologia é descritiva, quantitativa e baseada na pesquisa documental inseridos no sistema. O estudo permitiu modelar a estrutura operacional e logística, identificar os principais custos e apontar os itens com maior impacto na disponibilidade da frota, sugerindo investimentos estratégicos em sobressalentes e sua redistribuição entre as unidades de armazenamento.

Palavras-Chave— OPUS10, Caravan, Contrato de Suporte Logístico.

I. INTRODUÇÃO

A Força Aérea Brasileira (FAB) possui 27 aeronaves Caravan e Grand-Caravan (C-98/A), sendo catorze matrículas com o sistema de aviônicos analógicos (ANV-A) e treze com o sistema de navegação digital (ANV-B). Esses vetores estão situados em doze estados brasileiros e atuam em diversas operações da FAB, como a Yanomami, Taquari, Catrimani e na integração da região norte do país onde não há infraestrutura aeroportuária.

O Parque de Material Aeronáutico de Lagoa Santa (PA-MALS) é o centro de manutenção responsável que provê o suporte logístico dessa frota de aeronaves e que pode contratar empresas terceirizadas para auxiliar na suportabilidade logística em atender todas as organizações militares que operam essas aeronaves. Essas contratações, em geral, possuem dois módulos principais.

O primeiro (módulo I) abrange o transporte de qualquer material entre os operadores, fornecimento de itens consumíveis das inspeções programadas, realização de serviços de manutenção corretiva e preventiva dos itens reparáveis pelo pagamento de um valor fixo por hora de voo da frota. O cálculo desse valor permite analisar quando uma proposta está com sobrepreço ou abaixo da média, indicando que o serviço pode ser de baixa qualidade.

O segundo módulo (módulo II) do contrato é referente ao serviço de aquisição de itens reparáveis sob demanda,

condicionada à aprovação orçamentária pela administração. Seu objetivo é adequar os estoques de itens de giro dos operadores, de modo a prevenir indisponibilidades decorrentes de falhas inesperadas.

O dimensionamento inadequado do Módulo II pode acarretar impactos financeiros, em função da aquisição excessiva de materiais, e impactos logísticos, devido à insuficiência de itens de giro. Devido a isso, é importante identificar os itens reparáveis que influenciam na suportabilidade do projeto, e modelar de forma representativa a estrutura logística da frota C-98/A no *software* OPUS10. Por último, é necessário comparar a quantidade ideal de cada componente, calculada pelo *software*, com os estoques atuais da FAB, a fim de identificar o quantitativo a ser adquirido para dimensionar o valor total do módulo.

Este propósito será alcançado por meio de uma pesquisa aplicada em um caso prático de uma problema real utilizando o sistema gerencial e logístico da FAB, incluindo tratamento de dados.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A. Ciclo de Vida da Frota de Aeronaves

Manter uma aeronave ativa é mais complexo do que obter o recurso financeiro para sua aquisição, pois deve-se levar em consideração outros parâmetros logísticos. Alguns exemplos seriam as etapas de detecção da necessidade operacional, cumprimento de requisitos de missão, aquisição do produto, avaliação operacional, eventual necessidade de modernização e, por fim, sua desativação [1]. Todas essas fases possuem custos relevantes envolvidos no processo decisório para a aquisição, manutenibilidade do produto em deixá-lo disponível para uso e o seu descarte.

Os estudos e as análises de [2] sobre o custo do ciclo de vida (*Life Cycle Cost* - LCC) mostra que é possível reduzir em até 50% o LCC com o suporte logístico integrado, pois ele permite identificar os fatores que mais contribuem para o custo total. Ainda de acordo com ele, outro problema relevante na gestão dos projetos é a separação e a falta de comunicação entre os setores que definem os interesses do projeto dos que realmente executam o trabalho de gerenciar. Em muitos casos, os executores não compreendem o que deve ser feito e agem de forma destoante, designam agentes sem capacidade de análise de LCC, criam incertezas e indefinições sobre o projeto e gerenciam objetivando apenas reduzir custos de

aquisição, pois faltam informações e ferramentas de análise [2].

Há uma dificuldade significativa em calcular o LCC de projetos da FAB que não possuem dados históricos ou informações empíricas de taxa de falha. Mesmo assim, uma alternativa é fazer uma abordagem *bottom-up* dos componentes mais caros para estimar o LCC a partir da implementação de um sistema de suporte logístico hipotético inspirado em um cenário real da FAB no OPUS10 [3]. Segundo os autores, é fundamental que os dados referentes aos custos de transporte, reparo, estocagem, aquisição de componentes, bem como os tempos de movimentação entre os operadores e de execução das manutenções, sejam apresentados com o máximo de precisão. Essas informações fidedignas permitem ao analista estabelecer a correlação entre o custo despendido para garantir determinada disponibilidade e o nível de serviço alcançado.

Diferente das dificuldades mencionadas por [3], a frota C-98/A da FAB a ser analisada já operou por mais de 20 anos e possui muitos dados históricos empíricos que são cruciais para estimar o custo pretendido. Tal custo compreende os próximos cinco anos operacionais para determinar um valor médio para suprir logisticamente, caso seja realizada uma nova contratação de serviços terceirizados.

As manutenções programadas ou preventivas possuem um intervalo estabelecido pelo fabricante com os serviços a serem realizados para evitar a falha. Já a manutenção não programada ou corretiva é caracterizada por ocorrer após uma falha inesperada do equipamento, ou seja, não tem um intervalo pré-estabelecido. Quando as falhas de um componente ocorrem de forma aleatória, independente da sua vida útil, a taxa de falha é constante e pode ser calculada pelo inverso do tempo médio entre falhas (MTBF) [4].

B. Estoque de Sobressalentes na Gestão Logística

Os imprevistos que ocorrem durante as manutenções corretivas e preventivas de uma frota de aeronaves impactam diretamente na indisponibilidade operacional. Para que isso seja mitigado, principalmente no meio militar onde a operação deve ser contínua, é essencial que haja estudos sobre estoques de itens sobressalentes para que o componente que falhou seja substituído por outro em estoque.

Atualmente, a indústria da aviação civil armazena aproximadamente US\$ 50 bilhões em peças sobressalentes (sendo 75% dos fundos de inventário das companhias aéreas) [5]. Por causa disso, muitas técnicas de gestão são baseadas no consumo, dados históricos, distribuição de demanda em cada localidade, modelos estatísticos através de regressões lineares de variáveis independentes, taxa de falha, simulações, inteligência artificial, métodos analíticos (como exemplo o *software* OPUS10), dentre outros para otimizar as gestões de estoque [5]. As empresas perceberam que a aquisição de sobressalentes não impacta apenas o custo de aquisição, mas também o de armazenamento, condição de climatização, segurança, tempo de vida útil do item e a perda pelo custo de oportunidade. Portanto, essa é uma área da gestão em que pode haver redução de custos sem afetar a qualidade da prestação do serviço ofertado.

O modelo de inventário de peças sobressalentes em múltiplos escalões, no qual os componentes são distribuídos em uma hierarquia de locais de manutenção e suporte, é am-

plamente aplicado no setor aeronáutico. Esse modelo é comumente observado em centros logísticos, bases intermediárias e unidades operacionais [6]. Outra prática comum de gestão de estoques é a classificação ABC, que permite segmentar os itens em mais de uma categoria e aplicar diferentes políticas de reposição, conforme a margem de investimento ou a demanda acumulada [7].

A Força Aérea da República de Singapura (RSAF) percebeu a grande diferença que um suporte logístico integrado, em específico o aprovisionamento de sobressalentes, impacta no gerenciamento do ciclo de vida dos seus sistemas de armas. Dessa forma, a RSAF focou no aprimoramento dos modelos de estoque de itens reparáveis através de *softwares* comerciais, como o OPUS10 [8]. O objetivo do trabalho de [8] é conduzir e desenvolver um modelamento de fácil utilização, versátil, preciso e rápido na otimização de sobressalente para suportar as operações estratégicas do país.

A Força Aérea Real da Tailândia se preocupou com esse tema no momento da compra dos novos caças de 4ª e 5ª geração, Gripen C/D, em substituição dos F-16. Os problemas logísticos do passado, principalmente de suprimento e transporte logístico, fizeram com que o país priorizasse o estudo do estoque de itens que mais impactam na operacionalidade e onde armazená-los para suportar a frota de maneira mais eficiente. A percepção do autor é de que o meio militar está cada vez mais buscando serviços de logística terceirizada como um meio de suprir as carências de competência, reduzir custos e otimizar a aquisição e transporte de componentes [9].

C. Contratação de Serviços de Suporte Logístico

O gerenciamento da cadeia de suprimento deve estar alinhado com os setores da manutenção de forma que todo o material necessário para realizar uma atividade já esteja disponível no momento de parada da aeronave, visando reduzir o tempo de indisponibilidade da frota.

O contrato da forma *Performance Based Logistics* (PBL) tem como objetivo recompensar a contratada com os resultados alcançados e não apenas por ter cumprido as horas de trabalho. Essa é uma forma de incentivar a reduzir o custo logístico e aumentar a eficiência. As quatro formas de se realizar um contrato de suporte logístico, segundo [10], são: preço fixo firme (FFP), em que há o pagamento de um valor pré-determinado; custo mais taxa fixa (CPFF), pagamento dos custos do trabalho mais um valor acordado (lucro); incentivo de preço fixo (FPI), pagamento de um valor pré-determinado somado a um valor dependendo de atingir metas acordadas; custo mais taxa de incentivo (CPIF), pagamento dos custos do trabalho somado a um valor dependendo de atingir metas acordadas. O FFP e CPFF são mais utilizados quando não há grandes incertezas nos custos do projeto [10].

Ainda segundo [10], diversos setores da indústria estão iniciando ou migrando para contratos PBL e o Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD) tem 100 programas apoiados por ele, sendo o do F-35 um deles. Ele menciona que é recomendado estipular uma faixa de desempenho baseada em dados históricos para que haja uma faixa morta de penalidade ou recompensa nesses tipos de contratos. A partir da definição de uma ou mais métricas, é possível adotar um sistema de recompensa para o desempenho real da empresa. Adicionalmente, relata que a expectativa é que o LCC do F-35 seja 20% menor em relação ao F/A-16 e o F/A-18. No

Iraque e no Afeganistão, alguns componentes das aeronaves F/A-18E/F possuem um contrato PBL e a disponibilidade do projeto chega a 85%, enquanto o F/A-18C/D alcançou 73% nos métodos tradicionais de contrato de suporte logístico (CLS).

Entre os anos de 2006 e 2009, a Força Aérea dos Estados Unidos (USAF) vem diminuindo suas ações de manutenção orgânicas e direcionando para CLS. Essa tendência foi motivada pela teoria de que o CLS provocaria uma competição no mercado e resultaria em prestações de serviço mais econômicas em relação à orgânica ou à mista. No entanto, o modelo CLS se mostrou mais caro que o orgânico por causa da natureza específica do serviço e da transferência de responsabilidade sobre a disponibilidade da frota. O autor ressalta que o custo atrelado à meta de disponibilidade faz com que a contratada tenha uma cadeia logística mais robusta, ou seja, capaz de suprir as demandas recorrentes e imprevistas. Por este motivo, os projetos suportados pelo modelo CLS apresentaram maior desempenho em relação ao orgânico e o misto [11].

Um contrato baseado em desempenho logístico (PBL) ou CLS é uma forma de transferir efetivamente o risco do gerenciamento do cliente para o fornecedor a partir do acordo realizado sobre a meta de disponibilidade operacional. Ou seja, o contratado fica com a responsabilidade de definir o número exato de peças sobressalentes, onde estocá-lo, os melhores meios para transportá-lo e a mão de obra para dar a suportabilidade necessária [6].

D. Software OPUS10

O *software* OPUS10, desenvolvido pela Systecon AB, é uma ferramenta de otimização do suprimento de sobressalentes e suporte a soluções logísticas que modela estações operacionais, armazenamento de componentes, compras e define as conexões de transporte entre elas. O elemento central é a otimização da curva Custo-Eficiência (C/E) que mostra a combinação ideal de investimento em compra de cada item nas estações e os custos com as manutenções preventiva e corretiva de acordo com o orçamento disponível para uma performance operacional [12].

Além disso, o programa pode avaliar diferentes sistemas logísticos através de análises de sensibilidade, nível de reparo (LORA) e LCC. O *software* tem como característica ser analítico, estacionário e tem processos de demanda estocásticos devido à variância da distribuição de Poisson.

A demanda dos componentes segue uma distribuição de Poisson de intensidade λ , onde cada falha não influencia na próxima [13]. Essa abordagem é explicada por [4] e foi denominada METRIC (Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control). O METRIC pode calcular o nível ótimo de estoque de itens *line replaceable unit* (LRU) para cada estação através da minimização dos pedidos em espera (*backorders*) [8].

No entanto, o METRIC subestima a quantidade de pedidos em atraso [12] e Stephen Graves propôs o VARI-METRIC que utiliza a distribuição binomial negativa como forma de manter os benefícios do modelamento anterior e melhora a estimativa dos pedidos atrasados [14]. O OPUS10 utilizou o METRIC até 1988 e depois incorporou o modelo VARI-METRIC em 1990 até os dias atuais.

No gráfico da Fig. 1 retirado de [2], mostra o comparativo entre a decisão baseada no OPUS10 e a de comprar uma unidade de cada sobressalente (sugestão do fornecedor) para quatro projetos diferentes da Noruega. Para o projeto NB, a sugestão inicial era de 88,4 milhões de Coroas Norueguesas (NoK), resultando em uma disponibilidade de 78% no OPUS10, sendo que o máximo de disponibilidade indicado pelo *software* para esse orçamento poderia chegar 96%. No entanto, o governo disponibilizou apenas 36 milhões de NoK que possibilita uma disponibilidade máxima de até 62%.

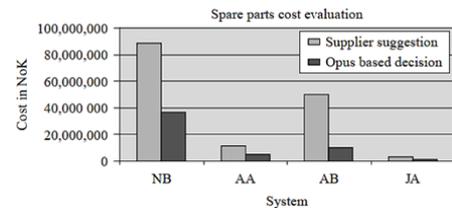


Fig. 1. Comparativo do custo de aquisição de sobressalentes para duas abordagens diferentes.

Os estudos de [15] mostra uma redução, em média, de 60,3% do custo dos investimentos em peças de reposição e propõe que a Defesa da Noruega dedique mais estudos nessa área devido ao potencial de economia.

III. METODOLOGIA

A pesquisa aplicada deste trabalho visa reproduzir a estrutura logística da frota de aeronaves Caravan e Grand-Caravan da FAB, calculando os custos logísticos envolvidos na operação. Este trabalho adota premissas baseadas em uma pesquisa documental dos dados inseridos no sistema gerencial da FAB, referentes à distribuição logística de materiais e aeronaves, para aplicar no estudo de caso prático de um problema real.

Este trabalho retirou os dados de distribuição das 27 aeronaves e a quantidade de horas de voo (HV) por Organização Militar (OM) entre os anos de 2022 e 2024 dos Indicadores Gerenciais da FAB. Eles serviram como base para estimar as HV por OM para os próximos cinco anos de operação e foram inseridos no *software* OPUS10.

Os Grupos de Apoio Logístico (GLOG) e o PAMALS foram modelados com a capacidade de trocar componentes reparáveis que falharam durante a operação da aeronave e de realizar as manutenções programadas, conforme ocorre na realidade. Os itens consumíveis podem ser substituídos diretamente pelo operador final por ser um serviço de menor complexidade. Apenas a Oficina Externa é capaz de realizar o reparo de componentes e de fornecer itens novos quando a inviabilidade técnica ou econômica exige a condenação do item original. Para simplificar, todos os itens foram considerados no mesmo nível de hierarquia na árvore de configuração do OPUS10. Como premissa, os consumíveis não indisponibilizam a aeronave operacionalmente e os reparáveis foram avaliados individualmente de acordo com a relevância do sistema.

O Sistema Integrado de Logística de Material e de Serviços (SILOMS) da FAB, que gerencia todo o acervo e informações de manutenção, forneceu a quantidade total de horas de voo e de pousos que o projeto foi submetido desde sua implantação

até junho de 2024. Além disso, foi obtida a quantidade em estoque de todos os itens reparáveis e consumíveis, considerando os alternados, em cada OM para comparar o nível de disponibilidade que o projeto apresenta em relação à curva otimizada de custo e disponibilidade proporcionada pelo OPUS10.

Os tempos e os custos de transporte dos componentes foram calculados pela média aritmética das cotações de duas empresas de transporte aéreo, referentes a julho de 2024. A cotação considerou o transporte de uma caixa de 10kg (23x35x12cm) entre a cidade de Campo Grande (representando a oficina reparadora) e cada uma das organizações militares.

A. Modelagem dos Itens Reparáveis e Consumíveis

As manutenções corretivas são realizadas quando ocorre uma falha no componente e há a possibilidade de restaurar a funcionalidade através de troca de *spare parts*, ajustes em bancadas, lubrificação, soldagem, reparos e outros. Por isso, a análise das Fichas de Coleta de Dados de Defeito (FCDD) do SILOMS foi extensiva desde o ano 2000, origem da operação da frota do projeto C-98/A, até junho de 2024 para representar de forma fidedigna a quantidade de falhas dos principais itens reparáveis. Foi necessário filtrar e excluir dados irrelevantes ou que não contribuiriam para somar a quantidade real de falhas de cada componente, uma vez que o cálculo da taxa de falha considera apenas as falhas reais. Alguns exemplos são: inserções duplicadas da mesma ocorrência de falha, recolhimentos de itens para manutenção programada, expiração do tempo limite de vida (TLV), solicitações de materiais, falta de informações relevantes, transferências de componentes para outras matrículas e outros. Após essas análises, juntou-se todas as informações dos *Part Numbers* (PN) alternados em um único para simplificar a modelagem.

As falhas dos materiais consumíveis foram baseadas no histórico de compra do SILOMS durante o mesmo período das FCDDs subtraída a quantidade existente em estoque para se ter a quantidade realmente utilizada no período. Após isso, foi realizada a classificação ABC em relação à demanda valorizada (multiplicação da quantidade adquirida pelo preço unitário) para identificar os itens consumíveis mais relevantes e que representassem 80% dos custos totais e, consequentemente, são mais significativos para o modelamento.

A taxa de falha de cada componente foi calculada pela divisão da quantidade total de falha registrada em FCDD pelo total de horas de voo do projeto, tendo como premissa que as falhas seguem uma distribuição de Poisson com taxa constante. Em seguida, foi calculada a porcentagem de condenação dos itens reparáveis que falharam a partir do total de condenações por PN registrado no SILOMS, seja por inviabilidade técnica ou econômica. O preço de aquisição de um item novo, incluindo os alternados, foi calculado pela média dos valores inseridos no SILOMS. Foi consultado no Catálogo Ilustrado de Peças da fabricante da aeronave a quantidade de cada item por aeronave, diferenciando as matrículas com o sistema de aviônicos analógicos (ANV-A) dos modelos digitais (ANV-B).

Foi realizada outra classificação ABC para agrupar os itens reparáveis em quatro categorias. Essa abordagem simplificou a modelagem, permitindo o cálculo de quatro preços médios em vez de atribuir um preço de serviço diferente para cada

item. Tais valores servem para calcular o custo da revisão geral e do reparo. Os valores são 20% e 69% do valor do grupo para cada serviço, respectivamente.

B. Modelagem da Manutenção Preventiva dos Itens Reparáveis e das Aeronaves

Dentre todos os itens reparáveis, foram implementados treze serviços de revisões gerais periódicos e três TLVs para PNs diferentes. Além disso, também foram incluídas 32 inspeções periódicas da aeronave para que possa operar em segurança. Essas informações foram obtidas do Boletim de Itens Controlados e do Boletim de Manutenção, respectivamente. Os vencimentos das inspeções são por tempo calendário, horas de voo e pousos. Este último foi convertido para horas de voo através da média de horas de voo total do projeto dividido pela quantidade total de pousos registrados.

O custo de cada uma das revisões gerais dos itens foi estimado como sendo 20% (correspondendo em torno de 5 revisões para compor o preço total de um item novo) do preço médio de aquisição do respectivo grupo em que o item se situa na classificação ABC. As informações utilizadas da mão de obra (Homem-Hora) e dos dias necessários para realizar cada inspeção da aeronave foram obtidos da ICA 66-31 - Parâmetros Básicos das Inspeções Programadas das Aeronaves da FAB. A equação abaixo foi utilizada para estimar o valor de cada uma das 32 inspeções, que se baseia nos dados de custo de manutenção interna (CMI) do projeto C-98/A, disponíveis no Indicadores Gerenciais 2.0 para o período de 2021 a 2024.

$$CustoUnitInsp_x = \frac{HHInsp_x \times QtdInsp_x}{\sum_{y=1}^{32} (HHInsp_y \times QtdInsp_y)} \times CMI \quad (1)$$

O numerador da fração é composto da multiplicação da quantidade de horas da mão de obra necessária para realizar a inspeção x ($HH Insp_x$) pela quantidade de vezes que essa inspeção ocorreu no período entre 2021 e 2024 ($QtdInsp_x$). No denominador considera-se o somatório da multiplicação descrita para o numerador das 32 inspeções e, portanto, a fração fica sendo um fator percentual de cada inspeção para multiplicar o custo total da manutenção interna (CMI).

IV. RESULTADOS E DISCUÇÃO

A estrutura logística do projeto C-98/A foi modelada no *software* OPUS10 com três escalões. Da base para o topo, tem-se: as unidades que operam as aeronaves; os GLOG que realizam serviços básicos de manutenção; e a oficina externa, que atua no reparo e fornecimento de componentes aeronáuticos. A Fig. 2 exemplifica esquematicamente a estrutura considerada.

Os operadores que possuem a capacidade de armazenar itens foram categorizados como DEPOT, mas outros não tem essa possibilidade por estarem fisicamente próximos do GLOG. O PAMALS não foi colocado em um escalão diferente mesmo sendo o principal centro logístico que gerencia todas as unidades que operam o projeto, pois cada um dos operadores pode enviar e receber itens diretamente da oficina externa sem passar por ele. A Tabela I mostra a quantidade de itens considerados para compor modelo das aeronaves.

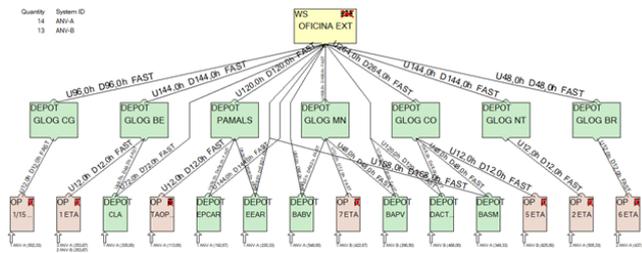


Fig. 2. Estrutura logística das aeronaves ANV-A e ANV-B.

TABELA I
QUANTIDADE DE ITENS REPARÁVEIS E CONSUMÍVEIS CONSIDERADOS

Aeronave	Itens Reparáveis	Itens Consumíveis
ANV-A	107	140
ANV-B	95	138
Itens	69	138

Os dados referentes ao custo do projeto foram descaracterizados para preservar as informações estratégicas da FAB. A normalização consistiu na divisão de todos os valores pelo custo necessário para se obter a máxima disponibilidade da curva custo-efetividade do OPUS10 e depois multiplicado por 100. No gráfico da Fig. 3, é possível verificar que o limite da curva em preto é a referência de 100% devido à normalização. Esta curva mostra a relação do custo mínimo necessário para se obter a máxima disponibilidade média do projeto de acordo com a estrutura logística modelada.

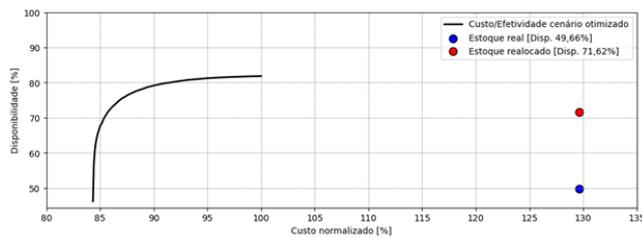


Fig. 3. Comparativo da disponibilidade média otimizada e a real.

Comparativamente, a FAB já possui um investimento em itens sobressalentes e distribuídos nas unidades militares para suprir a frota, representado pelo ponto “estoque real”. O motivo deste ponto estar distante da curva otimizada demonstra que existem muitos componentes que a FAB adquiriu e que não influenciam muito na disponibilidade, seja por terem uma baixa taxa de falha ou por não impactarem muito operacionalmente. Dessa forma, o projeto fica com um investimento em material que não é essencial, ou seja, esse valor poderia ter sido investido em outras áreas. Vale ressaltar a importância em estudos mais aprofundados de componentes de giro antes de aceitar e efetuar a compra da lista de provisionamento inicial (LAI) sugerida por empresas ou fabricantes.

A segunda verificação analisada é a realocação dos componentes entre os armazéns das unidades militares. O ponto “estoque realocado” mostra que a disponibilidade média poderia aumentar aproximadamente 22% com a realocação de 98,79% dos itens armazenados (90,88% de itens reparáveis e 98,82% de consumíveis) em locais não estratégicos. Essa mudança significativa é justificada devido a algumas características, como: alta taxa de falha de alguns componentes que devem

estar distribuídos em unidades mais distantes, demora para transportar um item de um centro de armazenamento para outro, e unidades militares que possuem maior esforço aéreo ou mais aeronaves em operação.

O gráfico da Fig. 4 mostra a curva de custo e eficiência mais otimizada a partir do ponto “estoque realocado”. Os pontos acima da “referência” aumentam a disponibilidade em menos de 0,05% a cada compra de um conjunto de itens sobressalentes. Portanto, o custo desembolsado não traz muitos benefícios e estabeleceu-se que ele seria a referência para o cálculo dos custos da hora de voo e do valor de investimento em itens de estoque.

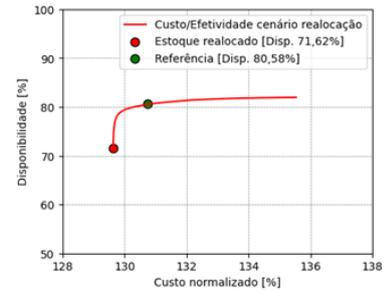


Fig. 4. Disponibilidade média a partir do estoque FAB.

Os custos calculados pelo software incluem a compra de itens sobressalentes para giro, aquisição de itens consumíveis, transporte de componentes, serviço de manutenção corretiva e material para manutenção preventiva, conforme descrito mais detalhadamente na Tabela II.

TABELA II
DESCRIPTIVO DOS CUSTOS CONSIDERADOS PARA OBTEN UMA DISPONIBILIDADE MÉDIA DE 80,58%

Tipos de Custos	Porcentagem do Custo Total
Itens sobressalentes (giro)	1,31%
Itens Consumíveis	6,06%
Transporte	5,22%
Manutenção Corretiva	22,75%
Manutenção Preventiva (material)	64,66%

O investimento necessário em itens de giro levou em consideração apenas a diferença entre o estoque sugerido para a disponibilidade média de 80,58% (ponto em verde) e a situação de estoque atual da FAB com os itens realocados (ponto em vermelho), por ser a real necessidade de aquisição. Os outros quatro custos (compra de itens consumíveis, transporte de materiais, manutenção corretiva e material da manutenção preventiva) não variam conforme se escolhe outros pontos de disponibilidade média, pois são dependentes do esforço aéreo e das manutenções programadas com intervalos fixos.

Alguns fatores de correção podem ser estabelecidos para compensar algumas limitações do escopo considerado, como por exemplo o total de itens. A adoção de um fator de correção pode ser considerada para a modelagem apesar de os 273 itens serem representativos da maioria dos componentes que podem falhar. Também é plausível que se aplique uma taxa correspondente a custos indiretos nos casos de contratação de empresas terceirizadas para o gerenciamento logístico. Essa taxa deve cobrir encargos, tributos, impostos, seguros, taxas

administrativas e riscos que a empresa assume. Considerando 20% de custo a mais para contemplar a simplificação da quantidade total de itens, 20% para custos indiretos e 5% para gerenciamento logístico, obtêm-se um custo de R\$ 126,17 por hora de voo (normalizado pelo mesmo valor aplicado nos gráficos das Fig. 3 e 4 e depois multiplicado por 10⁶) das aeronaves Caravan e Grand-Caravan para compor o módulo I do contrato.

É possível realizar a estimativa de um preço justo a ser pago por hora de voo desses serviços com a metodologia escolhida neste trabalho, uma vez que requer apenas a divisão do custo total calculado pelo esforço aéreo do projeto. A dissociação do custo de aquisição e investimento em itens reparáveis do preço por hora de voo é válida, pois a FAB pode decidir qual o orçamento disponível para investir ou o nível de atendimento que deseja para a frota. Esse valor representa 1,31% do custo total obtido para o ponto de referência escolhido (disponibilidade média de 80,58% para a frota) no OPUS10 e pode ser inserido no módulo II do contrato.

V. CONCLUSÃO

A fase operacional é o momento do ciclo de vida em que se deseja alta disponibilidade utilizando cada vez menos recursos financeiros para suportar a frota. Este foi o propósito do trabalho desenvolvido, quantificar os custos mínimos com aquisições de novos componentes sobressalentes para giro, transporte de qualquer material entre os operadores, serviços de manutenção corretiva e preventiva dos itens reparáveis e o fornecimento de itens consumíveis e das manutenções programadas das aeronaves utilizando o *software* OPUS10. Portanto, o valor obtido pode ser a referência dos módulos I e II para um novo contrato de suporte logístico com vigência de cinco anos. É essencial que o dimensionamento financeiro seja preciso, evitando tanto sobrepreço quanto insuficiência de recursos para sua execução.

Na primeira análise tem-se os percentuais de custo de cada segmento em relação ao total para um novo contrato de suporte logístico: 1,31% para compra de itens de giro; 6,06% de fornecimento de itens consumíveis; 5,22% para o transporte de material; 22,75% para o serviço de manutenção corretiva; e 64,66% para o fornecimento de material para manutenção preventiva. Com esses dados, a estimativa de custo da hora de voo da frota C-98/A é de R\$ 126,17 (valor normalizado). O cálculo desses custos é essencial para que a Administração Pública tenha subsídios para criticar as propostas das futuras licitantes e se basear em um valor justo a ser pago. O módulo II do contrato, que consiste na compra de itens de giro, representa 1,31% do custo total e cabe ao gestor contratual criticar a lista de materiais fornecida pelo *software* antes de efetivar a sua compra. Essa aquisição levaria o projeto a uma disponibilidade média de 80,58%, e ele foi escolhido por ser o limite onde o custo de investimento começa a ser muito alto para um ganho muito pequeno no percentual de disponibilidade.

Nas análises, é evidenciado que a distribuição atual dos itens em estoque da frota C-98/A da FAB não é a ideal para suportar a sua operação nas diversas regiões do país. Muitos componentes de giro poderiam ser realocados de unidade de armazenamento, totalizando 98,79% de itens movimentados,

fazendo com que a disponibilidade média aumentasse em, aproximadamente, 22%.

A aplicação desse trabalho em um problema real mostrou-se eficaz e factível de servir como parâmetro de referência para o novo contrato CLS a ser confeccionado pelo PAMALS para a frota C-98/A.

As limitações deste trabalho estão na incerteza dos dados inseridos no SILOMS, a ausência de uma lista detalhada de materiais necessários nas manutenções programadas, a incerteza sobre a acuracidade das informações dos itens em estoque na FAB e, principalmente, erros na filtragem e seleção dos dados de FCDDs. Além disso, o tempo e o custo necessários para realizar a troca, reparo e transporte de cada componente entre as unidades são pontos cruciais que influenciam na porcentagem de disponibilidade. Todos esses aspectos deveriam ser tratados individualmente para cada item, mas todos foram tratados de uma única forma.

A frota de aeronaves escolhida já possui mais de 20 anos de operação e ainda é um projeto comercial mundialmente. Seria possível dar continuidade neste trabalho melhorando e atualizando a base de dados utilizada, bem como adicionando outros fatores de custos logísticos como os de oportunidade, armazenamento, manuseio, administrativo, embalagem, infraestrutura e outros. A inserção dessas análises iria enriquecer e representar de forma mais precisa os custos envolvidos na operação e manutenibilidade da frota.

REFERÊNCIAS

- [1] Comando da Aeronáutica, "DCA 400-6: Ciclo de vida de sistemas e materiais da aeronáutica," 2007.
- [2] B. E. Tysseland, "Spare parts optimization process and results: Opus10 cases in the norwegian defence," *International Journal of Physical Distribution Logistic Management*, vol. 39, pp. 8–27, 2009.
- [3] D. G. Figueiredo and F. T. M. Abrahão, "Custo do ciclo de vida: Proposta de método de cálculo prospectivo e análise de sensibilidade a fatores de confiabilidade e manutenibilidade," *Simpósio de Aplicações Operacionais em Áreas de Defesa*, pp. 55–60, 2018.
- [4] C. C. Sherbrooke, *Optimal Inventory Modeling of Systems: Multi-Echelon Techniques*. New York: Kluwer Academic Publishers, 2004.
- [5] Y. W. Feng, J. Y. Chen, C. Lu, and S. P. Zhu, "Civil aircraft spare parts prediction and configuration management techniques: Review and prospect," *Sage Journal*, vol. 13, pp. 1–17, 2021.
- [6] D. Nowicki, U. D. Kumar, H. J. Steudel, and D. Verma, "Spares provisioning under performance-based logistics contract: profit-centric approach," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 59, pp. 342–352, 2008.
- [7] R. H. Ballou, *Gerenciamento da cadeia de suprimentos/logística empresarial*. Porto Alegre/RS: Bookman, 2006.
- [8] E. K. W. Pek, *Development of Availability and Sustainability Spares Optimization Models for Aircraft Repairables*. Ohio: Air Force Institute of Technology, 2013.
- [9] A. Chantarang, "Logistics in the royal thai air force: Preventing problems in logistics support for the 4.5 generation fighter aircraft," *Master Thesis*, 2012.
- [10] A. Sols, D. Nowicki, and D. Verma, "Defining the fundamental framework of an effective performance-based logistics (pbl) contract," *Engineering Management Journal*, vol. 19, pp. 40–50, 2015.
- [11] J. D. Ritschel and T. L. Ritschel, "Organic or contract support? investigating cost and performance in aircraft sustainment," *Journal of Transportation Management*, vol. 26, pp. 47–58, 2016.
- [12] S. AB, *OPUS10 Algorithms and methods*. Systecon AB, 2014.
- [13] M. Wikander, "Modeling unit replacement associated with preventive maintenance," *Master Thesis - KTH Royal Institute of Technology*, 2016.
- [14] S. C. Graves, "A multi-echelon inventory model for a repairable item with one-for-one replenishment," *Management Science*, vol. 31, pp. 1247–1256, 1985.
- [15] B. E. Tysseland, "Life cycle cost based procurement decisions: A case study of norwegian defence procurement projects," *International Journal of Project Management*, pp. 366–375, 2007.