

# **PLANEJAMENTO DA MANUTENÇÃO DE REPARÁVEIS: Otimização dos níveis de estoque de itens suportados pelos contratos do PAMALS por meio da abordagem sistêmica**

## **REPAIRABLE ITEMS MAINTENANCE PLANNING: Stock level optimization of items supported by third-party contracts of PAMALS through a system-based approach**

Pedro Henrique Marques Spinola De Andrade<sup>1</sup>  
Danilo Garcia Figueiredo Pinto<sup>2</sup>  
Leila Scanfone<sup>3</sup>

### **RESUMO**

Este trabalho trata da aplicação da abordagem sistêmica para a gestão dos níveis de estoque de itens reparáveis e do sequenciamento dos serviços de manutenção realizados em oficinas terceirizadas contratadas pela Força Aérea Brasileira. Tal abordagem se faz necessária para o redimensionamento dos níveis de estoque de giro em função da recém estabelecida dinâmica de tempos e movimentos envolvendo as contratações, além do melhor aproveitamento do vasto acervo de itens armazenados aguardando reparo. O objetivo deste trabalho é propor um novo método para definição de níveis de estoque de giro de itens reparáveis suportados por contratos de manutenção externa, assim como para o sequenciamento de ordens de serviço. Este propósito é conseguido mediante uma pesquisa documental seguida pela modelagem do circuito de reparo dos contratos de manutenção externa do Parque de Material Aeronáutico de Lagoa Santa. Com auxílio dos programas OPUS10 e SIMLOX, são demonstradas as curvas de disponibilidade sistêmica e custos indicando as melhores alternativas de alocação de estoques, assim como essas soluções têm seu comportamento dinâmico testado. A partir da análise marginal das curvas de disponibilidade é apresentado um método para sequenciamento das ordens de serviço de manutenção condicionado à disponibilidade orçamentária.

**Palavras-chave:** Modelagem multi-escalão. Abordagem sistêmica. Cadeia de suprimentos. OPUS10. SIMLOX.

### **ABSTRACT**

*This work addresses the application of the system availability approach to managing inventory levels of repairable items and the sequencing of maintenance performed in outsourced workshops contracted by the Brazilian Air Force. This approach is necessary for resizing inventory levels based on the recently established repair pipeline of contracts, as well as to make better use of the vast inventory of items awaiting repair. The objective of this work is to propose a new method for defining stock levels for repairable items supported by external maintenance contracts, and for sequencing work orders. This purpose is achieved through documentary research followed by the modeling of the pipeline for external maintenance contracts at the Aeronautical Material Park of*

---

<sup>1</sup> Especialista em Logística pelo Instituto de Logística da Aeronáutica e Bacharel em Engenharia Metalúrgica pela Universidade Federal de Minas Gerais. E-mail: [pedroandradephmsa@fab.mil.br](mailto:pedroandradephmsa@fab.mil.br)

<sup>2</sup> Doutor em Ciências pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Mestre em Gerenciamento de Aquisição de Defesa pela Universidade de Cranfield e Bacharel em Engenharia Eletrônica pelo ITA. E-mail: [danielodf@ita.br](mailto:danielodf@ita.br)

<sup>3</sup> Doutora em Administração pela Universidade Federal de Minas Gerais. Professora do Grupo Educacional UNIS. E-mail: [leila.scanfone@professor.unis.edu.br](mailto:leila.scanfone@professor.unis.edu.br)

*Lagoa Santa. Using OPUS10 and SIMLOX software, cost and system availability curves are demonstrated, pointing out the best alternatives for inventory allocation, and the dynamic behavior of these solutions is tested. From the marginal analysis of availability curves, a method for sequencing maintenance work orders is presented, which is conditioned to budget availability.*

**Keywords:** *Multi-echelon techniques. System-level availability. Supply chain. OPUS10. SIMLOX.*

## 1 INTRODUÇÃO

A Força Aérea Brasileira terceiriza parte de suas atividades de manutenção de itens aeronáuticos por meio de contratos sob demanda. O PAMALS gerencia sete contratos de manutenção externa para suporte dos projetos C-95, T-25 e T-27, e é fundamental adaptar a metodologia de gestão de estoques a este circuito de reparos. O sequenciamento e a priorização de itens enviados para manutenção têm influência central sobre o resultado alcançado em termos de disponibilidade das aeronaves.

Dado o longo histórico de operação das aeronaves mencionadas, a FAB dispõe de um vasto acervo de itens de giro armazenados aguardando reparo. Dessa maneira, a realização de serviços de manutenção pode se traduzir em uma recomposição do estoque de giro que efetivamente suporta a operação da frota.

Em vista deste contexto, este trabalho trata da aplicação da abordagem sistêmica para a gestão dos níveis de estoque de giro de itens reparáveis e do sequenciamento dos serviços de manutenção realizados em oficinas terceirizadas contratadas pela Força Aérea Brasileira. A abordagem sistêmica oferece alocações de inventário que proporcionam o maior aumento da disponibilidade ao menor custo. Neste contexto, a questão que norteará este estudo é a seguinte: a utilização da abordagem sistêmica possibilita a otimização dos níveis de estoque de giro de itens reparáveis e do sequenciamento dos serviços de manutenção realizados em oficinas terceirizadas contemplados pelos contratos do PAMALS?

Tal abordagem se justifica em virtude de os contratos de manutenção imporem novas e específicas condições quanto a prazos e custos logísticos, assim como por oferecer uma metodologia mais eficiente financeiramente em um cenário no qual a restrição não é o acervo de itens a reparar, mas sim os recursos orçamentários disponíveis.

É importante ressaltar também a contribuição deste trabalho para a Divisão Técnica do PAMALS. Seu objetivo vai ao encontro da missão dessa unidade ao garantir o uso eficiente dos recursos despendidos em serviços e elevação do nível de suportabilidade oferecido aos esquadrões de C-95, T-25 e T-27.

O objetivo deste trabalho é propor um novo método para definição de níveis de estoque de giro de itens reparáveis suportados por contratos de manutenção externa utilizando a abordagem sistêmica. Ademais, é proposto um novo método para sequenciamento de ordens de serviço condicionado à disponibilidade orçamentária.

Este intento é alcançado mediante uma revisão bibliográfica acerca do tema de gestão de estoques voltada ao suporte à manutenção e logística militar, assim como por uma pesquisa documental para coleta de dados e subsídio à modelagem dos contratos de manutenção terceirizada do PAMALS usando OPUS10 e SIMLOX.

A modelagem do *pipeline* de reparo de itens foi realizada utilizando o *software* OPUS10, que é capaz de entregar soluções otimizadas de quantidade e alocação de estoque de itens para alcance de um dado nível de disponibilidade do sistema. Ademais, o desempenho dinâmico das

soluções foi avaliado por meio de simulações de Monte Carlo utilizando o *software* SIMLOX que reproduziram a variabilidade dos perfis operacionais dos esquadrões atendidos ao longo do tempo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 GESTÃO DE ESTOQUES NO CONTEXTO MILITAR

O gerenciamento de estoques de itens para manutenção de sistemas militares é crucial. Na ocorrência de falhas, a indisponibilidade de determinados itens de reposição pode suspender completamente a operação de sistemas por longos períodos, e de maneira incompatível com aplicações de defesa e segurança (Scala et al., 2013).

O suporte às operações militares é em geral realizado pelas próprias forças armadas, abarcando uma série de atividades, o *procurement*, manutenção, logística e estocagem. Outra característica desse contexto é a imensa variedade de itens, diferentes níveis de aplicação e diversidade de escalões a serem atendidos (*multi-item, multi-indenture, multi-echelon*). O gerenciamento de estoques é um problema de decisão multi-critério, e soluções sub-ótimas levam ao comprometimento de indicadores chave para sistemas militares, como o *fill rate, backorders*, e tempo médio entre pedido e remessa (May et al., 2017).

A simples opção por estocar grandes volumes de itens para atendimento das inúmeras possibilidades de falhas nos sistemas operados é impraticável. Se faz necessário buscar uma metodologia que combine a redução de indisponibilidades, mantenha a segurança de operação e ao menor custo possível (Scala et al., 2013).

Atualmente há diversas metodologias consagradas para a gestão de estoques, como, por exemplo, lote econômico de compra, *kanban*, MRP e *Just In Time*, porém os padrões de demanda de diferentes indústrias são distintos e não há uma definição absoluta sobre qual seria a melhor. Ainda que os métodos para definição dos níveis ótimos de estoque sejam variados, todos são fundamentados pelo constante monitoramento do inventário e dos resultados alcançados (Fontaine, 2011).

Um dos aspectos mais importantes para o gerenciamento de estoques é o planejamento de compras. Este deve ser dimensionado considerando por quanto tempo o estoque disponível será suficiente e qual o tempo necessário para sua reposição, ou seja, a partir da análise e previsão de demanda, e caracterização da cadeia de suprimentos (Fontaine, 2011).

Há que se considerar ainda o crescente impacto da obsolescência. Os ciclos de evolução de sistemas têm se tornado cada vez mais curtos e implicam alterações nas necessidades e quantidades de materiais. A certeza dessas mudanças deve, portanto, nortear o gerenciamento de estoques a fim de lhe garantir robustez para assimilar os ciclos de modernização sem comprometimento dos sistemas suportados (Pooler et al., 2004).

### 2.2 DIMENSIONAMENTO DE ESTOQUE PELA ABORDAGEM ITEM-A-ITEM

Conforme o manual de manutenção da FAB, MCA 66-7 (BRASIL, 2017), o estoque de itens reparáveis é aquele que compreende itens que podem ser restaurados de forma econômica ao pleno funcionamento, podendo ser repetidamente reabilitados durante o período aproximado de vida útil do equipamento ao qual estão relacionados. Para tais itens, define-se o seguinte método (1) de cálculo para os níveis de estoque de reposição inicial para itens reparáveis.

$$P_U = e^{-F \cdot QPA \cdot Ef \cdot TRR \cdot TRU} \sum_{i=0}^{G_U} \frac{(F \cdot QPA \cdot Ef \cdot TRR \cdot TRU)^i}{i!} \quad (1)$$

Em que:  $P_U = \text{Fill rate}$ ;  $F$  = quantidade de aeronaves da frota;  $Ef$  = esforço aéreo mensal de uma aeronave;  $QPA$  = quantidade por aeronave de um componente;  $TRR$  = tempo entre o recolhimento à oficina e o retorno a uma UAe em meses;  $TRU$  = taxa de remoção programada por horas de voo, quantidade de ciclos ou número de acionamentos;  $G_U$  = quantidade de giro para substituir itens por remoção não programada; e  $TRU$  = taxa de remoção programada por horas de voo, quantidade de ciclos ou número de acionamentos

A equação (1) parte da abordagem de dimensionamento de estoque item-a-item, baseado na proposta de Sherbrooke (2004). É crucial notar também que, conforme definido pela MCA 66-7, o *Fill Rate* é estipulado por meio da categorização ABC. Em relação aos produtos pertencentes à categoria A, que correspondem aos 5% mais elevados em termos de despesa de conserto, o *Fill Rate* é fixado em 75%. No tocante aos itens classificados na categoria B, englobando os subsequentes 15% em termos de despesa de conserto, ele é estabelecido em 85%, e atinge 95% para os restantes.

### 2.3 DIMENSIONAMENTO DE ESTOQUE PELA ABORDAGEM SISTÊMICA

Na abordagem sistêmica, os valores de entrada no processo decisório compreendem o investimento financeiro e a disponibilidade do sistema. Enquanto no modelo de otimização item-a-item, o foco recai sobre o *Fill Rate*, nesta metodologia o principal indicador de eficiência é a disponibilidade do sistema, refletida como a proporção antecipada de aeronaves em uma frota que não enfrenta falta de peças de reposição. O objetivo, portanto, é alcançar o equilíbrio ótimo entre a disponibilidade do sistema e o desembolso financeiro necessário para constituição do estoque (Sherbrooke, 2004). Com o intuito de atingir essa meta, utiliza-se a abordagem conhecida como análise marginal, na qual, em cada etapa do algoritmo, concentra-se exclusivamente no valor marginal ou acréscimo para cada item. Esse valor marginal oferece todos os detalhes essenciais acerca da aquisição de cada item, possibilitando assim a seleção do próximo item a ser adquirido.

Nesse contexto, o parâmetro que se destaca é a quantidade de pedidos pendentes, tornando-se um elemento crucial para avaliação marginal. Em essência, a meta da otimização consiste em minimizar a soma do valor médio esperado de encomendas não cumpridas (*Expected Backorders* - EBO) para cada item sob consideração, sujeitos a uma limitação financeira. Como resultado, a resolução desse problema pode ser expressa por meio das equações (2), (3) e (4) (Sherbrooke, 2004).

$$EBO(S) = \sum_{x=S+1}^{\infty} (x - S) \cdot P(X = x) \quad (2)$$

$$\min \sum_{i=1}^I EBO(S_i) \quad (3)$$

$$c_i \cdot S_i \leq C \quad (4)$$

Em que:  $I$  = número de itens do sistema;  $c_i$  = custo de aquisição por item;  $S_i$  = nível de estoque de reposição por item; e  $C$  = limite de orçamento.

A análise multi-escalonada emerge como uma evolução a partir da abordagem multi-item, que previamente se restringia à avaliação de uma única base de manutenção. Nessa nova perspectiva, o processo é ampliado para um modelo de operação que segue esta lógica: quando um item (LRU) enfrenta falha, é removido da aeronave e submetido a uma análise para determinar a viabilidade de reparo na base. Concomitantemente, um item sobressalente é requisitado do estoque. Caso o item esteja disponível na reserva da base, ele é concedido e a aeronave torna-se operacional. No entanto, se o item estiver em falta no estoque da base, a solicitação de material se traduz em uma contagem de itens ausentes na frota, resultando em uma situação de *Backorder*. O atendimento da solicitação se concretiza com a chegada do item de reposição ao estoque, seja através de reparo localizado na própria base, após a reparação em um local designado para tal fim, ou por meio de suprimento do estoque central. As bases compõem o primeiro nível, enquanto os depósitos centrais formam o segundo nível. Dado que *Backorders* nos níveis superiores não impactam a disponibilidade da aeronave, a meta reside na minimização do EBO nas bases, o que, por consequência, maximiza a disponibilidade da frota (Sherbrooke, 2004).

Exemplificando modelos matemáticos de abordagem multi-escalonada, destaca-se o Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control (METRIC), elaborado por Sherbrooke em 1968, e o VARI-METRIC, uma melhoria concebida por Slay (1984). Este último se configura como um modelo de segunda ordem, tratando de *Backorders* no nível das oficinas relacionadas. O VARI-METRIC incorpora, no cálculo dos EBOs, a média e a variância para o número de LRUs em reparo no escalão superior, bem como para o número de SRUs em processo de reparo na base ou em reabastecimento. É relevante ressaltar que o METRIC assume tempos de reparo independentes e distribuídos de forma idêntica.

## 2.4 DIMENSIONAMENTO DE ESTOQUES USANDO OPUS10

O software OPUS10 tem aplicação na otimização do desempenho de estruturas de suporte, fornecendo soluções para determinação de volumes e locais de armazenamento para sobressalentes. O programa engloba análises de custo-benefício e explorações de cenários hipotéticos. A modelagem da demanda por peças de reposição é realizada por meio de um processo de Poisson. Outra nota crucial é que o modelo é estático, o que significa que as condições, inclusive a demanda, permanecem inalteradas com o decorrer do tempo. Nesse contexto, as abordagens METRIC e VARI-METRIC, servem de alicerce para o desenvolvimento do seu algoritmo (Systecon AB, 2014). De acordo com Lau e Song (2005), o modelo do OPUS10 é um desdobramento da estrutura de otimização proposta por Alfredsson (1999), evoluindo de forma constante ao longo de mais de duas décadas. Cabe destacar que, apesar do OPUS10 abarcar modelos que representam cenários logísticos do mundo real inseridos pelo usuário, ele não se enquadra como uma ferramenta de simulação, mas sim como um modelo analítico.

No leque das suas aplicações, sobressaem a análise da Lista de Aprovisionamento Inicial (LAI), investigações sobre estoque (rearranjo, reacompletamento ou ambos), avaliações de alternativas de suporte logístico e análises de sensibilidade (Figueiredo, 2019). Outra instância dessa ferramenta na literatura emerge da proposta de Wu e Hsu (2008), que delineiam uma abordagem visando à redução do custo operacional total de um sistema logístico ao projetar apropriadamente a lista de compras de peças de reposição, com base na análise das taxas de falha e dos preços associados a cada item e respectivo fornecedor. Nesse contexto, o OPUS10 foi empregado para calcular a política de estoque ideal e seu custo logístico total. De outro lado,

Figueiredo (2019) empregou o software para investigar a relação entre o Tempo de Retorno Médio (Turnaround Time - TAT) de itens reparáveis e seu impacto na disponibilidade de uma aeronave específica da Força Aérea Brasileira (FAB), com base em dados históricos.

## 2.5 ESTUDOS DE CASO DE GESTÃO DE ESTOQUES E SUPORTE À FROTAS

Vaez-Alaei et al. (2018) apresentam um estudo de otimização do *fill rate* de itens em estoque individualmente e de maneira global. Em ambas as metodologias são impostas restrições de valor disponível para investimento. Foram analisados os históricos de demanda ao longo de três e cinco anos, e seu modelo fornece definições de ponto de recompra e estoques de segurança, assim como estimativas de desempenho dessa estratégia de gerenciamento a partir do número de EBO (*expected backorders*).

Adams et al. (2004) trazem uma comparação entre as abordagens item-a-item e sistêmica na gestão de estoques. A primeira define recomendações da quantidade de itens em estoque a partir da demanda, modelada por uma distribuição de Poisson, e um nível de confiabilidade para atendimento (nível de serviço) de cada item. A segunda consiste em uma técnica de otimização realizada por meio de uma análise marginal que define os incrementos de inventário pelo critério de maior aumento da disponibilidade do sistema ao menor custo.

Ainda neste mesmo trabalho, Adams et al. (2004) demonstraram a relação inversamente proporcional entre o número de pedidos pendentes (*expected backorders - EBO*) e a disponibilidade sistêmica. Além disso, atestam que a partir da minimização dos EBO é possível maximizar a disponibilidade.

Wijk e Andersson (2012) realizaram um estudo sobre contratos de suporte logístico baseado em performance (contratos PBL) buscando a definição de critérios de recompensa e penalidade à contratada. Foi estabelecido um cenário fictício de suporte logístico de um sistema composto por 400 itens reparáveis e outros 600 consumíveis. Foram utilizados os softwares OPUS10 e SIMLOX para avaliação do cenário. A meta de disponibilidade pretendida foi de 85%, e esta foi associada ao número médio de pedidos pendentes no sistema ao longo do período de dez anos utilizando o OPUS10. Este resultado, todavia, não evidencia o caráter estocástico do problema abordado, e para fazê-lo foram realizadas simulações de Monte Carlo, que demonstraram a variabilidade dos pedidos pendentes ao longo do período modelado.

Tysseland (2009) realizou a compilação e análise de casos de aplicação de métodos multi-escalão na gestão de estoques de projetos das Forças Armadas da Noruega. Foram trazidos históricos de aplicação do *software* OPUS10 e avaliou-se todo o contexto de utilização, abarcando aspectos gerenciais, organizacionais, níveis de complexidade e incerteza dos sistemas. Por fim, concluiu que os resultados avaliados suportam a tese de que a abordagem sistêmica multi-escalão forneceu melhores resultados em termos de disponibilidade alcançada e menores custos de investimento.

Al-Momani et al. (2020) apresentou o desenvolvimento de um sistema customizado para a gestão de estoques na Força Aérea Jordânica. Em seu artigo são apresentados problemas estruturais e comuns ao suporte logístico das Forças Armadas como a acumulação de excedentes, itens não usados, itens com validade expirada, reduções de orçamento para aquisição, e expiração de períodos de garantia de materiais ainda estocados.

Downing et al. (2011) desenvolveram uma ampla revisão bibliográfica acerca de métodos de previsão de demanda e gestão de inventário a fim de avaliar o desempenho do contrato de manutenção dos helicópteros Chinook com a Boeing UK. Em seu trabalho foi evidenciado o padrão

intermitente e errático das demandas de componentes, e a necessidade de estabelecer métricas flexíveis e de simples atualização para acompanhamento de sua variabilidade.

Verhoeff et al. (2015) explicam que o principal objetivo da aviação militar é maximizar a prontidão operacional, ou seja, a capacidade de realizar missões de voo designadas. O nível de prontidão alcançado está relacionado à capacidade de suporte a frota de uma Força Armada, mais especialmente à eficiência de seu suporte logístico.

Em relação ao apoio à frota de aeronaves, Al-Momani et al. (2020) destacam cinco desafios no gerenciamento de estoques: acúmulo de peças sobressalentes não utilizadas, estoque de itens com prazo de validade expirado, restrições orçamentárias, aumento no uso de diferentes plataformas por motivos políticos e ameaças regionais, e vencimento da garantia de itens devido à falta de monitoramento adequado. Diante desse cenário de incertezas, surge a necessidade de planejamento sistêmico de estoques.

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA**

Em linha com as definições trazidas por Scanfone e Vasques (2018), a pesquisa desenvolvida neste trabalho é classificada como uma pesquisa aplicada em termos de finalidade, pois busca gerar conhecimento para a aplicação em um problema específico. Acerca de seus objetivos, ela pode ser definida como exploratória e descritiva, pois usa modelos simulados como métodos experimentais, e sendo uma pesquisa de natureza quantitativa.

#### **3.2 MODELAGEM MATEMÁTICA NO OPUS10**

##### **3.2.1 Tempos e custos de remessa e reparo**

A variável custo das tarefas de manutenção foi definida pelos valores pactuados contratualmente, e, da mesma maneira, os tempos de remessa e reparo seguiram os prazos pré-estabelecidos. Cada uma das tarefas de manutenção modeladas consolida as informações de custo e tempo referentes às condições contratuais estabelecidas para os respectivos itens.

O OPUS10 necessita ainda do custo de aquisição dos itens modelados, variável central para a definição da variedade, quantidade e alocação ideal de estoque de giro para um dado valor de investimento na compra de itens. Neste modelo, todavia, a variável custo de aquisição recebeu os mesmos valores dos custos de reparo, pois estão sendo avaliados itens com vasto estoque de giro já adquirido previamente, mas em condição inoperante, classificados internamente como estoque de itens a reparar. Estes são o objeto dos contratos em pauta, e as ações de manutenção se traduzem na recomposição do estoque de itens utilizáveis pelo mesmo custo do reparo.

Dessa forma, a sugestão de estoque gerada pelo modelo se traduz em uma quantidade de serviços inicialmente necessários para recomposição do giro de itens utilizáveis a serviço da frota. Ao passo que, as ações de reparo representam a quantidade necessária de serviços para manutenção do giro estabelecido e cumprimento do esforço aéreo.

Os tempos de remessa e reparo foram definidos como os valores máximos previstos contratualmente, totalizando 90 dias. Este período engloba os tempos de remessa entre o PAMALS e as empresas contratadas, assim como atrasos administrativos e a execução da manutenção propriamente.

Tratando-se da interface logística entre o Parque Central e as demais unidades, os tempos de remessa foram obtidos a partir da análise do histórico de movimentações de materiais junto aos diversos operadores entre janeiro e maio de 2023, registrados na ferramenta informatizada da FAB para gestão de sua cadeia logística e de manutenção, o Sistema Integrado de Logística Material e Serviços (SILOMS).

A base de dados do SILOMS possui registros das datas de envio e recebimento de todo o fluxo de materiais entre as unidades incluídas no modelo. Foram amostrados apenas os movimentos associados às aeronaves T-25, T-27 e C-95. Ao todo, foram considerados 3387 registros de recolhimentos e envio de itens para composição dos tempos médios de remessa entre as unidades e o PAMALS. Os valores médios obtidos foram aplicados igualmente para os fluxos de recebimento e expedição.

Os custos relacionados às movimentações internas à FAB não foram considerados no modelo, uma vez que esse dispêndio não é atrelado a gestão orçamentária dos contratos e sequer do próprio PAMALS.

### **3.2.2 Definição de taxas de falha dos itens**

Outra definição fundamental é a taxa de falha dos itens. A modelagem em OPUS10 trata esse parâmetro como constante. Os dados de falha foram obtidos a partir da análise dos registros de consumo de itens. O SILOMS registra eventos do tipo “consumo” em toda ocasião que um item é retirado do estoque para aplicação na frota, portanto todos os casos estão associados a ocorrências prévias de falhas.

Existe a possibilidade de ocorrência de falhas em momentos de indisponibilidade de itens em estoque (*backorders*), gerando um descompasso temporal na relação direta entre os registros de falhas e consumo. Todavia, a outra alternativa para definição das taxas de falha utilizaria a base de dados de fichas de dados de defeito, que possui uma fração relevante de registros inconsistentes e depende de depuração manual.

Definir a taxa de falha por meio dos dados de consumo faz uso de uma consulta automatizada e seus registros são consistentes, ao passo que os dados obtidos a partir de fichas de defeitos depende de uma verificação manual. A análise do espaço amostral de itens modelos nesse trabalho se tornaria impraticável se feita a partir de dados de defeito. Entende-se que a qualidade das informações inseridas no modelo é maior pela definição de taxas de falha a partir dos dados consumo. As diferenças causadas por *backorders* são suavizadas por uma maior amostragem, enquanto o volume de dados obtidos é precisamente a vantagem que favorece a análise de registros de consumo.

Dessa maneira, foram consideradas todas as ocorrências de consumo dos itens modelados registradas no SILOMS entre os anos de 2021 a 2023 e os respectivos esforços aéreos no período, totalizando 2782 registros para composição de valores médios de taxa de falha por hora de voo.

### **3.2.3 Lotação de aeronaves e esforço aéreo**

A Diretoria de Material Aeronáutico e Bélico define metas de disponibilidade, assim como o número de aeronaves distribuídas aos operadores (TDA) em seu módulo de Informações Gerenciais do SILOMS. Estes dados foram usados para definição do número de sistemas do modelo, assim como do esforço aéreo anual atribuído aos esquadrões. Os dados seguem resumidos na Tabela 3.1. O esforço aéreo atribuído a cada unidade foi igualmente distribuído entre as aeronaves.

Tabela 3.1 – Número de aeronaves distribuídas e esforço aéreo atribuído aos esquadrões.

Projeto	Unidade	Esforço aéreo anual (HV)	TDA	Meta disp.
C-95	IPEV	300	1	1
C-95	PAMALS	200	1	1
C-95	PAMASP	200	1	1
C-95	1 ETA	1100	3	2
C-95	2 ETA	900	3	2
C-95	3 ETA	1800	5	3
C-95	5 ETA	1050	2	1
C-95	6 ETA	580	3	2
C-95	1/5 GAV	4500	11	6
T-27	IPEV	300	2	1
T-27	1 EIA	13500	33	20
T-25	2 EIA	8000	33	20

Fonte: Os autores (2023).

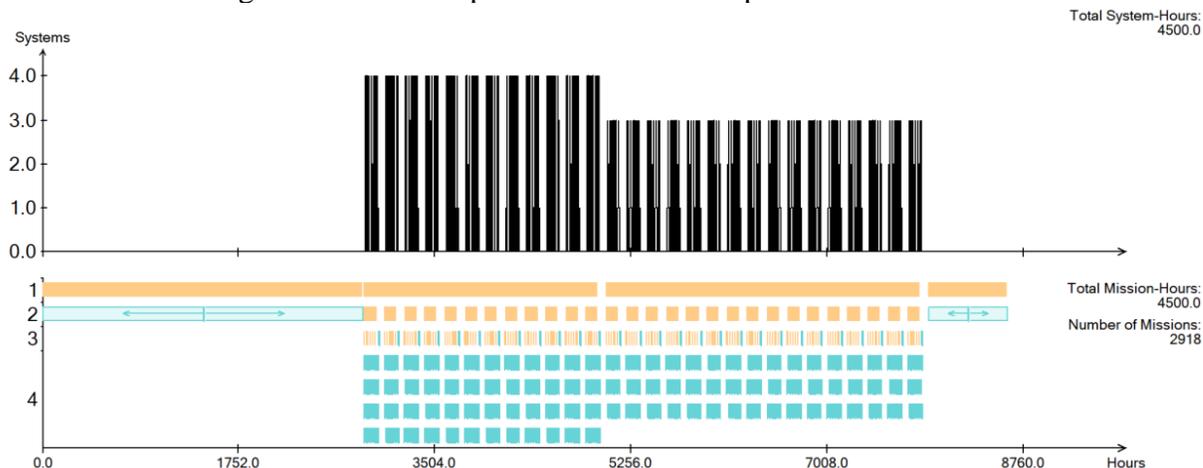
### 3.3 SIMULAÇÕES DE MONTE CARLOS USANDO O SIMLOX

A fim de complementar a análise estacionária do modelo em OPUS, foram realizadas simulações de Monte Carlo utilizando o *software* SIMLOX. O esforço aéreo impresso sobre a estrutura operacional e de suporte logístico modelada foi descrita com maior nível de detalhe a fim de representar a rotina de voos dos esquadrões de instrução, assim como aproximar o padrão inopinado de realização de missões pelos esquadrões de transporte.

O período de simulação foi definido como três anos, coincidindo com a vigência restante dos contratos em análise. A simulação foi realizada com 1000 replicações a fim de demonstrar os padrões de comportamento da frota frente a distribuição heterogênea de esforço aéreo e ocorrências de falhas ao longo dos ciclos anuais. Ademais, uma simulação do período de três anos com apenas uma replicação foi realizada a fim de destacar casos extremos de variabilidade cuja ocorrência é possível. Nesse caso, cada replicação executada apresenta resultados de disponibilidade completamente distintos em razão da natureza aleatória da ocorrência de falhas dos itens.

Um exemplo dos perfis operacionais modelados é apresentado na Figura 3.1. Trata-se do esforço aéreo desenvolvido pelo esquadrão de instrução dos C-95, 1<sup>o</sup>/5<sup>o</sup> GAV.

Figura 3.1 – Perfil operacional modelado para o 1<sup>o</sup>/5<sup>o</sup> GAV.



Fonte: SIMLOX (2023).

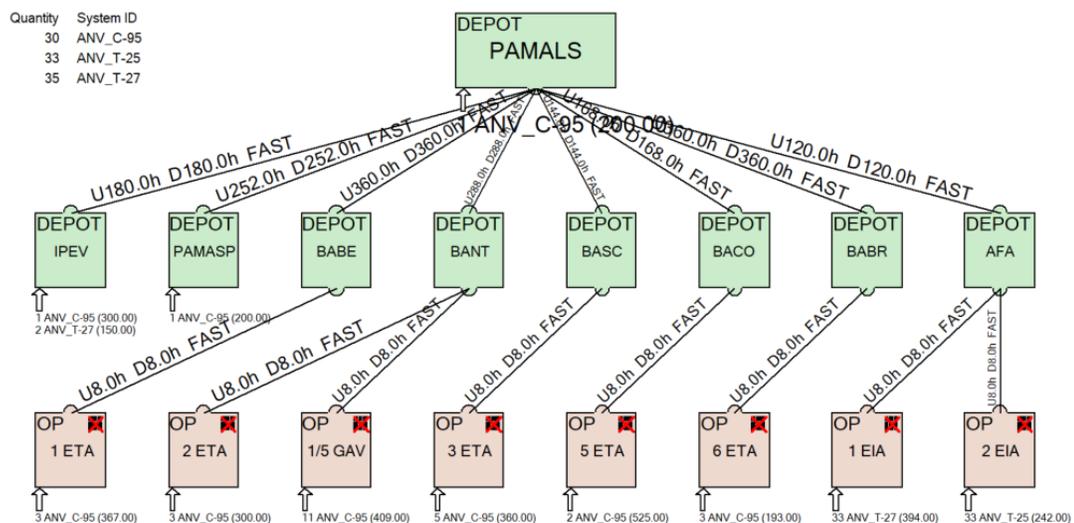
Neste exemplo de perfil operacional há quatro blocos principais que caracterizam o perfil das missões realizadas dentro de um ciclo anual. Entre janeiro e abril, as horas de voo são exclusivamente dedicadas a adaptação de instrutores e tripulantes do esquadrão, assumindo um comportamento aleatório em termos de momento de saída. Em maio, são iniciadas as instruções dos aspirantes, havendo alta frequência de saídas de curta duração ao longo dos dias úteis. Entre agosto e novembro, o perfil das instruções se volta para navegações, cuja frequência é menor, e a duração é maior. Em dezembro, as instruções são encerradas e se reinicia o ciclo de preparação do quadro de instrutores e tripulantes do esquadrão.

#### 4 ESTRUTURA DE ESQUADRÕES SUPORTADA

A estrutura de suporte logístico modelada no OPUS10 segue ilustrada na Figura 3.1. Ela inclui todos os esquadrões e bases onde são operadas as aeronaves T-25, T-27 e C-95, além do Parque Central responsável pelo suporte às aeronaves que é o PAMALS. Os esquadrões foram destacados (indicado pela sigla OP) e ligados às suas respectivas sedes. Os PAMALS, PAMASP e IPEV são unidades com capacidade de armazenagem de materiais (indicados por *depot*) e que possuem aeronaves.

Neste modelo o PAMALS é a única unidade com capacidade de reparo de itens, e ela consolida a representação de uma estrutura de manutenção terceirizada estabelecida por meio de contratos geridos pelo próprio PAMALS.

Figura 4.1 – Estrutura de suporte logístico das aeronaves T-25, T-27 e C-95 modelada.



Fonte: Os autores (2023).

## 5 RESULTADO E DISCUSSÃO

### 5.1 CURVAS DE DISPONIBILIDADE E CUSTOS

Como primeiro resultado e principal referência para as demais análises, foram geradas as curvas de máxima eficiência considerando disponibilidade versus custos do suporte logístico para

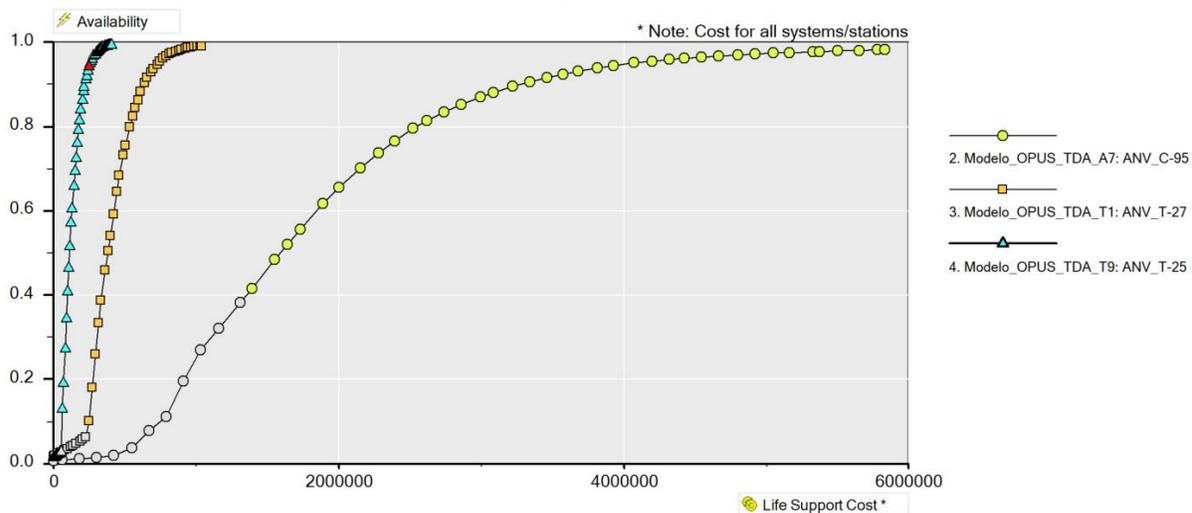
as aeronaves T-25, T-27 e C-95. O Gráfico 5.1 apresenta os resultados do modelo considerando o período de operação de 1 ano.

Cada ponto das curvas apresentadas no Gráfico 5.1 representa uma sugestão de estoque de giro, assim como sua alocação entre os armazéns existentes. Um dado ponto representa a melhor disposição possível de estoque, em termos de disponibilidade média esperada, para seu valor associado de custo de suporte do ciclo de vida.

Destaca-se que os pontos iniciais das curvas de todos os projetos (pontos na cor cinza) representam níveis de estoque insuficientes para o cumprimento do esforço aéreo imposto ao modelo. À medida que se eleva a sugestão de quantidade de itens de giro, e paralelamente o custo de investimento, o modelo alcança um patamar em que a estrutura logística se torna capaz de sustentar o esforço aéreo esperado para cada um dos projetos.

As aeronaves C-95 apresentaram o maior custo mínimo necessário para cumprimento do esforço aéreo. Um dos fatores que influênciam esse resultado são os dispersos operadores desta aeronave se comparada aos T-25 e T-27, centralizados na AFA. A otimização da disponibilidade com um maior número de operadores se dá pela composição de estoques remotos, e de um maior estoque centralizado no PAMALS, de maneira que o inventário total se torna muito superior que do T-25 e T-27. Este resultado será analisado em maior detalhe na seção 5.2 e demonstrado nas tabelas de alocação de estoque do Anexo I.

Gráfico 5.1 – Curvas de disponibilidade e custos do ciclo de vida.



Fonte: Os autores (2023).

As curvas de disponibilidade das três aeronaves atingem patamares de estagnação, onde a elevação dos estoques de giro, e do custo associado, não mais oferece incrementos significativos de disponibilidade. O patamar máximo atingido pelos C-95 está associado a um custo de investimento muito superior aos T-25 e T-27.

Em contrapartida, a razão de aumento da disponibilidade percebido nas curvas dos T-25 e T-27 é associado à existência de operadores praticamente únicos, sendo os 1º e 2º EIA localizados na AFA. Neste cenário, cada incremento de custo representa a aquisição de itens de giro para direto atendimento de eventuais panes, pois esses são estocados na própria AFA, próximos da linha de voo.

## 5.2 NÍVEIS DE ESTOQUE DE GIRO E DISPONIBILIDADE MÉDIA

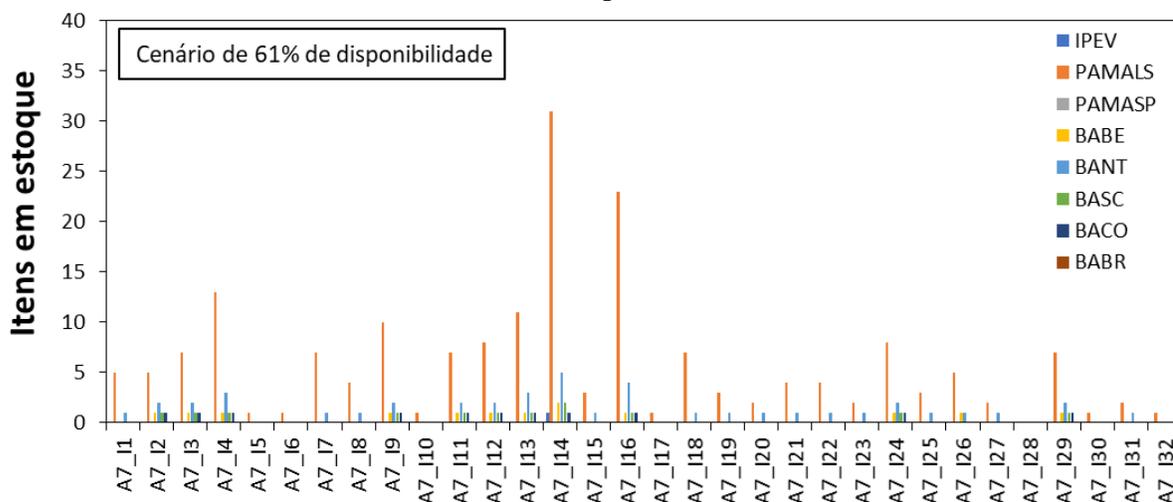
Cada um dos projetos possui uma meta de disponibilidade média ao longo do período de um ano estabelecida pela DIRMAB. Este valor foi assumido como primeira referência para verificação da alocação de estoques proposta pelos resultados dos modelos no OPUS10 (apresentadas na seção 5.1). Para o projeto C-95 a meta é de 60%, ao passo que para T-25 e T-27 é de 70%. A alocação de estoques de giro foi verificada nos pontos de disponibilidade imediatamente superior às respectivas metas.

Todavia, é fundamental considerar que o modelo elaborado não abarca a totalidade de ações de manutenção envolvidas na operação das aeronaves. Inspeções periódicas das aeronaves, que implicam períodos de indisponibilidades obrigatórios, não foram modelados. Há também diversos itens reparáveis e consumíveis, sujeitos a falhas e que por consequência causam períodos de indisponibilidade, não incluídos no modelo. O resultado dessa modelagem parcial do suporte logístico é que a métrica de disponibilidade se torna superestimada, pois desconsidera a existência de quaisquer outras causas de *backorders* ou indisponibilidades programadas.

Dessa maneira, estabelecer estoques tais que sejam minimamente atingidas as respectivas metas de disponibilidade certamente implicaria em resultados práticos aquém do esperado. Portanto, um segundo limiar de disponibilidade foi estabelecido em 95% a fim de analisar um cenário extremo de minimização de *backorders*. Este patamar se aproxima da plena disponibilidade dos itens modelados, de forma que as causas de indisponibilidade de aeronaves se concentrariam nos aspectos da manutenção não modelados neste trabalho.

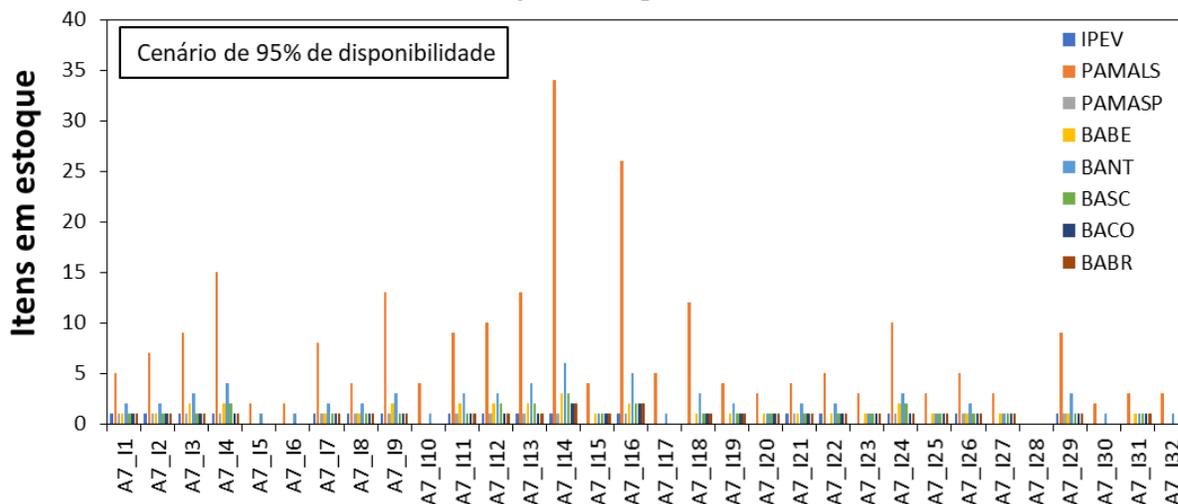
Serão trazidas nas figuras a seguir comparações para o projeto C-95 entre os dois patamares de disponibilidade. O Gráfico 5.2 apresenta a alocação obtida como resultado do cenário de atendimento da meta de disponibilidade (61%), enquanto o gráfico 5.3 traz o resultado para o cenário de maior disponibilidade proposto (95%).

Gráfico 5.2 – Alocação de estoque de giro entre os diversos operadores de C-95 para atingimento da meta de disponibilidade.



Fonte: Os autores (2023).

Gráfico 5.3 – Alocação de estoque de giro entre os diversos operadores de C-95 para maximização da disponibilidade.



Fonte: Os autores (2023).

A análise dos gráficos 5.2 e 5.3 demonstra que a otimização da disponibilidade é fundamentalmente atrelada ao *mix* de itens armazenados no estoque central. Em ambos os cenários, o PAMALS é a unidade que possui maior estoque total e individual de itens. Esta é uma característica associada à presença de diversos operadores.

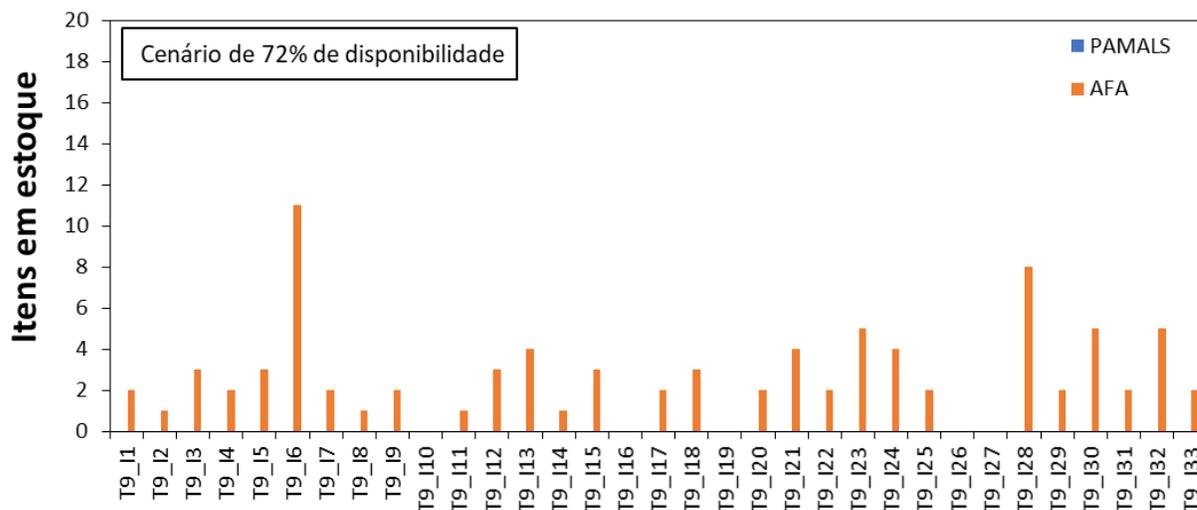
A elevação do patamar de disponibilidade, todavia, não está associada a um aumento significativo das quantidades já existentes no estoque central do PAMALS. Percebe-se que esse resultado deriva da composição de pequenos estoques descentralizados, abarcando a maioria dos itens na maioria dos operadores. Os dados apresentados de forma gráfica estão expostos em tabelas no Anexo I, e nelas se demonstra a existência de ao menos um item em estoque dentre a variedade analisada em cada um dos operadores. A unidade que se destaca dessa tendência é a BANT, e isto é explicado pelo seu perfil operacional distinto, especialmente pelo esforço aéreo anual muito superior às demais. Em razão do maior número de aeronaves, dada a presença de dois esquadrões 2° ETA e 1°/5° GAV, e rotina de voos mais intensa, os estoques estabelecidos na BANT são em todos os casos iguais ou maiores que dos demais operadores.

Ademais, como ilustração de um cenário operacional distinto, serão apresentados os resultados de alocação de estoques para o T-25 nos gráficos 5.4 e 5.5. Nesse caso, há um único operador, o 2° EIA na AFA, e percebe-se que não são sugeridos estoques no órgão central, PAMALS. Tanto no cenário de menor, quanto de maior disponibilidade, os estoques de itens são inteiramente mantidos na unidade operacional, a AFA. Neste caso, o aumento do patamar de disponibilidade é diretamente associado ao aumento dos níveis de estoque.

Outro aspecto de destaque ao comparar os resultados dos dois projetos é a quantidade máxima sugerida para itens individualmente. Há dois itens dos C-95 cujos estoques de giro superam 30 unidades, ao passo que nenhum dos itens dos T-25 atinge sequer 15 unidades. Novamente, há o efeito do maior número de operadores, e do maior esforço aéreo anual do projeto C-95. Entretanto, os dois casos excepcionais se sobressaem mesmo quando comparados a outros itens da própria aeronave. Tratam-se de itens cujas taxas de falha são também muito superiores aos valores médios observados. São os freios e bomba hidráulica dos C-95, itens cujos reportes de

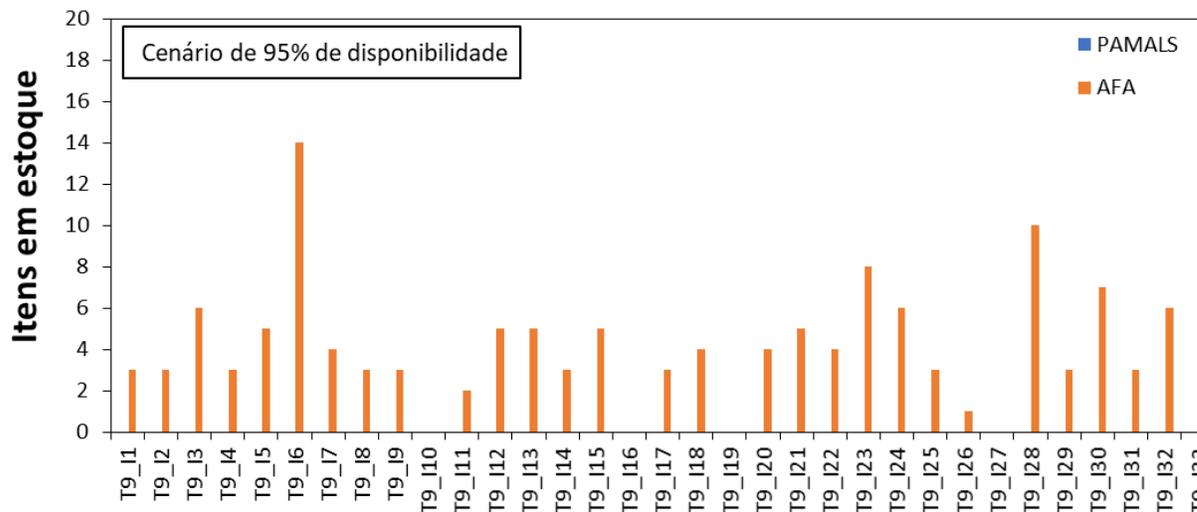
falhas têm aumentado sobremaneira no passado recente de operação, apresentando panes e indícios típicos do fim da vida útil de componentes mecânicos.

Gráfico 5.4 – Alocação de estoque de giro para atingimento da meta de disponibilidade dos T-25.



Fonte: Os autores (2023).

Figura 5.5 – Alocação de estoque de giro para maximização da disponibilidade dos T-25.



Fonte: Os autores (2023).

A seguir, a tabela 5.1 resume os resultados financeiros das análises, apresentando os investimentos necessários para atingimento de dois níveis de estoque de giro, além do custo anual de manutenção. Novamente os valores do projeto C-95 são superiores. O salto de custo de investimento para composição do estoque de giro entre os cenários de menor e maior disponibilidades apresentados também é mais significativo para os C-95.

Tabela 5.1 – Custos para estabelecimento dos estoques de giro e de manutenção anual de itens

Projeto	Investimento em estoque giro		Custos anuais de manutenção	
	Meta de dispondeu.	Disp. = 95%	Meta de disponib.	Disp. = 95%
C-95	R\$ 1,891,536.90	R\$ 4,068,505.72	R\$ 5,968,317.56	R\$ 5,968,317.56
T-25	R\$ 154,818.71	R\$ 258,001.19	R\$ 444,002.99	R\$ 444,002.99
T-27	R\$ 488,728.20	R\$ 747,092.68	R\$ 1,499,335.59	R\$ 1,499,335.59

Fonte: Os autores (2023).

A grande diferença em ordem de grandeza dos custos totais dos projetos não é diretamente representativa dos respectivos custos totais de operação. É importante ressaltar que o número de itens de cada projeto inseridos nos modelos é diferente, além de representarem apenas uma parcela dos itens que compõem a totalidade das configurações reais das aeronaves. Ainda assim, é válido mencionar que, conforme estabelecido pelos contratos, o custo unitário médio de reparo de itens dos T-25 é o menor, seguido pelo T-27, e por último o C-95. A mesma sequência foi observada nos valores de taxas de falha. Por fim, essa tendência é verificada nos resultados globais de custo.

Os custos anuais de manutenção são independentes do nível de disponibilidade observado, pois no modelo em OPUS10, as ações de manutenção derivam exclusivamente do esforço aéreo pretendido e das taxas de falha dos itens.

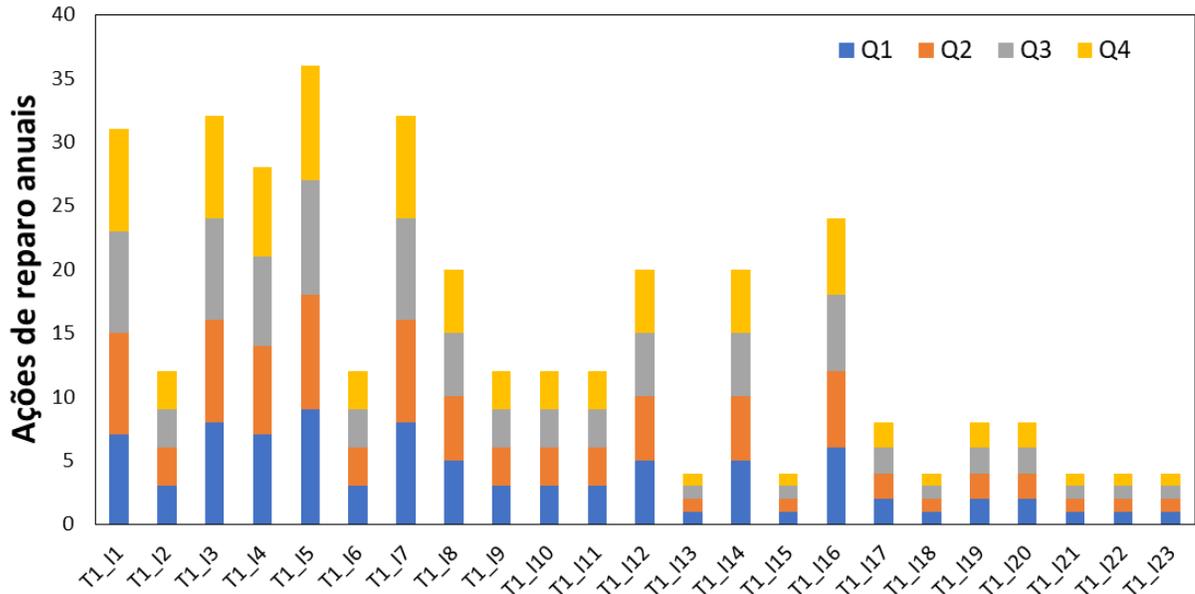
### 5.3 SEQUENCIAMENTO E PRIORIZAÇÃO DE ORDENS DE SERVIÇO

Os resultados obtidos pelo modelo no OPUS10 apontam os custos anuais de manutenção, que podem ser entendidos como um custo base para operação. Esses custos são resultados do número de falhas esperadas ao longo do esforço aéreo anual programado, sendo independentes do estoque de giro estabelecido ou da disponibilidade alcançada. Em termos práticos, o planejamento mínimo de ordens de serviço realizadas anualmente por meio dos contratos deve contemplar estes custos de manutenção.

Propõe-se, portanto, dividir igualmente o número de ações de manutenção previstas para um ano entre quatro trimestres. Esta metodologia se adequa à distribuição de orçamento concentrada e às expectativas de rápida execução, uma vez que é organizada em quatro grandes lotes. Como ilustração, o gráfico 5.6 traz a distribuição de ações de reparo ao longo de um ano para os T-27.

É evidente que planejar o número de ordens de serviço exclusivamente a partir do número de panes esperado não é suficiente para manter a disponibilidade, especialmente num cenário onde o estoque de itens utilizáveis está quase inteiramente depletado, e há um grande acervo de itens a reparar ainda não inserido no *pipeline* de manutenção. É neste ponto que a composição de estoques de giro se traduz em disponibilidade do sistema. Ao complementar o planejamento de ordens de serviço com as sugestões de giro apresentadas na seção 5.4 se faz factível sustentar o esforço aéreo e níveis de disponibilidade pretendidos.

Gráfico 5.6 – Proposta de divisão de ordens de serviço dos T-27 em quadrimestres.

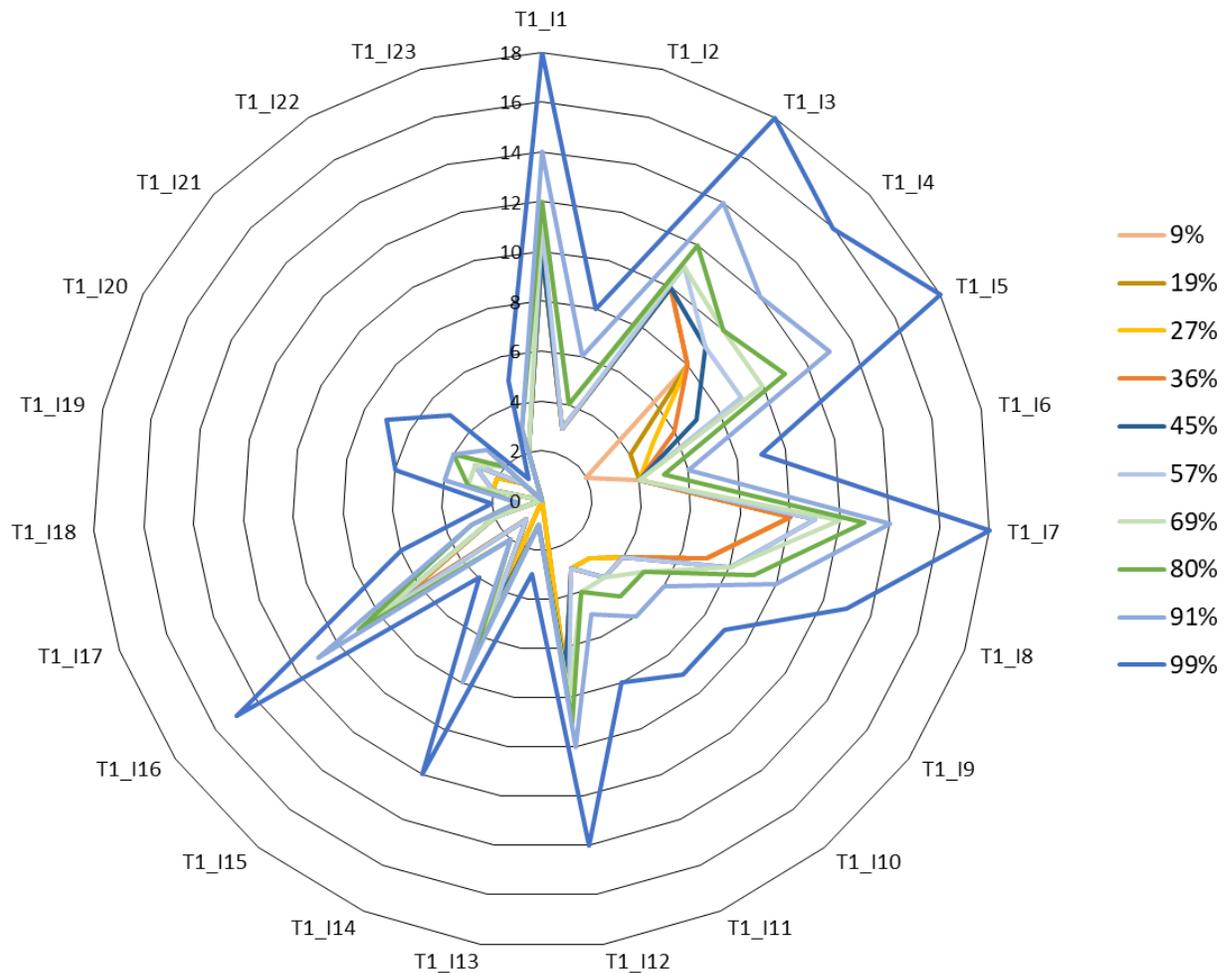


Fonte: Os autores (2023).

Neste sentido, as sugestões de estoques de giro associados a cada um dos pontos das curvas de disponibilidade apresentados no gráfico 5.1 foram analisados em incrementos de 10%. Foi realizada a análise marginal de elevação de níveis de estoque a fim de identificar os incrementos de maior relevância para elevação da disponibilidade sistêmica. Por conseguinte, foram gerados 10 lotes de indução de ordens de serviço, associados ao aumento do estoque de giro, e escalonados pelo nível de disponibilidade média esperada. Assim, o excedente orçamentário disponível pode ser priorizado de acordo com a sequência proposta. O gráfico 5.7 demonstra a evolução dos níveis de estoque de giro à medida que a disponibilidade média aumenta. Cada uma das curvas apresentadas nessa figura pode ser compreendida como um lote de ordens de serviço.

É possível identificar semelhanças entre os resultados trazidos pelos gráficos 5.6 e 5.7. Em especial que os itens para os quais há os maiores números de ações de reparo previstos (gráfico 5.6) são também aqueles para os quais são sugeridos os maiores estoques de giro (gráfico 5.7), assim como os que apresentam os maiores incrementos nos níveis de estoque de giro entre cada lote (gráfico 5.7).

Gráfico 5.7 – Lotes de ordens de serviço para recomposição de estoques de giro obtidos a partir da análise marginal das curvas de disponibilidade dos T-27.



Fonte: Os autores (2023).

#### 5.4 VARIABILIDADE DA DISPONIBILIDADE AO LONGO DO TEMPO

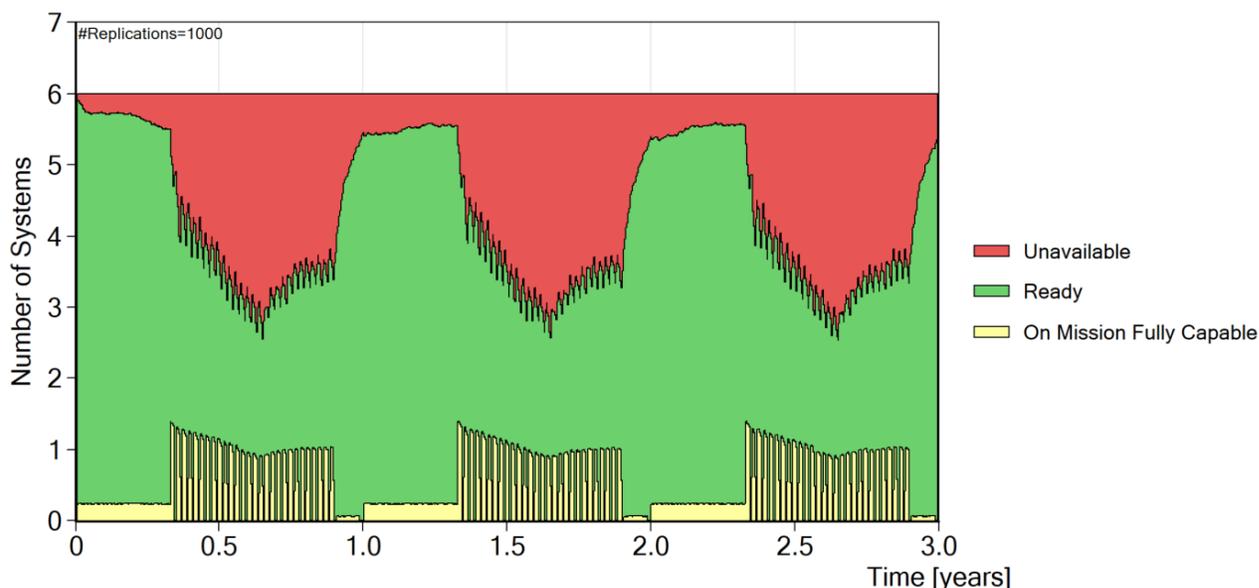
A disponibilidade média se apresenta como um indicador com grande capacidade de síntese do desempenho geral de uma estrutura de suporte logístico, todavia pode esconder insuficiências em períodos específicos de operações mais intensas. Os resultados obtidos a partir dos modelos em OPUS10 refletem o comportamento médio da disponibilidade dos projetos. Isto significa que, ao longo do tempo, há períodos em que a disponibilidade oscila acima e abaixo desse valor.

A fim de evidenciar as fragilidades da estrutura modelada, as alocações de estoques geradas em OPUS10 alimentaram simulações de Monte Carlo utilizando o software SIMLOX. As heterogeneidades dos perfis operacionais dos esquadrões são outro pilar fundamental das simulações, pois introduzem a variabilidade na frequência e duração das missões, e por consequência variabilidade no fluxo de itens pela estrutura de suporte logístico.

Os gráficos 5.8 e 5.9 apresentam os resultados de disponibilidade ao longo de três anos de operação do 1º/5º GAV. O perfil operacional modelado segue ciclos anuais, tal como apresentado na figura 3.1, e a alocação de estoque atribuída refere-se ao ponto de 67% de disponibilidade média

oferecido pelo OPUS10. No gráfico 5.8, o resultado refere-se a 1000 replicações da simulação, de maneira que as variações são suavizadas, mas ainda representam o efeito da distribuição heterogênea do esforço aéreo ao longo do tempo. Já o gráfico 5.9 apresenta o resultado de uma única replicação, e evidencia os extremos de disponibilidade que podem ocorrer em curtos períodos.

Gráfico 5.8 – Resultado de 1000 replicações da simulação de três anos de operação do 1º/5º GAV.

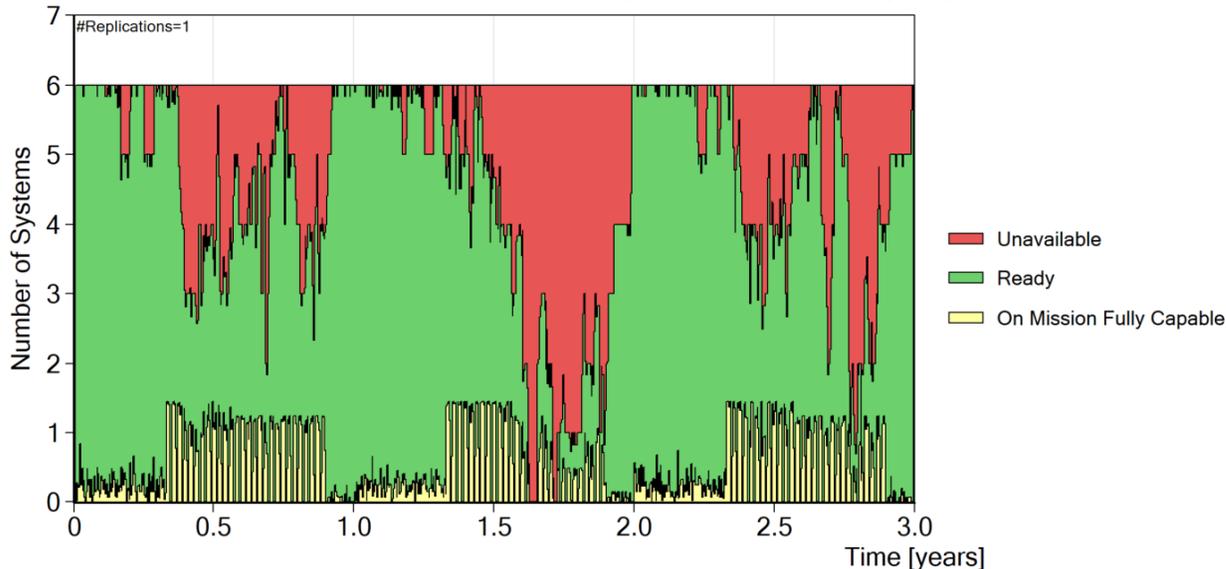


Fonte: Os autores (2023).

Percebe-se pelo gráfico 5.8 que o início e fim dos ciclos anuais são períodos de menor intensidade de operação, e maiores níveis de disponibilidade são mantidos. Contudo, entre maio e setembro, enquanto as instruções aos aspirantes da aviação de transporte são realizadas, a disponibilidade é comprometida. A degradação da disponibilidade é mais acentuada entre abril e julho, especificamente quando é desenvolvido o maior esforço aéreo. A seguir, entre julho e setembro, o perfil das instruções é alterado e ocorre uma leve tendência de recuperação da disponibilidade. Ainda assim, as oscilações são marcantes ao longo de todo período, ao ponto de comprometerem a realização de algumas missões. Esse comprometimento se torna mais evidente pelo resultado trazido no gráfico 5.10, que demonstra o tempo acumulado de missões realizadas e abortadas pela indisponibilidade.

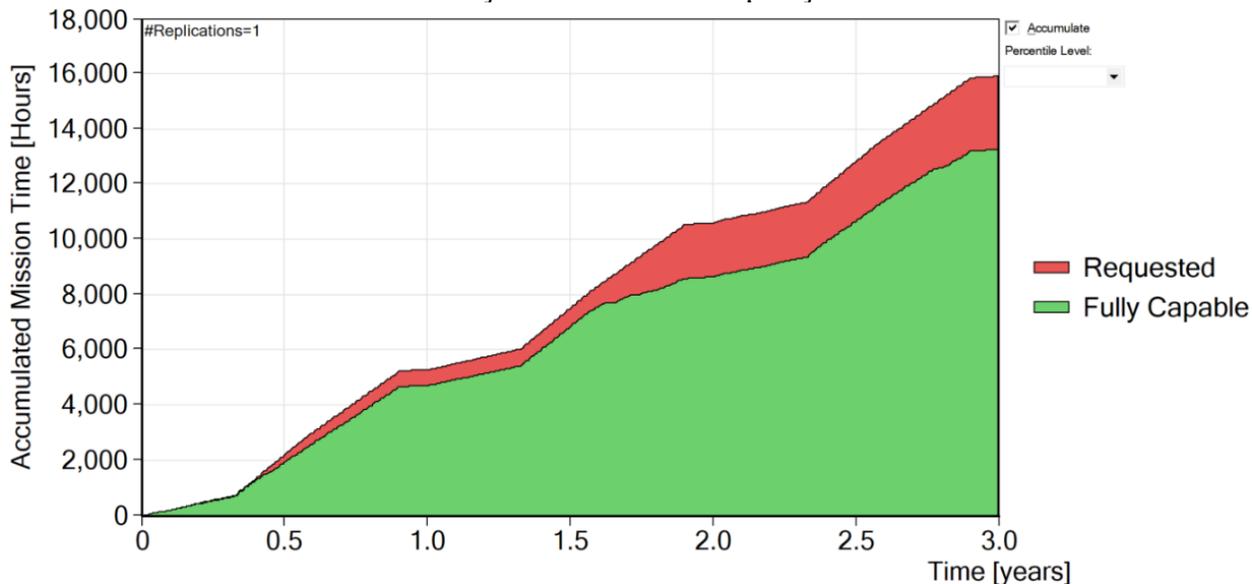
A principal constatação a partir dos resultados apresentados é evidenciar a existência de períodos em que a disponibilidade oscila significativamente abaixo do valor médio de 67% associado ao cenário simulado em OPUS10. Novamente, as limitações do modelo devem ser consideradas e devem reforçar a percepção da fragilidade da operação suportada por esta estrutura logística. Mesmo neste cenário cuja alocação de estoques é próxima da ideal, há eventos em que missões são abortadas, e a frequência com que ocorrem indisponibilidades seria potencializada em modelos mais completos da operação dos projetos.

Gráfico 5.9 – Resultado de uma única simulação de três anos de operação do 1º/5º GAV.



Fonte: Os autores (2023).

Gráfico 5.10 – Tempo acumulado de missões do 1º/5º GAV ao longo de uma replicação da simulação de três anos de operação.



Fonte: Os autores (2023).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Retomando o objetivo geral, a partir da modelagem da estrutura de Parques de Material Aeronáutico e Operadores em OPUS10, são apresentadas propostas de alocação de estoques de giro baseadas na otimização da disponibilidade sistêmica dos projetos C-95, T-25 e T-27. Demonstrou-se a relevância de estoques centralizados e descentralizados em diferentes cenários, tal como para os T-25, operados exclusivamente na Academia da Força Aérea, em contraponto aos C-95, operados em diversos esquadrões espalhados pelo país. É possível identificar também itens

críticos a operação dessas aeronaves, destacando-se pela elevada quantidade de estoque de giro sugerida.

Analisando os incrementos nos níveis de estoques de giro associados a elevação da disponibilidade sistêmica média, são apresentados planos para o sequenciamento de ordens de serviço para recomposição gradual do inventário efetivamente destinado para giro. A análise marginal de níveis de estoque e disponibilidade média constitui um método compatível com a dinâmica orçamentária no âmbito da DIRMAB, pois permite estabelecer lotes econômicos para recomposição dos estoques de giro desvinculados da variável tempo, adequando-se à imprevisibilidade na liberação de recursos.

Como complemento às análises em OPUS10, os resultados de disponibilidade média e alocação de estoques foram submetidos a simulações de Monte Carlo em SIMLOX, nas quais são empregadas reproduções fiéis dos perfis operacionais dos esquadrões dos C-95, T-25 e T-27. Torna-se evidente que a variabilidade da distribuição de esforço aéreo resulta em grandes flutuações da disponibilidade ao longo do tempo, ao ponto de sobrecarregar o circuito de reparos sobremaneira e tornar inviável o cumprimento de missões ao longo de dias. Contudo, há períodos em que a disponibilidade de aeronaves é integral. Demonstrar a natureza estatística desses resultados é fundamental para o alinhamento de expectativas junto a alta gerência logística, assim como fomentar outras possíveis estratégias para o gerenciamento de riscos associados à indisponibilidade.

Este trabalho demanda a ampliação da gama de itens modelados e um maior aprofundamento em análises de sensibilidade da estrutura de suporte terceirizado, e suas respectivas soluções para estoques de giro, a parâmetros como o *turn around time*, que é a principal métrica de controle de contratos de manutenção externa.

Além disso, propõe-se que sejam investigadas as distribuições de panes de equipamentos ao longo do calendário anual de operação levando em conta os perfis operacionais dos esquadrões a partir das simulações em SIMLOX. Isto poderá revelar a ocorrência de picos de demanda e contribuir para o melhor sequenciamento e distribuição de ordens de serviço ao longo do calendário anual.

## REFERÊNCIAS

ADAMS, Christopher M. et al. Inventory optimization techniques, system vs. item level inventory analysis. **Annual Symposium Reliability and Maintainability, 2004-RAMS**. IEEE, 2004.

ALFREDSSON, Patrik. **OPRAL – A Model for Optimum Resource Allocation**. Systecon AB, Box 5205, Stockholm, Sweden, 1999.

AL-MOMANI, Hesham et al. The efficiency of using a tailored inventory management system in the military aviation industry. **Heliyon**, v. 6, n. 7, 2020.

BRASIL. Ministério da Defesa, Comando da Aeronáutica, Comando-Geral de Apoio, Diretoria de Material Aeronáutico e Bélico. **MCA 66-7 Manual de manutenção: doutrina, processos e documentação de manutenção**. Rio de Janeiro, RJ, 2017.

DOWNING, Matthew et al. Forecasting in air-force supply chains. **The International Journal of Logistics Management**, v. 22, n. 1, p. 127-144, 2011.

FIGUEIREDO, Mariane Camargos; SCANFONE, Leila; MOTA, Daniel Coelho. Análise do impacto do Turnaround Time de reparáveis na disponibilidade da frota do Projeto C-95M. **Revista Defesa e Segurança**, v. 4, p. 42-60, 2019.

FONTAINE, Danielle. **GE Aviation Inventory Management**. Tese de Doutorado. Worcester Polytechnic Institute, 2011.

LAU, Hoong Chuin; SONG, Huawei. Evaluation of Time-Varying Availability in Multi-Echelon Inventory System with Combat Damage. **IEEE Conference on Automation Science and Engineering (CASE)** 1-2 August, Edmonton: Proceedings, p. 226-231, 2005.

MAY, Benjamin Isaac; ATKINSON, Michael P.; FERRER, Geraldo. Applying inventory classification to a large inventory management system. **Journal of Operations and Supply Chain Management (JOSCM)**, v. 10, n. 1, p. 68-86, 2017.

POOLER, Victor H.; POOLER, David J.; FARNEY, Samuel D. **Global purchasing and supply management: Fulfill the vision**. Springer Science & Business Media, 2004.

SCALA, Natalie M.; RAJGOPAL, Jayant; NEEDY, Kim LaScola. A base stock inventory management system for intermittent spare parts. **Military Operations Research**, v. 18, n. 3, p. 63-77, 2013.

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

SHERBROOKE, Craig C. **Optimal inventory modeling of systems: Multi-echelon techniques**. Springer Science & Business Media, 2004.

SLAY, F. M. VARI-METRIC: An Approach to Modelling Multi-Echelon Resupply when the Demand Process is Poisson with a Gamma Prior. **Logistics Management Institute**, Washington, D.C. Report AF301-3, 1984.

SYSTECON AB, **OPUS10 Algorithms and methods**, [S.I.], Version 10, 2014.

TYSSELAND, Bernt E. Spare parts optimization process and results: OPUS10 cases in the Norwegian Defence. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 39, n. 1, p. 8-27, 2009.

VAEZ-ALAEI, Maliheh et al. Target stock level and fill rate optimization for worldwide spare parts inventory management: A case study in business aircraft industry. **2018 IEEE International Conference on Technology Management, Operations and Decisions (ICTMOD)**. IEEE, 2018.

VERHOEFF, M.; VERHAGEN, W. J. C.; CURRAN, Richard. Maximizing operational readiness in military aviation by optimizing flight and maintenance planning. **Transportation Research Procedia**, v. 10, p. 941-950, 2015.

WIJK, Olle; ANDERSSON, Patric. Simulation as support for PBL Contract Design. **eMaintenance**, p. 37, 2012.

WU, Muh-Cherng; HSU, Yang-Kang. Design of BOM configuration for reducing spare parts logistic costs. **Expert Systems with Applications**, v. 34, n. 4, p. 2417-2423, 2008.

## ANEXO I

**Tabela 1 – Alocação de estoques proposta para 61% de disponibilidade dos C-95.**

Point 17 - Disponibilidade 61%									
Item	Total	IPEV	PAMALS	PAMASP	BABE	BANT	BASC	BACO	BABR
A7_I1	6		5			1			
A7_I2	11		5		1	2	1	1	1
A7_I3	13		7		1	2	1	1	1
A7_I4	20		13		1	3	1	1	1
A7_I5	1		1						
A7_I6	1		1						
A7_I7	8		7			1			
A7_I8	5		4			1			
A7_I9	16		10		1	2	1	1	1
A7_I10	1		1						
A7_I11	13		7		1	2	1	1	1
A7_I12	14		8		1	2	1	1	1
A7_I13	18		11		1	3	1	1	1
A7_I14	44	1	31	1	2	5	2	1	1
A7_I15	4		3			1			
A7_I16	31		23		1	4	1	1	1
A7_I17	1		1						
A7_I18	8		7			1			
A7_I19	4		3			1			
A7_I20	3		2			1			
A7_I21	5		4			1			
A7_I22	5		4			1			
A7_I23	3		2			1			
A7_I24	14		8		1	2	1	1	1
A7_I25	4		3			1			
A7_I26	7		5		1	1			
A7_I27	3		2			1			
A7_I28	0								
A7_I29	13		7		1	2	1	1	1
A7_I30	1		1						
A7_I31	3		2			1			
A7_I32	1		1						

**Tabela 2 – Alocação de estoques proposta para 95% de disponibilidade dos C-95.**

Point 36 - Disponibilidade 95%									
Item	Total	IPEV	PAMALS	PAMASP	BABE	BANT	BASC	BACO	BABR
A7_I1	13	1	5	1	1	2	1	1	1
A7_I2	15	1	7	1	1	2	1	1	1
A7_I3	19	1	9	1	2	3	1	1	1
A7_I4	27	1	15	1	2	4	2	1	1
A7_I5	3		2			1			
A7_I6	3		2			1			
A7_I7	16	1	8	1	1	2	1	1	1
A7_I8	12	1	4	1	1	2	1	1	1
A7_I9	23	1	13	1	2	3	1	1	1
A7_I10	5		4			1			
A7_I11	19	1	9	1	2	3	1	1	1
A7_I12	21	1	10	1	2	3	2	1	1
A7_I13	25	1	13	1	2	4	2	1	1
A7_I14	52	1	34	1	3	6	3	2	2
A7_I15	9		4		1	1	1	1	1
A7_I16	41	1	26	1	2	5	2	2	2
A7_I17	6		5			1			
A7_I18	19		12		1	3	1	1	1
A7_I19	10		4		1	2	1	1	1
A7_I20	8		3		1	1	1	1	1
A7_I21	12	1	4	1	1	2	1	1	1
A7_I22	12	1	5		1	2	1	1	1
A7_I23	8		3		1	1	1	1	1
A7_I24	21	1	10	1	2	3	2	1	1
A7_I25	8		3		1	1	1	1	1
A7_I26	13	1	5	1	1	2	1	1	1
A7_I27	8		3		1	1	1	1	1
A7_I28	0								
A7_I29	18	1	9	1	1	3	1	1	1
A7_I30	3		2			1			
A7_I31	8		3		1	1	1	1	1
A7_I32	4		3			1			

**Tabela 3 – Alocação de estoques proposta para 73% de disponibilidade dos T-27.**

<b>Point 24 - Disponibilidade 73%</b>				
<b>Item</b>	<b>Total</b>	<b>IPEV</b>	<b>PAMALS</b>	<b>AFA</b>
T1_I1	10		8	2
T1_I2	3		2	1
T1_I3	10		8	2
T1_I4	9		7	2
T1_I5	8		6	2
T1_I6	4		3	1
T1_I7	11		8	3
T1_I8	8		6	2
T1_I9	4		3	1
T1_I10	4		3	1
T1_I11	3		2	1
T1_I12	8		6	2
T1_I13	1			1
T1_I14	5		3	2
T1_I15	1			1
T1_I16	8		6	2
T1_I17	2		1	1
T1_I18	0			
T1_I19	2		1	1
T1_I20	3		2	1
T1_I21	1			1
T1_I22	0			
T1_I23	2		1	1

**Tabela 4 – Alocação de estoques proposta para 95% de disponibilidade dos T-27.**

<b>Point 36 - Disponibilidade 95%</b>				
<b>Item</b>	<b>Total</b>	<b>IPEV</b>	<b>PAMALS</b>	<b>AFA</b>
T1_I1	14		11	3
T1_I2	6		4	2
T1_I3	14		11	3
T1_I4	12		9	3
T1_I5	13		10	3
T1_I6	6		4	2
T1_I7	14		11	3
T1_I8	10		7	3
T1_I9	6		4	2
T1_I10	6		4	2
T1_I11	5		3	2
T1_I12	10		8	2
T1_I13	2		1	1
T1_I14	8		6	2
T1_I15	2		1	1
T1_I16	10		8	2
T1_I17	4		3	1
T1_I18	1			1
T1_I19	4		3	1
T1_I20	5		3	2
T1_I21	3		2	1
T1_I22	0			
T1_I23	3		2	1

**Tabela 5 – Alocação de estoques proposta para 72% de disponibilidade dos T-25.**

<b>Point 20 - Disponibilidade 72%</b>			
<b>Item</b>	<b>Total</b>	<b>PAMALS</b>	<b>AFA</b>
T9_I1	2		2
T9_I2	1		1
T9_I3	3		3
T9_I4	2		2
T9_I5	3		3
T9_I6	11		11
T9_I7	2		2
T9_I8	1		1
T9_I9	2		2
T9_I10	0		
T9_I11	1		1
T9_I12	3		3
T9_I13	4		4
T9_I14	1		1
T9_I15	3		3
T9_I16	0		
T9_I17	2		2
T9_I18	3		3
T9_I19	0		
T9_I20	2		2
T9_I21	4		4
T9_I22	2		2
T9_I23	5		5
T9_I24	4		4
T9_I25	2		2
T9_I26	0		
T9_I27	0		
T9_I28	8		8
T9_I29	2		2
T9_I30	5		5
T9_I31	2		2
T9_I32	5		5
T9_I33	2		2

**Tabela 6 – Alocação de estoques proposta para 95% de disponibilidade dos T-25.**

<b>Point 32 - Availability 95%</b>			
<b>Item</b>	<b>Total</b>	<b>PAMALS</b>	<b>AFA</b>
T9_I1	3		3
T9_I2	3		3
T9_I3	6		6
T9_I4	3		3
T9_I5	5		5
T9_I6	14		14
T9_I7	4		4
T9_I8	3		3
T9_I9	3		3
T9_I10	0		
T9_I11	2		2
T9_I12	5		5
T9_I13	5		5
T9_I14	3		3
T9_I15	5		5
T9_I16	0		
T9_I17	3		3
T9_I18	4		4
T9_I19	0		
T9_I20	4		4
T9_I21	5		5
T9_I22	4		4
T9_I23	8		8
T9_I24	6		6
T9_I25	3		3
T9_I26	1		1
T9_I27	0		
T9_I28	10		10
T9_I29	3		3
T9_I30	7		7
T9_I31	3		3
T9_I32	6		6
T9_I33	3		3