

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



Roberto Renato Lima da Silva

Estudo da Desativação do Caça F-5M na Força Aérea
Brasileira a partir de Modelagem Computacional

*Trabalho de Conclusão do Curso de Especialização
em Análise Operacional – CEAO
2022*

***Pró-Reitoria de
Pós-Graduação***

Roberto Renato Lima da Silva

Estudo da Desativação do Caça F-5M na Força Aérea
Brasileira a partir de Modelagem Computacional

Orientador

Prof. Dr. Fernando Teixeira Mendes Abrahão – ITA-SP

Coorientador

Ten Cel Av Alexandre Dias Irigon – IAOp

Curso de Especialização em Análise Operacional – CEAO

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2022

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Divisão de Informação e Documentação

Silva, Roberto Renato Lima
Estudo da Desativação do Caça F-5M na Força Aérea Brasileira a partir de Modelagem Computacional/
Roberto Renato Lima da Silva.
São José dos Campos, 2022.
Número de folhas no formato 62f.

Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Especialização em Análise Operacional (CEAO). Área de concentração: Análise Operacional. Divisão de Ciências Fundamentais – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2022. Orientador: Prof. Dr. Fernando Teixeira Mendes Abrahão. Coorientador: Ten Cel Av Alexandre Dias Irigon.

1. Dimensionamento de frota. 2. Engenharia Logística. 3. Modelagem Computacional. 4. F-5. 5. Gripen. I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. II. Estudo da Desativação do Caça F-5M na Força Aérea Brasileira a partir de Modelagem Computacional.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, Roberto. Estudo da Desativação do Caça F-5M na Força Aérea Brasileira a partir de Modelagem Computacional. 2022. 62f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Lato Sensu) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Roberto Renato Lima da Silva.

TÍTULO DO TRABALHO: Estudo da Desativação do Caça F-5M na Força Aérea Brasileira a partir de Modelagem Computacional.

TIPO DO TRABALHO/ANO: TCC / 2022

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de conclusão de curso e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho de conclusão de curso pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

Roberto Renato Lima da Silva
CHEG, casa L-6, estrada para o CATRE s/nº,
Emaús, Parnamirim - RN. CEP: 59148-520.

Estudo da Desativação do Caça F-5M na Força Aérea Brasileira a partir de Modelagem Computacional

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Conclusão do Curso de Especialização em Análise Operacional – CEAO

Dr. Fernando Teixeira Mendes Abrahão
Orientador

Ten Cel Av Alexandre Dias Irigon
Coorientador

Dr. Mauri Aparecido de Oliveira
Coordenador do CEAO

Dra. Emilia Villani
Pró-Reitora de Pós-Graduação

ITA

São José dos Campos, 05 de AGOSTO de 2022

AGRADECIMENTOS

Ao chegar ao final deste curso desafiador com a conclusão deste trabalho, agradeço profundamente ao meu orientador, o Prof. Dr. Abrahão, pela abordagem exigente que nunca me permitiu vislumbrar uma zona de conforto, conseguindo extrair minha dedicação máxima, e por ter despertado em nós alunos aviadores o interesse pela logística em nossa profissão. Ao meu coorientador, o Ten Cel Irigon, pelos comentários sempre esclarecedores, pelas reuniões e conversas telefônicas, e pela mensagem transmitida de total disponibilidade sempre que precisei, a despeito das grandes demandas administrativas e dos compromissos. Ao PAMA-SP, nas pessoas do Ten Cel Freire e do Cap Jeferson. A este último meu mais sincero agradecimento pela disposição gratuita em me ajudar e por me ter disponibilizado dados complexos em tempo curto, o que seguramente lhe roubou tempo de suas tarefas ocupacionais. Aos professores com quem tive contato nesses últimos seis meses, profissionais pelos quais desenvolvi profunda admiração e que tanto nos mostraram o quanto de conhecimento nos faltava para tomar decisões inteligentes em nosso trabalho. À minha mulher, Carolina, pelo apoio incomensurável, pelas palavras de conforto nos dias mais difíceis e por conseguir identificar em mim e repelir qualquer pessimismo ou desânimo inerentes à rotina cansativa do curso. Por fim, aos meus companheiros de CEAO, irmãos com os quais vivi em conjunto as expectativas iniciais das disciplinas mais difíceis, a privação de sono das longas provas de estatística, o trabalho iterativo de tentar escrever um artigo científico perfeito, a tensão dos perguntórios das aulas de logística, agradeço o apoio mútuo de seis meses de intenso aprendizado. O ITA devolve aos esquadrões oficiais que contribuirão extremamente mais para a evolução da Força Aérea Brasileira.

RESUMO

Em 2014 a Força Aérea Brasileira assinou um contrato com a empresa sueca SAAB para a compra de 40 unidades da aeronave JAS 39 Gripen, que substituirão os caças F-5 atualmente em operação e cada vez mais sujeitos à obsolescência tecnológica e logística. Como o recebimento das novas aeronaves será gradativo até 2028, questiona-se qual seria o mais eficiente cronograma de desativação das aeronaves substituídas, já que o excesso de aeronaves em operação geraria custos inconvenientes à união e um número aquém do necessário poderia comprometer a soberania aérea do país. Nesse sentido, este trabalho buscou construir um cronograma ótimo da desativação do F-5 recorrendo aos *softwares* OPUS10 e SIMLOX, que permitiram a obtenção de valores médios anuais de disponibilidade. Observando que, não ocorrendo atrasos na entrega dos Gripen, as últimas aeronaves F-5 seriam desativadas ao final de 2027, os resultados mostram que *softwares* como os utilizados são capazes de trazer resoluções consistentes para problemas de dimensionamento de frotas, sendo especialmente relevantes à administração logística em atividades de suporte ao produto na fase de desativação.

Palavras-Chave: Dimensionamento de frota, Engenharia Logística, Modelagem Computacional, F-5, Gripen.

ABSTRACT

In 2014 the Brazilian Air Force signed a contract with the Swedish company SAAB for the purchase of 40 units of the JAS 39 Gripen, which will replace the F-5 fighters currently in operation and increasingly subject to technological and logistical obsolescence. As the receipt of the new aircraft will be gradual until 2028, the question that remains is what would be the most efficient deactivation schedule for the replaced aircraft, since the excess of ships in operation would generate inconvenient costs and a number less than necessary could compromise the air sovereignty of the country. So, this paper sought to build an optimal F-5 deactivation schedule using two softwares, OPUS10 and SIMLOX, which allowed obtaining annual average availability values. Observing that, if there were no delays in the delivery of Gripen, the last F-5 ship would be deactivated by the end of 2027, the results show that softwares such as the ones used are capable of bringing consistent resolutions to fleet sizing problems, being especially relevant to logistics management in product support activities during the retirement phase.

Keywords: Fleet sizing, Logistics Engineering, Computational Modeling, F-5, Gripen.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - LCC por fase do ciclo de vida.....	20
Figura 2 - Etapas do método utilizado.	31
Figura 3 - Procedimento de modelagem e simulação realizado para cada ano.	35
Figura 4 - Modelo de múltiplo escalão usado na modelagem.	39
Figura 5 - Disponibilidade média obtida das simulações de 2022.....	44
Figura 11 - Resultados do OPUS10 e SIMLOX para 2027, 2028 e 2029 num contexto de atraso.	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Ciclo de vida de sistemas na FAB.	19
Quadro 2 - Características da operação aérea simulada em 2022.	44
Quadro 3 - Conclusão quanto ao número de F-5 desativados em 2022.	45
Quadro 4 - Características da operação aérea simulada em 2023.	46
Quadro 5 - Conclusão quanto ao número de F-5 desativados em 2023.	46
Quadro 6 - Características da operação aérea simulada em 2024.	47
Quadro 7 - Conclusão quanto ao número de F-5 desativados em 2024.	47
Quadro 8 - Características da operação aérea simulada em 2025.	48
Quadro 9 - Conclusão quanto ao número de F-5 desativados em 2025.	49
Quadro 10 - Características da operação aérea simulada em 2026.	49
Quadro 11 - Conclusão quanto ao número de F-5 desativados em 2026.	50
Quadro 12 - Características da operação aérea simulada em 2027.	51
Quadro 13 - Conclusão quanto ao número de F-5 desativados em 2027.	51
Quadro 14 - Conclusão quanto ao número de F-5 desativados em 2026 no cenário de atraso.	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados dos 20 itens representativos do F-5..	33
Tabela 2 - Esforço aéreo anual da frota.	33
Tabela 3 - Calendário de entregas do Gripen.	34
Tabela 4 - Listas de aprovisionamentos ótimas identificadas pelo OPUS10.	52
Tabela 5 - Cronograma de desativação do F-5.....	52
Tabela 6 - Cronograma de entrega dos Gripen considerando um atraso a partir de 2026.....	53
Tabela 7 - Cronograma de desativação do F-5 considerando atraso na entrega do Gripen.	55
Tabela 8 - Custos anuais de suportabilidade da frota de F-5.....	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Percentual do LCC para diferentes fases e sistemas.....	21
Gráfico 2 - Exemplo de curva de Disponibilidade por LSC.	37
Gráfico 3 - Curva C/E para 2022.	43
Gráfico 4 - Curva C/E para 2023.	45
Gráfico 5 - Curva C/E para 2024.	46
Gráfico 6 - Curva C/E para 2025.	48
Gráfico 7 - Curva C/E para 2026.	49
Gráfico 8 - Curva C/E para 2027.	50
Gráfico 9 - Representação anual das frotas de F-5 e Gripen.	53
Gráfico 10 - Frotas de F-5 considerando o cenário normal e de atraso na entrega dos Gripen.	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1° GAVCA - 1° Grupo de Aviação de Caça

1° GDA - 1° Grupo de Defesa Aérea

1°/14° GAV - 1° do 14° Grupo de Aviação

A - *Availability* (disponibilidade)

AIA - *Aerospace Industries Association of America*

Ao - *Operational Availability* (Disponibilidade Operacional)

ASD - *AeroSpace and Defence Industries Association of Europe*

Curva C/E - Curva de custo/eficiência

DU - *Discardable Unit* (item consumível)

EBO - *Expected Backorder* (valor esperado de pedidos em aberto)

FAB - Força Aérea Brasileira

FR - *Failure Rate* (taxa de falhas)

HPP - *Homogeneous Poisson Process* (processo de Poisson homogêneo)

IPS - *Integrated Product Support* (suporte integrado ao produto)

LCC - *Life Cycle Costs* (custos do ciclo de vida)

LRU - *Line-replaceable Unit* (unidade reparável na linha)

LSC - *Life Support Cost* (custo de suporte ao ciclo de vida)

MDT - *Mean Downtime* (tempo médio de downtime)

MTBF - *Mean Time Between Failures* (tempo médio entre falhas)

PAMA-SP - Parque de Material Aeronáutico de São Paulo

PBSP - *Part-out-Based Spares Provisioning*

WT - *Waiting Time* (tempo de espera)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Engenharia logística	14
1.2	O F-5 e o programa FX-2.....	14
1.3	Definição do problema	16
1.4	Objetivo	16
1.5	Perguntas investigativas.....	17
1.6	Estrutura do trabalho	17
2	REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1	Ciclo de vida de sistemas complexos	18
2.2	Os elementos do suporte logístico	21
2.3	Métricas relacionadas ao desempenho de um sistema	23
2.3.1	Confiabilidade	24
2.3.2	Manutenibilidade.....	24
2.3.3	Disponibilidade.....	24
2.4	O modelo METRIC	25
2.5	Valor esperado da disponibilidade	27
2.6	Part-out-based Spares Provisioning: PBSP	28
2.7	A suíte OPUS	29
2.8	Hipóteses de pesquisa	30
3	MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1	Formulação do problema.....	31
3.2	Revisão da Literatura.....	32
3.3	Coleta de Dados	32
3.4	Processamento dos Dados	35
3.5	Confecção do Relatório de Pesquisa	36

4	APLICAÇÃO DO MÉTODO, RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1	Uso do OPUS10	37
4.2	Uso do SIMLOX	40
4.3	Considerações quanto ao uso dos softwares	41
4.4	Resultados: cumprimento normal do cronograma	43
4.4.1	2022	43
4.4.2	2023	45
4.4.3	2024	46
4.4.4	2025	47
4.4.5	2026	49
4.4.6	2027	50
4.4.7	Listas de Aprovisionamentos	51
4.4.8	Cronograma de desativação	52
4.5	Resultados: atraso nas entregas dos Gripen	53
4.5.1	Análise de Custos	55
4.6	Discussão	56
5	CONCLUSÃO	58
	REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

1.1 Engenharia logística

O suporte logístico eficiente de sistemas aeroespaciais é um dos maiores desafios de uma força aérea. Há na literatura uma série de publicações e conhecidos autores que tentam exaustivamente delinear as interfaces desta atividade, ressaltando limitações e oportunidades, tentando fazer frente à quantidade enorme de variáveis envolvidas e com o objetivo final de garantir o desempenho operacional desejado, minimizando custos.

A palavra “logística” costuma ser usada popularmente para se referir a atividades de apoio numa ampla gama de cenários. Entende-se que a logística é um ramo da administração que pode ser classificado em quatro grandes subdisciplinas: logística de negócios, logística de eventos, logística de processos e logística militar. Esta última, também mencionada como “engenharia logística”, envolve as atividades associadas à suportabilidade de um sistema de armas em todo o seu ciclo de vida, garantindo a capacidade operacional de forças militares e seus equipamentos (RUSSEL, 2001).

Considerando que os sistemas complexos têm seu ciclo de vida segmentado essencialmente nas fases de preparação, desenvolvimento, produção, em serviço e desativação (ASD; AIA, 2021), pode-se destacar dois períodos que são especialmente estressantes para o sistema administrativo pela simples mudança de *status quo*: a implantação de um novo produto, isto é, o início da fase em serviço; e a fase de desativação.

1.2 O F-5 e o programa FX-2

Na indústria aeronáutica mundial, Ferreira (2016) entende que o “estado da arte” em termos de tecnologia são os aviões de caça. Uma vez que são os elementos mais asseguradores da soberania de uma nação, países, com suas forças aéreas e indústrias, permanecem em contínua disputa pela primazia da incorporação de novas capacidades de combate a seus vetores, o que implica em investimentos cada vez maiores em pesquisa e desenvolvimento e na evolução de diversos setores adjacentes do polo tecnológico (FERREIRA, 2016).

A rápida evolução da tecnologia torna esses produtos vulneráveis à obsolescência. A gestão da obsolescência é uma atividade associada a um dos elementos do suporte logístico de um sistema militar, especialmente relevante para aviões de caça. No caso da Força Aérea

Brasileira (FAB), é previsto pela Diretriz do Comando da Aeronáutica 400-6 (BRASIL, 2007) que devam haver avaliações periódicas de obsolescência logística ou tecnológica das aeronaves em operação, o que pode levar a ações corretivas como modernização ou substituição.

Aviões de caça cumprem importantes missões para assegurar a soberania do país. A contraposição aérea a eventuais ameaças ao espaço aéreo nacional atualmente é realizada pelo caça F-5M, operado por dois esquadrões da FAB: 1º GAVCA (primeiro grupo de aviação de caça, sediado em Santa Cruz-RJ) e 1º/14º GAV (primeiro esquadrão do décimo quarto grupo de aviação, sediado em Canoas-RS). A frota, a despeito de ter sido submetida a um processo de modernização que foi concluído na última década, tem restrições em suas capacidades operacionais diante da tecnologia que hoje se observa no mundo. Com algumas unidades cuja fabricação data de 1971, o suporte logístico do F-5 fica cada vez mais difícil, já que peças de reposição são cada vez mais escassas. Isso aumenta os custos e gera tempos de manutenção mais largos.

Dias e Porto (2010) afirmam que não é suficiente ao Brasil, na medida em que vem tentando afirmar sua capacidade de liderança na América Latina e sua importância no cenário mundial, ter uma economia forte e sólidas instituições democráticas. Embora seja um país historicamente amistoso, é necessário que tenha poder militar de dissuasão e, nesse aspecto, países como Chile e Venezuela levam vantagem por terem equipamentos mais avançados. Vilela (2018) destaca a susceptibilidade do Poder Aeroespacial às evoluções tecnológicas, afirmando que é necessário à nação que quer obter vantagem estratégica a aquisição de equipamentos de última geração.

Os anseios de reaparelhamento da frota de aeronaves de caça de alto desempenho da FAB foi materializado pelo programa FX-2, projeto do governo que entre 3 opções disponíveis, decidiu pela compra de 40 unidades do caça JAS 39 Gripen, da empresa sueca SAAB. O contrato, assinado em outubro de 2014, também previa o treinamento de pilotos e mecânicos na Suécia e transferência de tecnologia para indústrias brasileiras.

As capacidades do F-39 (designação do Gripen na FAB) colocarão o Brasil em outro patamar em termos de potencial militar, a ponto de causar um “desequilíbrio no cenário sul americano” (CRAMER, 2020). A aeronave dispõe de uma série de equipamentos e capacidades que trarão enormes vantagens operacionais quando comparada ao F-5 (CRAMER, 2020). A transferência de tecnologia, que prevê a participação ativa de empresas brasileiras no desenvolvimento de diversos sistemas da aeronave e a criação de uma versão biposto (para dois tripulantes) do Gripen implicará em grande desenvolvimento da indústria nacional.

1.3 Definição do problema

Junto às vantagens mencionadas, a substituição do F-5 pelo F-39 traz uma grande demanda para o braço logístico da FAB: a implantação de um sistema ao mesmo tempo que se desativa um outro.

Uma vez que há um cronograma de entrega do Gripen que prevê o recebimento das últimas unidades em 2027, a desativação do F-5 se dará de forma gradativa. Nesse contexto, há duas preocupações quanto a aeronave substituída:

1. O problema da desativação em si. A fase da desativação de um sistema envolve uma série de atividades, como a cessão de contratos de apoio logístico, o descarte correto de material bélico, os processos de alienação e observação às leis locais de descarte, respeitando questões ambientais. (ASD; AIA, 2021).
2. A eficiência do suporte às aeronaves ainda em operação, isto é, deve-se haver um planejamento da suportabilidade para as aeronaves remanescentes. Na medida em que a frota de F-5 diminui, é necessário que haja um redimensionamento da compra de suprimentos, da formação de pessoal de apoio e dos contratos relativos para que não haja desperdício de recursos.

Pode-se identificar, portanto, três grandes custos relacionados à substituição do F-5 pelo F-39: custos de implantação do Gripen; custos de desativação do F-5 e custos de suporte logístico à frota de F-5 remanescente.

1.4 Objetivo

O escopo deste trabalho foi limitado aos caças substituídos ainda em operação. O objetivo foi desenvolver um cronograma de desativação do F-5. Para isso, foi considerado o calendário de entregas da nova aeronave e utilizados *softwares* da suíte OPUS. Tratou-se, portanto, de um problema de dimensionamento adequado de uma frota.

Num segundo momento, o trabalho buscou atingir os seguintes objetivos específicos:

1. Identificar as listas de aprovisionamentos que proporcionaria a melhor disponibilidade da frota remanescente de F-5, dadas limitações orçamentárias;
2. Identificar o quanto um atraso que implicasse na entrega anual de somente metade dos F-39 a partir de 2026 implicaria em termos de cronograma de desativação e custos de suportabilidade do F-5.

1.5 Perguntas investigativas

A fim de nortear as ações do trabalho, se buscou responder à seguinte pergunta geral: qual o cronograma de desativação da frota de F-5 que, sem causar prejuízo à capacidade operacional dos esquadrões, vai gerar o menor custo de suportabilidade à união? Neste escopo, questões investigativas associadas foram as seguintes:

1. Qual o número mínimo de aeronaves que os esquadrões necessitam para manter seu treinamento operacional, a prontidão na defesa aérea do país, e serem engajados numa campanha de interesse nacional, caso necessário?
2. Qual é o número médio de aeronaves disponíveis que se pode obter anualmente, dadas restrições orçamentárias no suporte logístico do F-5?

1.6 Estrutura do trabalho

O trabalho é dividido em 5 capítulos.

O primeiro contextualizou o problema de dimensionamento em questão, ressaltando as demandas específicas que têm a administração quando num cenário de substituição de uma frota de aeronaves. Foram apresentados o objetivo do trabalho e a estrutura do texto.

O capítulo 2, revisão da literatura, faz um apanhado geral de publicações sobre temas da engenharia logística relacionados ao contexto. São definidos conceitos que serão resgatados mais adiante no trabalho e justificam a abordagem metodológica adotada. Então, baseadas nesses conceitos, são definidas as hipóteses de pesquisa.

O capítulo 3 faz uma apresentação dos dados colhidos e uma descrição dos procedimentos metodológicos que foram adotados para alcance dos objetivos da pesquisa. O capítulo 4 visa a relatar a inserção dos dados nos *softwares*, apresentar os resultados obtidos e discuti-los.

Por último, o capítulo 5 traz a conclusão do trabalho, indicando o atingimento ou não dos objetivos e a confirmação ou não das hipóteses, ressaltando a contribuição da pesquisa para as áreas relacionadas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo são resgatados na literatura conceitos relativos ao suporte logístico de um sistema. Inicialmente, são feitas considerações sobre os custos embutidos nas fases de seu ciclo de vida. Em seguida, são comentados os diversos ambientes de atuação para suporte desses produtos. Na seção 2.3, são esclarecidos os importantes conceitos de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade, da engenharia de sistemas. Em seguida, são apresentadas as características do modelo METRIC de múltiplo escalão e ilustrado como é possível calcular a disponibilidade de uma frota de aeronaves a partir de métricas relacionadas às suas características de desempenho. E seguida, é apresentado o conceito de *part-out-based spares provisioning* na desativação de um sistema e introduzidos os softwares OPUS10 e SIMLOX. O capítulo se encerra com a apresentação das hipóteses de pesquisa.

2.1 Ciclo de vida de sistemas complexos

Todo produto é concebido para funcionar por um período limitado de tempo. O intervalo desde sua idealização até sua completa desativação é chamado ciclo de vida do produto. A depender da abordagem da organização, há diversos modelos para ilustrar o ciclo de vida, que se diferem na medida em que consideram mais ou menos fases ou por pequenas distinções de nomenclatura. A Força Aérea Brasileira, por meio da DCA 400-6 (BRASIL, 2007), define o ciclo de vida de suas aeronaves com bastante atenção às atividades administrativas associadas. As fases consideradas são apresentadas no Quadro 1.

Fase	Nomenclatura	Descrição
Fase 1	Concepção	Identificação de uma necessidade operacional ou oportunidade tecnológica/econômica.
Fase 2	Viabilidade	Análise e avaliação das alternativas para atendimento da carência operacional ou aproveitamento da oportunidade tecnológica/econômica.
Fase 3	Definição	São designadas equipes de negociação e feitas as análises de propostas das empresas envolvidas.

Fase 4	Desenvolvimento/ aquisição	Inicia-se o desenvolvimento tecnológico ou a compra do novo produto.
Fase 5	Produção	Inicia-se com a formalização de um contrato de produção ou de aquisição. No caso de um novo produto, dá-se início a seu processo de manufatura.
Fase 6	Implantação	Fase de ajustes do novo produto ao uso na FAB.
Fase 7	Utilização	Compreende a fase de emprego, o período de atividades operacionais e logísticas voltadas ao produto.
Fase 8	Revitalização, modernização ou melhoria	Fase de interferência no produto a fim de corrigir eventual obsolescência ou aproveitar oportunidades tecnológicas ou econômicas.
Fase 9	Desativação	Estudos e ações para retirada do produto de serviço e alienação (ou inutilização) do material.

Quadro 1 - Ciclo de vida de sistemas na FAB (BRASIL, 2017).

Algumas das fases mencionadas na DCA 400-6 têm características em comum que permitem sua aglutinação em fases mais amplas. O SX-000i é um robusto documento desenvolvido em conjunto pela Associação Europeia de Indústrias Aeroespaciais e de Defesa (ASD) e Associação de Indústrias Aeroespaciais da América (AIA) cujo objetivo, de forma mais abrangente, é balizar as ações de suporte logístico a um produto. Observa-se que, em diversas fontes, o que se encontra sobre fases do ciclo de vida são variações de um modelo que considera basicamente as seguintes fases, apresentadas pela publicação SX-000i (ASD; AIA, 2021):

- Preparação: deve-se identificar as necessidades do usuário, elaborar os requerimentos do produto e fazer estimativas de custos do ciclo de vida;
- Desenvolvimento: cabe desenvolver um produto que atenda às necessidades apontadas, desenvolver o processo de manufatura e garantir as características de suportabilidade;
- Produção: produzir ou manufaturar o produto, o submetendo a testes que garantam que os requerimentos sejam atendidos;
- Fase em serviço: se refere à efetiva operação do produto, avaliação constante de suas características, intervenções para aprimoramento e contínuo suporte logístico.

- Desativação: compreende a desmilitarização e alienação ou descarte correto do produto, com atenção à segurança quanto ao manejo de material bélico e observação às leis locais.

O custo do ciclo de vida (LCC - *life cycle cost*) se refere a todo custo associado ao desenvolvimento, produção, compra, operação, suporte e desativação de um produto (ASD; AIA, 2021). Quando os custos associados às fases são comparados individualmente, é possível observar que a maior parte do LCC é destinado à fase em serviço (ou operação e suporte), conforme ilustrado na Figura 1.

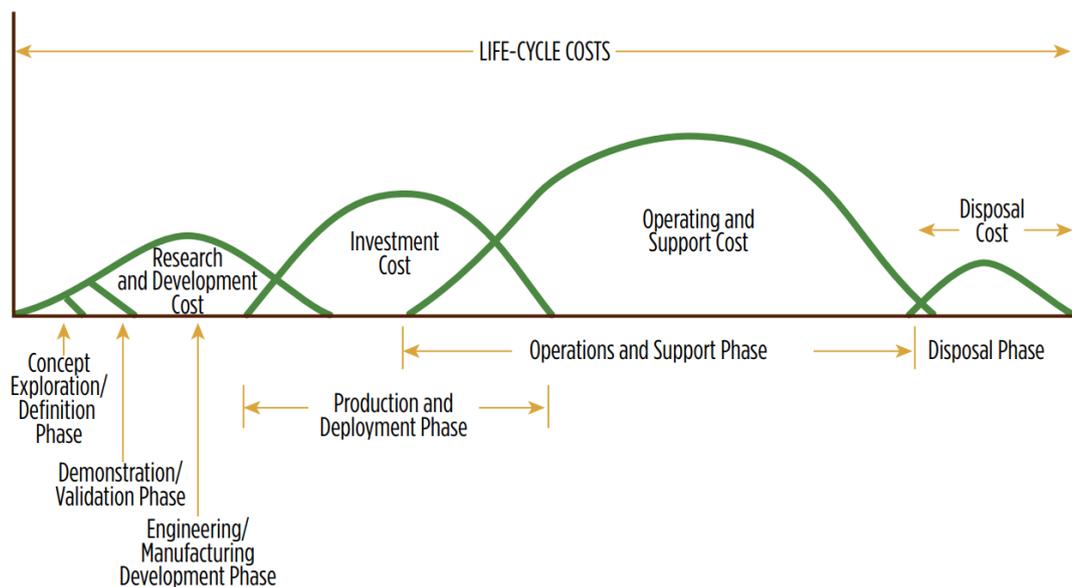


Figura 1 - LCC por fase do ciclo de vida (JONES *et al.*, 2014).

Em termos percentuais, o Gráfico 1 aponta que, no exemplo de aeronaves de asa fixa, o LCC é distribuído da seguinte forma (desconsiderando-se os custos com desativação): 7% em pesquisa e desenvolvimento, 30% com a compra e 63% com a operação e suporte.

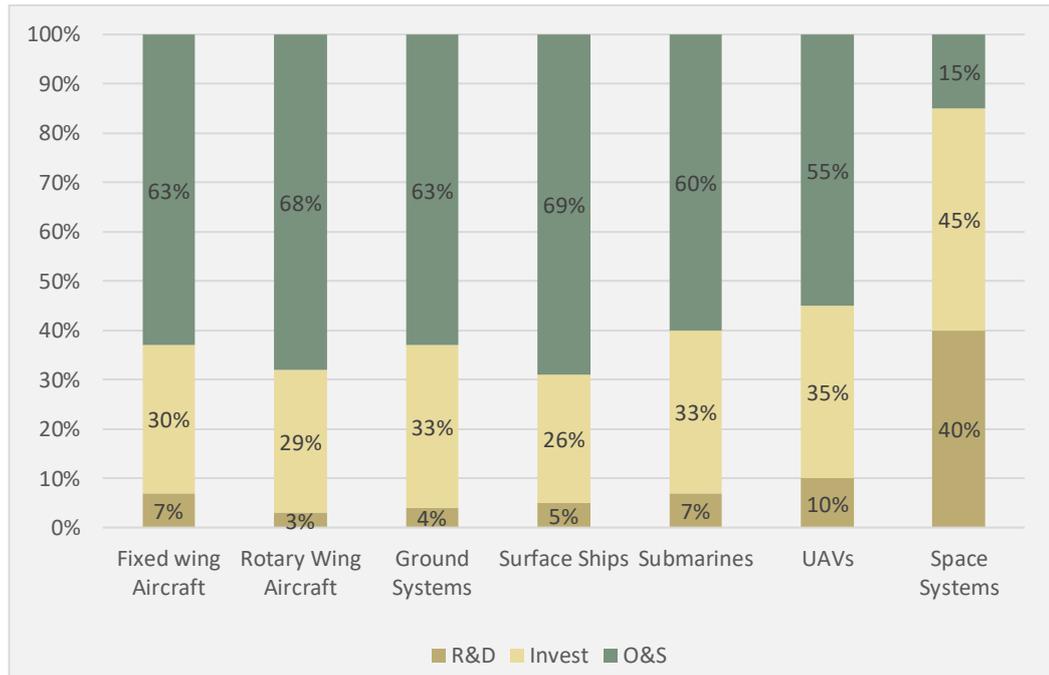


Gráfico 1 - Percentual do LCC para diferentes fases e sistemas (Estados Unidos da América, 2014).

Uma ressalva importante a se fazer é que grande parte do custo do ciclo de vida comprometido é definido pelas fases iniciais de concepção, pesquisa e desenvolvimento do produto. Ainda que a fase que consoma a maior quantidade de recursos seja a de operação e suporte, grande parte dessa demanda foi estimada ainda no período de desenvolvimento do produto, uma vez que características de projeto como preço de peças de reposição, consumo de combustível e infraestrutura necessária de suporte (entre muitos outros) permitiram essa estimativa. Em outras palavras, investimentos nas fases iniciais do ciclo de vida podem gerar economia de recursos nas fases posteriores (BLANCHARD, 2014).

2.2 Os elementos do suporte logístico

O que traz complexidade à atividade logística é a grande quantidade de nichos de atuação associados. Há necessidade de pessoal capacitado, transportes de equipamentos, gestão de peças de reparo sobressalentes em estoque, equipamentos secundários de suporte, infraestrutura, documentações e dados, recursos computacionais, entre outros, e cabe à administração garantir a integração desses vários elementos (BLANCHARD, 2014).

O SX000i (ASD; AIA, 2021), traz o conceito de Suporte Integrado ao Produto (IPS – *Integrated Product Support*) como “a gestão e processos técnicos através dos quais as

atividades de suporte e elementos do suporte são planejados, adquiridos, implementados, testados e providos oportunamente e eficientemente em termos de custos”. O documento desmembra o IPS em 12 elementos:

- **Operações relacionadas à logística:** diz respeito aos cuidados quanto a embalagem, manuseio, armazenagem e transporte de itens. Há equipamentos que necessitam ser armazenadas em câmara escura, ou em determinada faixa de temperatura ou umidade, ou que carecem de embalagem específica para transporte e este elemento chama atenção para esses aspectos.
- **Manutenção:** um dos elementos com maior impacto sobre o planejamento de suporte, a manutenção é toda a atividade de reparo que retorna um produto falho à sua condição operacional, ou de prevenção, com o objetivo de minimizar o número de falhas do produto.
- **Gestão de suporte ao produto:** envolve atividades como gestão da obsolescência do sistema, monitoramento dos contratos em vigor, documentação de lições aprendidas, gerenciamento da frota e desenvolvimento do plano de suporte ao produto.
- **Gestão de suprimentos:** diz respeito a identificar, planejar e alocar recursos para a obtenção de peças sobressalentes no local correto, no momento correto e a um preço oportuno. O objetivo deste elemento é conhecer as necessidades da frota para a formação inteligente e eficiente de estoques.
- **Recursos computacionais:** refere-se à gestão de *hardware* e *software*, além da infraestrutura e da mão de obra relacionadas, no sentido de garantir que os recursos computacionais assegurem o suporte adequado à operação do produto, como por meio do processamento de dados estatísticos gerados em voo, entre outros.
- **Influência no design:** é a influência no projeto, na fase de desenvolvimento do produto, para garantir que o desempenho na fase operacional seja de acordo com os requisitos esperados e viável economicamente. Envolve atividades como a análise de custo do ciclo de vida.
- **Suportabilidade de Engenharia:** refere-se a um acompanhamento constante do produto em sua fase de operação, do ponto de vista da engenharia. Envolve atividades como a correção de erros de projeto identificados posteriormente e ajustes no *design* com o objetivo de corrigir falhas ou promover melhorias do sistema.

- **Dados técnicos:** é importante planejar, desenvolver, produzir, validar e manter publicações técnicas para utilização enquanto no uso do produto. Os dados técnicos incluem uma série de manuais e outros documentos, como dados de desempenho, manuais de manutenção, listas de verificações e procedimentos, entre muitos outros.
- **Gestão da Infraestrutura:** também mencionado como F&I (*facilities and infrastructure*), este elemento refere-se à gestão dos ativos imobiliários ou instalações móveis necessárias para integrar, apoiar e operar o produto, como hangares de estacionamento, de manutenção, setores de manutenção específica e todo o suporte associado, como fornecimento de energia, de água, climatização de ambientes, etc.
- **Mão de obra e pessoal:** o objetivo deste elemento é identificar, planejar e dispor corretamente o capital pessoal disponível na medida em que se diferenciam em suas qualificações. É a gestão dos recursos humanos relacionados ao suporte logístico.
- **Equipamentos de apoio:** diz respeito à gestão de equipamentos secundários diretamente relacionados à operação ou ao suporte do produto, como veículos rebocadores, fontes de força para acionamento de motores, maquinário específico para transporte e manuseio de peças, etc.
- **Treinamento e apoio ao treinamento:** consiste em identificar necessidades de capacitação, planejar e implementar uma estratégia de treinamento para manter os recursos humanos envolvidos totalmente capacitados para o suporte ao produto em todo o seu ciclo de vida.

2.3 Métricas relacionadas ao desempenho de um sistema

Antes de dar prosseguimento com a descrição da teoria por trás da modelagem computacional e do funcionamento do *software* OPUS10, se faz necessária a definição de algumas métricas e conceitos da engenharia de sistemas.

2.3.1 Confiabilidade

De acordo com Blanchard (2014, p. 33), a confiabilidade pode ser definida pela “probabilidade de que um sistema ou produto vá funcionar de maneira satisfatória por dado período de tempo, ou em cumprimento de determinada missão, quando usado sob condições específicas”.

É uma métrica inerente ao projeto, que influencia diretamente no *uptime* do produto, ou seja, no tempo total de permanência em operação. Tão maiores sejam as taxas de confiabilidade de um sistema, é de se esperar que permaneça funcionando por bastante tempo até ter a operação interrompida por conta de uma falha. A taxa de falhas (FR – *failure rate*), portanto, é uma métrica associada à confiabilidade do componente do sistema, e costuma ser expressa pelo número médio de falhas por milhões de horas de operação.

O inverso da taxa de falhas é o tempo médio entre falhas (MTBF – *mean time between failure*), métrica comumente representada por horas operacionais. Se por exemplo um item tem a taxa média de 2.000 falhas a cada milhão de horas de operação, seu MTBF é de 500 horas.

2.3.2 Manutenibilidade

Manutenibilidade é também uma característica inerente ao projeto e está relacionada com a facilidade, acurácia, segurança, economia e performance dos serviços de manutenção (BLANCHARD, 2014). Facilidade de acesso a componentes do sistema bem como em sua substituição, minimização da necessidade de equipamentos adicionais (como lanternas, escadas, ou ferramentas, por exemplo), número de pessoal necessário e tempo total de manutenção são características e medidas relacionadas à manutenibilidade.

A manutenção pode ser corretiva, quando no caso de uma falha a atividade de manutenção atua para retornar o produto à condição operacional; ou preventiva, que é a intervenção periódica para se antever a eventuais falhas.

2.3.3 Disponibilidade

Uma das medidas-chave da performance de um sistema é a disponibilidade (representada pela letra A, do inglês *availability*), que por sua vez é função da confiabilidade e manutenibilidade inerentes ao sistema (BLANCHARD, 2014).

A disponibilidade operacional (A_o) é definida pela porcentagem de tempo que um sistema ou grupo de sistemas são operacionalmente capazes de cumprir uma missão que lhes foi atribuída (ASD; AIA, 2021). É expressa pela Equação 1 a seguir:

$$A_o = \frac{MTBF}{MTBF + MDT} \quad (1)$$

Sendo que MDT é o tempo médio de *downtime*, isto é, o tempo médio que o produto permanece inativo operacionalmente devido à espera por peças, manutenção corretiva ou preventiva e outros atrasos resultantes de ações de manutenção (SHERBROOKE, 2004).

Um conceito importante associado à disponibilidade é o número pedidos em aberto (ou *backorders*). Tem-se uma *backorder* sempre que a demanda por um item não é atendida de imediato, ou seja, quando uma aeronave está indisponível por pane de uma peça e não há uma outra em estoque para substituição. A aeronave permanecerá nesta condição por falta de suprimento até que seja feito o reparo do item ou recebida uma nova peça.

É possível deduzir que a minimização do número de *backorders*, portanto, minimiza o MDT e maximiza a disponibilidade operacional da frota, mas isso está sujeito a limitações orçamentárias, já que a minimização do número de *backorders* pode estar associada a investimentos em estoques de itens.

2.4 O modelo METRIC

Uma consideração hipotética é que toda a estrutura de suporte de um sistema esteja sediada em sua mesma base de operação. Nesse caso, toda a gestão do estoque de sobressalentes e ações de manutenção seriam realizadas na própria base, o que recebe o nome de modelo de único escalão. Uma vez que boa parte dos componentes de um sistema são reparáveis, com altos custos de compra e manutenção e geralmente com baixa demanda por sobressalentes, é de se esperar que uma parte dos reparos e do estoque desses itens não seja realizado na própria base de operação do produto, mas em escalões superiores, como um centro voltado para manutenção ou um depósito. Identificando que um modelo de único escalão, portanto, diverge do que se observa na prática, Craig C. Sherbrooke desenvolveu o modelo de múltiplo escalão *Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control* (METRIC), na década de 60 (SHERBROOKE, 2004).

Um exemplo de modelo de múltiplo escalão é dado pelo próprio Sherbrooke (2004) na estrutura de suporte de um submarino americano. O primeiro escalão seria o próprio submarino, no qual há um estoque de peças que permite ações mais simples de manutenção. O segundo escalão seria um navio suporte, acessível periodicamente ao submarino. O terceiro escalão seria o porto-base do submarino, que detém um estoque mais robusto de peças e maior capacidade de manutenção. Se o porto não fosse capaz de atender, a demanda seria passada ao quarto e último escalão, um depósito da marinha incumbido de realizar manutenções de alto nível.

Na otimização de estoques, o modelo METRIC busca uma abordagem voltada para todo o sistema ao invés de para os itens. Nesse caso, considera-se a priorização de alguns itens sobre os outros e busca-se responder a questões do tipo: “como é possível garantir que 95% das aeronaves da frota estejam disponíveis para operação?” ou “como posso rearranjar a estrutura de suporte logístico para alcançar a disponibilidade desejada com mais eficiência?” (SHERBROOKE, 2004, p. 2).

Segundo Sherbrooke (2004), as premissas do modelo METRIC são:

- 1) Sempre que um escalão tem a capacidade de realizar um reparo, ele é realizado ali e não em escalões superiores, independente dos níveis de estoque e da carga de trabalho exigida;
- 2) Não há fornecimento lateral entre bases, ou seja, uma base é sempre abastecida por um depósito no escalão superior;
- 3) Não formação de agrupamentos para reparo conjunto de itens, eles são consertados um a um.
- 4) O nível ótimo de estoque necessário é considerado em *steady-state*, isto é, em curso estável: assume-se que com o passar do tempo o esforço aéreo da frota vai tender a uma estabilidade que exigirá um valor mensurável de estoque ótimo.

Sherbrooke (2004) aponta que um aprimoramento do modelo METRIC foi desenvolvido na década de 80 por Slay e aperfeiçoado por Graves. O novo modelo, chamado VARI-METRIC, é mais preciso que o antecessor na medida em que em 11% dos casos, os níveis de estoque apontados pelo modelo METRIC diferem em ao menos 1 unidade do que seria ideal. No modelo VARI-METRIC, isso ocorre em apenas 1% dos casos. Com a vantagem de não ser demasiadamente exigente em termos de esforço computacional, é baseado nas premissas do modelo VARI-METRIC que muitos *softwares* de modelagem se baseiam para seus cálculos.

2.5 Valor esperado da disponibilidade

Sherbrooke (2004) afirma que, na otimização do suporte logístico de qualquer sistema, busca-se maximizar a disponibilidade a partir da minimização do valor esperado de *backorders* (EBO – *expected backorders*) para todos os itens do sistema, dada uma restrição orçamentária. É possível observar o impacto do EBO matematicamente na disponibilidade pela Lei de Little, que diz que o tempo médio de espera por peças de reposição (que no caso da disponibilidade operacional equivale ao MDT), é função do EBO e da demanda média “ λ ” pelo item (LITTLE; GRAVES, 2008):

$$WT = \frac{EBO}{\lambda} \quad (2)$$

A substituição da equação 2 na equação 1 coloca a disponibilidade operacional em função do EBO e de λ :

$$Ao = \frac{MTBF}{MTBF + \frac{EBO}{\lambda}} \quad (3)$$

De onde se chega na função objetivo da otimização (equação 4), que é a minimização do EBO de todos os “I” componentes de um sistema dado um valor “s” de estoque utilizável deste item.

$$FO: \min \sum_{i=1}^I EBO(s_i) \quad (4)$$

A fim de ilustrar de maneira simples a relação do EBO em função de outros fatores, recorre-se à equação 5, aplicável para um modelo de único escalão (SHERBROOKE, 2004). Observa-se que o EBO depende do estoque utilizável “s” do componente do sistema, da taxa média de itens em reparo “ λ ” e do número “X” de itens no *pipeline* logístico, ou seja, o número de itens que de fato estão em reparo (não estão nem instalados em aeronaves nem armazenados em estoque).

$$EBO(\lambda, S) = \lambda - s + \sum_{x=0}^s (s - x)P(X = x) \quad (5)$$

Para o modelo METRIC e suas derivações, o EBO é calculado essencialmente de forma semelhante, mas considerando a inclusão de outras variáveis. Tem-se, portanto, que a disponibilidade operacional tem relação com os valores de λ , X e S . Ressalva importante se faz quanto ao número de itens no circuito de reparo (X): apesar de a estatística permitir a obtenção de uma demanda média λ por intervalo de tempo, o número de itens que de fato estarão no circuito de reparo é uma variável aleatória que segue uma distribuição de Poisson (SHERBROOKE, 2004), com considerável probabilidade de que sua média seja diferente de λ no mesmo intervalo.

A mesma ressalva se faz a respeito do MTBF, uma vez que a taxa de falhas de um item também é uma variável aleatória com uma distribuição de probabilidade associada. A disponibilidade operacional, portanto, pode ser estimada por meio desses valores esperados, mas está sujeita a variações inerentes à natureza estocástica das métricas de que depende.

2.6 Part-out-based Spares Provisioning: PBSP

É comum que a desativação de uma frota de aeronaves ocorra de forma gradual, com um número remanescente de unidades em operação. O aprovisionamento de peças de manutenção é um dos itens chave para eficiente manutenção operacional das aeronaves ainda ativas. Nesse contexto, uma excelente prática para dar suporte à frota remanescente é reutilizar as peças das aeronaves aposentadas, o que é referido como *parting-out* (BLOCK, 2017).

Em 2017, o sueco J. M. Block publicou um trabalho em que recorreu a estudos de caso, desenvolvimento de algoritmos e simulações computacionais para demonstrar que a prática, o *part-out-based spares provisioning* (PBSP), pode gerar grandes reduções nos custos de manutenção e nas compras de estoques, enquanto provê altos níveis de disponibilidade no suporte da frota. O PBSP minimiza o impacto ambiental com uma “cadeia de suprimentos verde”, uma vez que não carece da fabricação de novas peças (BLOCK, 2017).

A prática carece, porém, de um bom planejamento, com o intuito de não haver excesso de estoque ao final da desativação, o que causaria custos indesejados relativos à própria manutenção do estoque. O bom planejamento envolve identificar o momento correto de

interromper a prática, considerando que o número cada vez menor que unidades em operação geraria também uma demanda cada vez menor por peças sobressalentes. Um plano PBSP bem elaborado levaria a uma desativação completa da frota ao mesmo tempo em que houvesse o consumo total dos sobressalentes em estoque (BLOCK, 2017).

Ao ser desativada uma aeronave, três situações são possíveis quanto a seus componentes: está em boas condições e pode ser diretamente destinado ao suporte da frota remanescente; está em condições de prover suporte à frota, mas precisa passar por ações de reparo; não está em condições de prover suporte à frota nem de ser reparado, isto é, o item está condenado (BLOCK, 2017). A elaboração de um plano PBSP, portanto, deve considerar a condenação de uma parte dos itens baseado em estudos estatísticos de métricas relacionadas à confiabilidade.

Uma das abordagens paramétricas para estudo da confiabilidade de itens é o *homogeneous Poisson process* (HPP – processo de Poisson homogêneo), que considera que a cada reparo, a confiabilidade do sistema não sofre alteração, isto é, não deteriora nem melhora. A taxa de ocorrência de falhas nesse caso é constante. A qualquer ponto observado no tempo, a condição do item seria a mesma, já que sua taxa de falhas é independente da quantidade de vezes que já sofreu reparos anteriormente (BLOCK, 2017).

Ressalva importante se faz na diferenciação do PBSP com a canibalização de aeronaves. Enquanto a primeira diz respeito à desmontagem completa de aeronaves para suporte a uma frota remanescente, sem perspectiva de seu retorno à operação, a segunda geralmente está associada a uma situação de *backorder* em que, considerando o excessivo tempo que se espera manter uma aeronave parada por ter itens em circuito de reparo, opta-se por retirar peças dessa mesma aeronave para dar suporte a outras. No caso da canibalização, porém, há intenção de retornar a aeronave parada à linha de voo (BLOCK, 2017).

2.7 A suíte OPUS

A suíte OPUS é formada por três *softwares* desenvolvidos pela empresa sueca Systecon para o gerenciamento do ciclo de vida de sistemas. Tem diversos usuários ao redor do mundo, entre multinacionais, como as empresas Airbus e SAAB, e entidades militares, como as forças aéreas americana e francesa. Este trabalho recorre a dois *softwares*: o OPUS10 e o SIMLOX.

O OPUS10 é um *software* voltado para a otimização de estoques desenvolvido há mais de 30 anos em cooperação com a indústria e tem como um dos principais resultados uma curva de custo/eficiência do sistema, que será melhor discutida no capítulo 4. O *software* permite

percepções como: a alocação ideal de estoques de reparáveis entre os múltiplos escalões do sistema de suporte, a compra ideal de peças sobressalentes dada uma limitação orçamentária, os impactos de um aumento da operação ou da melhoria dos tempos de manutenção, comparações entre cenários hipotéticos de suporte etc. (SYSTECON, 2017a).

O SIMLOX é uma plataforma de simulação que complementa o estudo inicialmente realizado no OPUS10. Permite uma análise robusta do desempenho do sistema técnico a partir de diferentes cenários de suporte com o passar do tempo. O software pode ser usado para identificação de gargalos e pontos fracos do suporte logístico, estudos para dimensionamento de frotas e análise do efeito de modificações no sistema, entre outros (SYSTECON, 2017b).

2.8 Hipóteses de pesquisa

Uma vez finalizada a revisão de literatura, são apresentadas as três hipóteses que foram alvos de investigação deste trabalho:

- **Hipótese 1:** a partir da modelagem da suportabilidade da frota remanescente de F-5 e à luz de um número mínimo de aeronaves para defesa aérea que a FAB necessita, é possível desenvolver uma solução consistente para o problema de dimensionamento desta frota, tendo como resultado um cronograma de sua desativação, na medida em que são recebidas as aeronaves substitutas.
- **Hipótese 2:** a prática de PBSP na desativação da frota de F-5 proporcionará uma diminuição considerável nos custos de suportabilidade enquanto gera aumento da disponibilidade.
- **Hipótese 3:** um atraso na entrega dos Gripen que implique no recebimento de apenas 50% das aeronaves inicialmente previstas a partir de 2026, trará grandes consequências na desativação da frota de F-5, com a última aeronave sendo desativada no ano de 2030 ou posteriormente.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo tem como objetivo a apresentação do material obtido para modelagem e indicação das etapas do método adotado. Identificando o presente trabalho como um estudo de caso, o planejamento para sua condução seguiu os passos ilustrados na Figura 2.



Figura 2 - Etapas do método utilizado.

3.1 Formulação do problema

No escopo teórico-conceitual inicial, o primeiro passo da pesquisa foi um estudo aprofundado que permitisse a interpretação do problema, a partir de onde se pôde delinear as fronteiras em questão. Pôde-se formular perguntas investigativas, identificar quais conteúdos da literatura seriam relevantes para promover a sustentação teórica, planejar possíveis contingências tendo em vista eventuais limitações no contexto de pesquisa e estabelecer os objetivos. Nesse momento pôde-se identificar que o trabalho se refere a um problema de dimensionamento da frota de aeronaves F-5 considerando elementos influenciadores, sendo, portanto, um estudo de caso de natureza exploratória, do tipo longitudinal (que investiga problemas do presente) e de abordagem quantitativa, tendo como principais preocupações as indicadas por Bryman (1989) para trabalhos deste tipo:

- 1) Mensurabilidade: a capacidade de mensuração de variáveis a que se recorre o teste das hipóteses deduzidas;
- 2) Causalidade: nos cenários em que há relação de causa e efeito entre variáveis;
- 3) Generalização: possibilidade de os resultados obtidos serem generalizados para além do escopo da pesquisa;
- 4) Replicação: característica de um outro indivíduo repetir a pesquisa e obter os mesmos resultados.

3.2 Revisão da Literatura

Clareadas as características da situação a ser investigada e definida a abordagem metodológica para se chegar aos resultados, recorreu-se à literatura para mapeamento dos conceitos que seriam utilizados para dar suporte teórico à investigação. As referências a serem consideradas no trabalho foram apresentadas no capítulo 2.

3.3 Coleta de Dados

Após estudo da literatura relacionado ao problema, ficou claro quais dados seriam necessários para modelagem computacional da frota de F-5. Foi elaborado um protocolo no qual foram descritas as necessidades, apontadas as entidades a quem se iria recorrer e elaborada uma pequena entrevista.

Observou-se que os dados necessários poderiam ser obtidos se cedidos pelo atual gerente de projeto da frota do F-5 na FAB. A unidade de serviço do militar, o Parque de Material Aeronáutico de São Paulo (PAMA-SP), é responsável por manutenções de nível mais complexo que as realizadas nas bases aéreas e alimenta estatísticas aprofundadas a respeito da frota. Foi feito contato com este militar e marcada uma reunião presencial para apresentação do projeto de pesquisa e uma entrevista.

O *software* OPUS 10 disponibilizado para o trabalho tem uma licença acadêmica, que limita a inserção de componentes da aeronave na modelagem em um número máximo de 20. Por isso, foi solicitado à equipe do F-5 no PAMA-SP dados de 20 itens que fossem representativos de todos os componentes do projeto, que são milhares. Segundo Eisenhardt (1989), enquanto pesquisas do tipo *survey* trabalham com amostras aleatórias de uma população, no estudo de caso essas amostras devem ser escolhidas na medida em que apresentam características desejáveis, com base numa fundamentação teórica adequada. No caso em questão, a solicitação aos especialistas do PAMA-SP foi que os itens selecionados fossem mesclados entre críticos (no sentido de terem elevadas taxas de falhas) e não críticos, componentes da maioria dos sistemas da aeronave, e com custos de aquisição variados. Os dados foram obtidos a partir da própria entrevista e da análise documental de planilhas e relatórios disponibilizados pela equipe. Passaram por um pequeno tratamento para ajustes de unidades de medida e são exibidos na Tabela 1.

Identificação	Tipo	Local de reparo	Custo de aquisição (R\$)	Quantidade por aeronave	Estoque	MTBF (horas de operação)	Taxa de falhas (por milhão de horas de operação)	Tempo médio de reparo (dias corridos)
Item 1	Reparável	Indústria	769.360,00	2	3	410	2439,02	30
Item 2	Reparável	Indústria	67.496,00	2	0	1800	555,56	30
Item 3	Reparável	Indústria	2.570.216,43	1	5	82	12195,12	90
Item 4	Reparável	PAMA-SP	93.553,70	1	1	215	4651,16	5
Item 5	Reparável	Indústria	18.612,23	2	0	464	2155,17	10
Item 6	Reparável	Indústria	1.406,56	1	0	550	1818,18	10
Item 7	Reparável	Indústria	15.576,00	1	7	840	1190,48	15
Item 8	Reparável	Indústria	94.565,77	1	1	800	1250,00	15
Item 9	Reparável	Indústria	42.488,54	1	0	800	1250,00	15
Item 10	Reparável	Indústria	34.314,92	1	0	821	1218,03	10
Item 11	Reparável	Indústria	332.269,83	2	0	830	1204,82	15
Item 12	Reparável	Indústria	87.320,00	2	0	1260	793,65	10
Item 13	Reparável	PAMA-SP	72.652,74	1	1	180	5555,56	30
Item 14	Reparável	PAMA-SP	14.458,87	1	0	730	1369,86	15
Item 15	Reparável	Indústria	22.679,36	1	3	350	2857,14	15
Item 16	Consumível	-	4.525,06	1	0	1200	833,33	-
Item 17	Reparável	PAMA-SP	74.166,92	2	0	1200	833,33	15
Item 18	Reparável	Indústria	200.280,07	1	1	225	4444,44	90
Item 19	Reparável	Indústria	2.123.090,00	1	1	132	7575,76	90
Item 20	Reparável	PAMA-SP	36.258,00	2	2	40	25000,00	15

Tabela 1 - Dados dos 20 itens representativos do F-5. Fonte: PAMA-SP.

Na modelagem, seria necessário considerar limitações de custos. O PAMA-SP foi então questionado quanto a dois valores: o orçamento destinado à suportabilidade da frota de F-5 no ano de 2022 e um fator de conversão que pudesse estabelecer quanto, de todo este orçamento, dizia respeito aos 20 itens que seriam objeto de estudo. Os valores informados foram respectivamente: R\$ 84 milhões e 21%, o que permitiu a conclusão de que, na modelagem da frota a partir dos 20 itens delineados na Tabela 1, devia-se considerar a limitação de custos de R\$ 17,64 milhões para o ano de 2022.

Outro dado necessário era ao tamanho atual da frota, que atualmente é de 28 aeronaves, e ao esforço aéreo para o ano de 2022 e anos seguintes, o que é apresentado na Tabela 2.

Ano	Esforço aéreo total (horas)	Esforço aéreo planejado por aeronave (horas)
2022	4.300	153,57
2023	3.500	140,00
2024	3.100	155,00
2025	2.500	138,89
2026	2.000	125,00
2027	1.600	133,33
2028	1.300	130,00
2029	1.000	125,00

Tabela 2 - Esforço aéreo anual da frota. Fonte: PAMA-SP.

Outras informações necessárias quando se fala da desativação do F5 se referem ao seu substituto, o Gripen. Para isso, foi consultado o GT-FOX (ou somente “Grupo Fox”), um grupo de trabalho do Comando de Preparo da FAB responsável pela implantação do Gripen nos esquadrões aéreos com acesso a uma ampla gama de informações relacionadas ao contrato de compra. O contato se deu por ligação telefônica e lhes foi solicitado o calendário de entrega do novo caça e a disponibilidade esperada da frota. Ao todo, a FAB receberá 40 unidades do Gripen, entre monopostos (que acomodam somente um piloto) e bipostos (que acomodam dois). Quanto às entregas, foi disponibilizada uma planilha, que é reproduzida na Tabela 3, com a ressalva de que os valores são referentes a um planejamento inicial e só serão cumpridos a rigor até o ano de 2025. A partir de 2026, não há certeza se a quantidade de aeronaves recebidas será 11, 11 e 4, ano a ano. A disponibilidade buscada será de 70%, segundo o grupo Fox.

	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Monoposto:	6	3	3	-	7	9	4
Biposto:	-	-	-	2	4	2	-
Total:	6	3	3	2	11	11	4

Tabela 3 - Calendário de entregas do Gripen. Fonte: Grupo Fox.

De posse do calendário de entregas do Gripen e da disponibilidade esperada da frota, mais duas perguntas ainda precisariam ser respondidas para que fosse desenhada a substituição: em que proporção um caça Gripen substitui um F-5? E qual o número mínimo de aviões de caça é necessário estar em operação para que os esquadrões cumpram com eficácia sua missão institucional?

Para responder a primeira, foram consultados pilotos de F-5 atualmente na ativa e chegou-se à conclusão que esta proporção é de 1:1, pois apesar de toda superioridade tecnológica do Gripen sobre o F-5, no atual contexto do país (sem expectativa de emprego militar e levando em consideração o histórico pacífico) qualquer engajamento de um caça de defesa aérea teria início com o reconhecimento visual da aeronave interceptada. Em outras palavras, no cenário atual, para cada aeronave interceptada seria necessário o acionamento de um caça para reconhecimento visual, seja ele F-5 ou Gripen.

A segunda pergunta foi respondida após consulta ao subcomandante de um dos esquadrões de F-5, que respondeu que, considerando as condições atuais de formação de pilotos

e de esforço aéreo, um número médio diário de 8 aeronaves disponíveis seria suficiente para que o esquadrão cumprisse suas obrigações institucionais.

3.4 Processamento dos Dados

De posse dos dados, o raciocínio quanto ao número de aeronaves desativadas consistiu em se comparar, ao final de cada ano, o número esperado de caças disponíveis (somando F-5 e Gripen) com o número mínimo para funcionamento dos esquadrões. O excesso seria o número de unidades de F-5 passíveis de desativação.

O total de Gripen disponíveis foi calculado como sendo 70% do número total de aeronaves até então recebidas (valor correspondente à disponibilidade meta da FAB informada pelo grupo Fox).

O valor esperado de aeronaves disponíveis na frota de F-5 foi modelado usando a suíte OPUS. Num primeiro momento, no OPUS10, a frota foi modelada a partir dos 20 itens disponibilizados pelo PAMA-SP e levando em consideração a limitação orçamentária, era encontrado um ponto ótimo com uma disponibilidade associada. Do ponto ótimo era possível obter a melhor lista de aprovisionamentos para cada ano. Num segundo momento, o ponto ótimo obtido no OPUS10 era exportado para o SIMLOX, onde eram realizadas 10.000 replicações de simulações para cada ano estudado, considerando o emprego da frota num esforço aéreo semelhante ao voador pelos esquadrões. O valor médio da disponibilidade das 10.000 replicações era utilizado para calcular o número esperado de F-5 disponíveis a cada ano. O procedimento em forma de ciclo, ilustrado na Figura 3, foi repetido ano a ano até que todas as aeronaves F-5 estivessem desativadas.

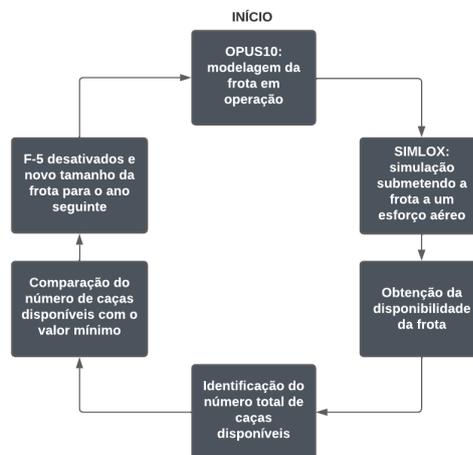


Figura 3 - Procedimento de modelagem e simulação realizado para cada ano.

Considerando que um dos objetivos da pesquisa era verificar em que medida um atraso nas entregas dos Gripen afetaria a desativação do F-5 e os custos de suportabilidade desta frota, o mesmo trabalho realizado para modelagem inicial foi repetido considerando que a partir de 2026, seriam entregues somente 50% do previsto na Tabela 3.

3.5 Confeção do Relatório de Pesquisa

Os resultados obtidos foram então analisados e discutidos, gerando um relatório que é apresentado ao final do capítulo 4.

4 APLICAÇÃO DO MÉTODO, RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo é descrito como se fez a modelagem dos dados através dos *softwares* OPUS10 e SIMLOX, por onde foi possível se chegar a valores mais confiáveis da disponibilidade da frota que permitiram elaborar um cronograma de desativação do F-5. Os cenários modelados foram, primeiro, o de cumprimento fidedigno do calendário inicial de entrega dos Gripen, e depois, um contexto de atraso. Os resultados obtidos são apresentados e discutidos no decorrer do capítulo.

O capítulo é dividido em 6 seções. Nas duas primeiras, são feitas considerações sobre o uso dos *softwares*. Em seguida, são elencadas todas as premissas consideradas na construção do modelo. Logo após, são apresentados os resultados obtidos para cada ano após o uso do OPUS10 e do SIMLOX para o calendário inicial de entregas. O estudo é repetido na seção seguinte considerando um atraso a partir de 2026. Por último, na seção 4.6, os resultados são discutidos.

4.1 Uso do OPUS10

O OPUS10 calcula e apresenta ao usuário, a partir de uma série de informações inseridas, uma curva de custo/eficiência (curva C/E) do sistema, que é utilizada para auxiliar no processo decisório relacionado à suportabilidade de um produto. A curva C/E utilizada no contexto deste trabalho foi a do tipo *Life Support Cost* (Custo de Suportabilidade ao ciclo de vida – LSC, no eixo x) por *Availability* (Abreviada pela letra “A” – Disponibilidade, no eixo y). O LSC é um dos principais componentes do custo do ciclo de vida de um produto (LCC) e se refere ao orçamento voltado para o suporte logístico. O Gráfico 2 apresenta um exemplo de curva gerada pelo *software*.

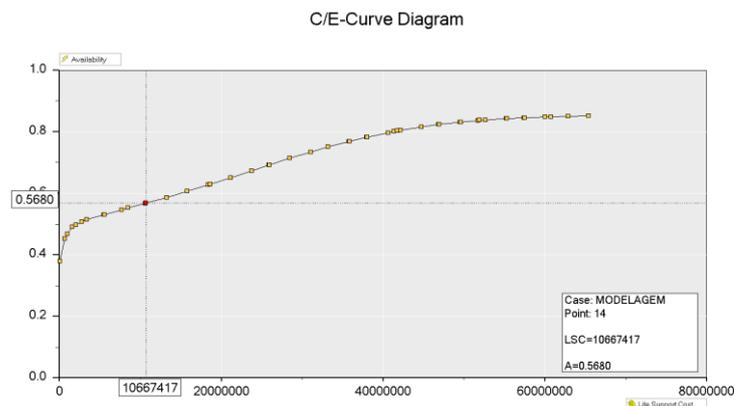


Gráfico 2 - Exemplo de curva de Disponibilidade por LSC.

A curva LSC x A ilustra que quanto maior o investimento no suporte à frota de um sistema, maior tende a ser a disponibilidade desta frota, mas até certo ponto. A curva é uma assíntota, indicando que há um valor máximo de disponibilidade, associado a restrições operacionais e do próprio produto. Exemplos dessas restrições são o tempo de manutenção de componentes, tempos de transporte de suprimentos e disponibilidade de mão de obra, entre outros. Por mais que a suportabilidade seja bem estruturada, aspectos como os mencionados determinam um limite na disponibilidade média, que pode ser atenuado caso esses gargalos sejam identificados e abordados pela administração. O alcance de 100%, no entanto, é impossível, pois o próprio tempo em que a aeronave fica indisponível desde a identificação de uma pane até sua resolução, por mais rápida que seja, afeta este valor médio. Isso permite identificar na curva que a partir de determinado valor investido, orçamentos maiores vão influenciar pouco ou quase nada na disponibilidade.

A curva originada representa um desempenho ótimo da suportabilidade e cada ponto gerado tem uma lista de aprovisionamentos associada. No exemplo do Gráfico 2, foi selecionado o ponto 14, com custo de 10.667.410,00 unidades monetárias e disponibilidade de 56,8%. Considerando as taxas de falhas de todos os componentes do sistema e outras métricas, o OPUS10 é capaz de definir a lista de compras de peças de reposição que vai implicar na melhor disponibilidade. Ou seja, no exemplo do ponto 14, não é possível ao decisor adquirir uma lista de aprovisionamentos que vai gerar uma disponibilidade esperada melhor que 56,8%, mas o contrário é realizável. O orçamento associado ao ponto 14 pode gerar uma disponibilidade menor que 56,8%, caso a lista de aprovisionamentos adquirida seja diferente da calculada pela modelagem. Em outras palavras, a melhor condição de suportabilidade que se pode obter está na curva gerada pelo OPUS10, mas há pontos abaixo desta curva, indicando que um mesmo investimento pode implicar em valores piores na disponibilidade esperada.

Quanto aos dados a serem inseridos, se pode categorizá-los em termos do contexto a que se referem, como sendo: relacionados à estrutura de suportabilidade, relacionados ao sistema, seus componentes e sua manutenção, e relacionados à parte operacional (uso do sistema).

No modelo em questão, a estrutura de suportabilidade foi um modelo de múltiplo escalão desenhado como: 3 esquadrões aéreos subordinados ao PAMA-SP, que é subordinado aos fabricantes de peças (ou à indústria). Os 3 esquadrões são: 1º Esquadrão do 14º Grupo de Aviação (representado por 114GAV), 1º Grupo de Aviação de Caça (representado por 1GAVCA) e 1º Grupo de Defesa Aérea (representado por GDA). O GDA é um esquadrão que

atualmente não dispõe de aeronaves próprias e recebe apoio constante dos outros dois. Cada esquadrão cede constantemente uma de suas aeronaves ao GDA. Por isso, para fins de modelagem, foi considerado que é um esquadrão ativo que possui duas aeronaves, enquanto os demais possuem as restantes, ou seja, 13 aeronaves cada. O esquema do modelo adotado é apresentado na Figura 4.

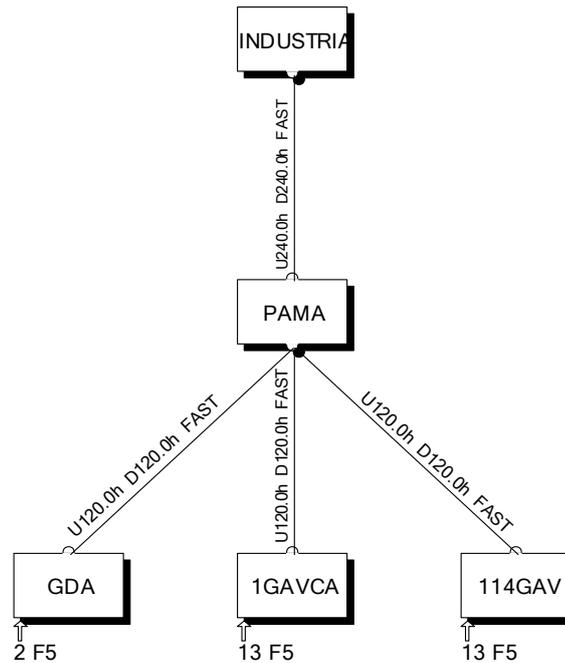


Figura 4 - Modelo de múltiplo escalão usado na modelagem.

Uma vez que os itens do presente modelo são todos estocados no PAMA-SP e que os esquadrões não fazem reparos desses itens, os esquadrões foram unidades classificadas no OPUS10 como “OP” (operacional – não fazem manutenção nem estoque de peças). O PAMA-SP e a indústria foram classificados como “DEPOT” (armazenam itens e fazem reparos). Os tempos médios informados para transporte de itens entre as organizações foi considerado o mesmo para todos os 20 itens, sendo: 5 dias corridos entre os esquadrões e o PAMA-SP e 10 dias corridos entre o PAMA-SP e a indústria.

O sistema em questão é a aeronave F-5 e os componentes inseridos foram os 20 apresentados no capítulo anterior. 19 deles são do tipo reparáveis, ou seja, quando apresentam falhas são substituídos por uma peça boa em estoque e levados à manutenção numa estação DEPOT. No OPUS10, itens desse tipo recebem a classificação “LRU” (*Line-replaceable Unit*). Ao componente restante, foi atribuída a classificação “DU” (*Discardable Unit*), indicando se

tratar de um item consumível, ou seja, que no caso de falhas, é mais vantajosa a compra de uma nova peça do que o reparo.

Todas as características dos itens apresentadas na Tabela 1, como custo de aquisição, quantidade por aeronave, taxa média de falhas e estoque existente, bem como as características de manutenção, como estação responsável e tempo médio de reparo, foram inseridas no OPUS10.

Nas janelas relacionadas à parte operacional, foi possível inserir o esforço aéreo a que será submetida cada aeronave no horizonte da modelagem, que foi de um ano. Essas informações constam na Tabela 2.

4.2 Uso do SIMLOX

O resultado de uma curva C/E gerada pelo OPUS10 é determinístico. O *software*, que considera o valor médio das taxas de falhas e tempos de reparo de itens, por exemplo, pode ser comparado a uma calculadora, que aponta a disponibilidade alcançável considerando uma lista de aprovisionamentos associada e dada uma limitação de custos.

O SIMLOX foi concebido para estender a análise logística gerada pelo OPUS10 usando simulação. Considerando que medidas como as exemplificadas anteriormente são estocásticas, e com a possibilidade de submeter a frota de aeronaves a um esforço aéreo, o software realiza tantas simulações quanto o usuário desejar considerando as possíveis variações no contexto operacional e no cenário de suportabilidade ao longo do tempo. O software simula conjuntos de situações do tipo: “se um componente do sistema falha a uma taxa média de 1.000 horas de voo, o que aconteceria com a disponibilidade da frota se em dada ocasião ele falhasse com 700 horas? Ou com 1.200?” “O que aconteceria se num caso específico o tempo de reparo fosse metade do médio? E se fosse o dobro?” Cenários que são totalmente possíveis quando se fala de eventos aleatórios.

No caso de disponibilidade, o SIMLOX retorna ao usuário a média dos resultados de todas as replicações, permitindo uma análise muito mais detalhada e robusta do desempenho do sistema com o passar do tempo. Adotando um número de 10.000 replicações de cenários diferentes, foi no sentido de se obter um valor de disponibilidade da frota de F-5 mais fidedigno que o gerado pelo OPUS10 que neste trabalho optou-se pelo uso do SIMLOX.

O *software* considera a atividade aérea a partir da criação de missões. O usuário cria inicialmente perfis de missões, indicando o número de aeronaves envolvidas, a hora de início e a duração total, entre outros. A partir das missões criadas, o usuário pode criar dias de operação,

os quais terão diferentes combinações das missões criadas. De forma semelhante, podem ser criadas semanas, meses, trimestres e anos de operação. Por último, os esquadrões aéreos são vinculados a essas escalas e, após observar se o esforço aéreo do período simulado está condizente com a realidade, se inicia a simulação.

Assim como a licença acadêmica no OPUS10 permite a inserção de no máximo 20 componentes do sistema, no SIMLOX o número máximo de missões voadas nas replicações não pode exceder 100. Isso gerou a necessidade de dois ajustes para reprodução da realidade das escalas de voo dos esquadrões: foi considerado somente um esquadrão de voo, ao qual foram atribuídas todas as aeronaves da frota; em vez de um ano, o período de simulação foi de um trimestre.

Na medida em que os anos seguintes eram simulados, com diminuição do esforço aéreo total, as missões eram modificadas de modo que o tempo total voado se aproximasse do esforço aéreo planejado. As modificações foram no número de aeronaves alocadas por missão e na duração dessas missões.

4.3 Considerações quanto ao uso dos softwares

As possibilidades de reprodução da realidade por meio dos apresentados *softwares* são enormes. Uma ampla gama de dados pode ser inserida e o cenário modelado tem condições de ser extremamente fiel à realidade. O tempo escasso para desenvolvimento desta monografia, porém, e a dificuldade de acesso a determinadas informações com os setores responsáveis, impôs limitações e levou a adoção de algumas premissas:

- O custo de reparo direto dos LRU foi considerado como sendo 10% do valor de seu preço de compra. Os reparos de LRU podem ser feitos pela substituição de subcomponentes, mas não foi possível ao PAMA-SP disponibilizar informações de subcomponentes dos itens modelados. Ainda que essas informações estivessem disponíveis, haveria o problema da licença acadêmica do OPUS10, que permite a inserção máxima de 20 itens. Os reparos diretos de componentes têm preços variados e podem chegar a percentuais elevados do valor de compra do item, mas como não foi possível considerar a existência de subcomponentes (o que favoreceria consideravelmente o barateamento das atividades de manutenção), considerou-se o valor otimista de 10% no reparo direto das LRU para balanceamento;
- Não foram consideradas manutenções preventivas na modelagem por dificuldades e falta de tempo para obtenção dessas informações. Os custos e o tempo relativos a este

tipo de manutenção provavelmente dariam origem a valores mais baixos na disponibilidade da frota, dada uma certa limitação de custo. A consequência esperada deste tipo de simplificação é um valor de disponibilidade um pouco mais otimista do que o que seria obtido caso fosse modelada uma reprodução mais fiel do cenário de manutenção do F-5.

- Tem-se o orçamento de suportabilidade somente para o ano de 2022. Para os anos posteriores, foi considerado um valor proporcional ao número remanescente de aeronaves F-5 na frota;
- Na modelagem, foi considerada a prática de PBSP. O estoque inicial de peças em determinado ano, portanto, era igual ao estoque inicial do ano anterior mais o total de peças compradas mais o total de peças geradas pela desativação de aeronaves. Não foi considerada a condenação de peças, pois não foi intenção deste trabalho adotar uma taxa de condenação sem que para isso houvesse estudos anteriores que indicasse um valor razoável do percentual de peças condenadas para as aeronaves em questão. Como não foi encontrado um referencial teórico deste tipo para peças de F-5, o estudo adotou a premissa otimista de que todas as peças estariam em boas condições para serem incluídas em estoque, considerando a abordagem paramétrica de processo de Poisson homogêneo para a confiabilidade desses itens;
- Visando a reprodutibilidade do modelo, foi inserida a semente aleatória 222 para as simulações no SIMLOX;
- O 1º GDA será reativado em momento oportuno pela FAB. Uma vez, porém, que o período de reativação não é certo e os fatores associados fogem do alcance do que este trabalho se propõe a investigar, o cenário de demandas por caças disponíveis foi considerado o de 2022 (com duas aeronaves constantemente em suporte ao GDA), desde o presente momento até a desativação total da frota de F-5. Ou seja, foi considerado um valor mínimo de 18 caças disponíveis para suprir a defesa aérea (8 para cada um dos esquadrões e 2 para o 1º GDA);
- Não foi do escopo deste trabalho considerar questões doutrinárias, como o desenvolvimento de táticas, técnicas e procedimentos relacionados ao emprego do Gripen como plataforma de armas. Sabe-se que o desenvolvimento dessas condutas, com o aprimoramento paralelo de mão de obra e outros aspectos, podem interferir no cronograma de desativação da aeronave substituída, mas são medidas difíceis de mensurar e o trabalho se ateve somente ao ponto de vista da logística;

- Não foram computados os custos de homem hora na modelagem, pois o orçamento destinado à suportabilidade da frota de F-5 não engloba esta porção. O pagamento de pessoal é praticado por outro setor, que não o de suporte logístico da FAB;
- Os custos de transporte de peças foram considerados nulo, uma vez que todos são realizados em aproveitamento de missões aéreas e, quando realizados por veículos terrestres, já são contemplados nos orçamentos das unidades de transporte, de modo que o orçamento destinado à suportabilidade não engloba esta porção;
- Não havia informações relacionadas aos custos de armazenamento dos estoques, de modo que esta informação não foi considerada na modelagem;

4.4 Resultados: cumprimento normal do cronograma

Os resultados considerando o cumprimento do cronograma inicial de entregas é apresentado nas seções a seguir.

4.4.1 2022

Considerando a frota inicial de 28 aeronaves, o ponto que melhor atendeu à limitação orçamentária de R\$ 17.640.00,00, foi o 5, que permitiu uma disponibilidade calculada de 49,73% (vide Gráfico 3).

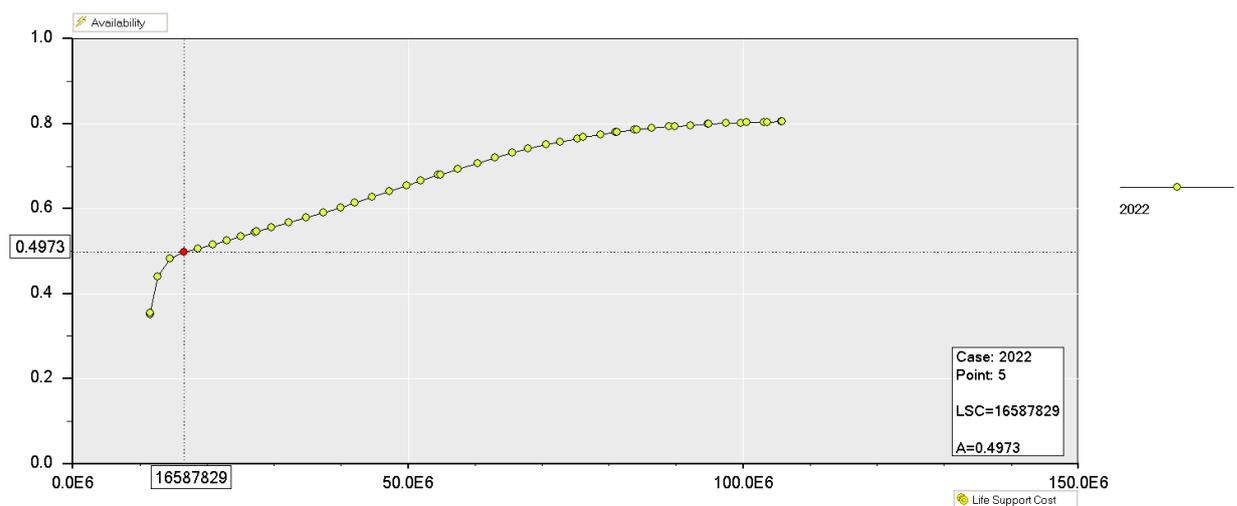


Gráfico 3 - Curva C/E para 2022.

Foi feita uma alocação no ponto 5 (para que fosse considerada a lista de provisionamento correspondente) e a modelagem continuou no SIMLOX. A escala de voo criada no *software* gerou um total de 100 missões e 1074 horas voadas no período. As características da escala de voo de 2022 são apresentadas no Quadro 2.

MISSÕES CRIADAS			DESCRIÇÃO DOS PERÍODOS DE OPERAÇÃO			
Nome	Quantidade de aeronaves	Duração da missão (horas)	DIA	Tem uma missão do tipo PIMO MANHÃ e outra do tipo PIMO TARDE	Total de missões voadas na simulação:	100
PIMO MANHÃ	6	2	SEMANA	Tem 4 dias	Total de horas voadas na simulação:	1074 horas
PIMO TARDE	6	2	TRIMESTRE	Tem 11 semanas e 12 missões do tipo ALERTA, cumpridas aleatoriamente	Esforço aéreo alocado para o período:	1075 horas
ALERTA	1	1,5				

Quadro 2 - Características da operação aérea simulada em 2022.

Cada uma das 10.000 replicações executadas pelo *software* gerou uma disponibilidade média anual. Versões mais recentes que a utilizada permitem uma análise das replicações a partir de uma distribuição de probabilidade (do tipo normal) e a construção de intervalos de credibilidade a determinado nível de confiança. O retorno da versão utilizada (2016) é o valor esperado de todas as replicações, exibido em forma de um gráfico de uma única barra, conforme ilustrado na figura 5.



Figura 5 - Disponibilidade média obtida das simulações de 2022.

O valor esperado de disponibilidade obtido pelo SIMLOX permitiu concluir, considerando que 70% da frota de Gripen entregues estará disponível, que o número total de caças disponíveis é de 18 (considerando sempre o inteiro mais baixo ao arredondar o número total de caças disponíveis). Como o valor mínimo para atendimento dos esquadrões é 18, em 2022 não haveria desativação de nenhuma aeronave. O raciocínio é ilustrado no Quadro 3.

2022	Tamanho da frota	Disponibilidade da frota	Aeronaves Disponíveis
Gripen	9	70%	4
F-5	28	51,45%	14

➔

Total de caças disponíveis:	18
Número mínimo:	18
F-5 desativados:	0

Quadro 3 - Conclusão quanto ao número de F-5 desativados em 2022.

4.4.2 2023

Com a frota no mesmo tamanho que em 2022, a limitação orçamentária considerada foi a mesma: R\$ 17.640.00,00. O ponto que melhor atendeu foi o 4, com disponibilidade calculada de 55,85% (vide Gráfico 4).

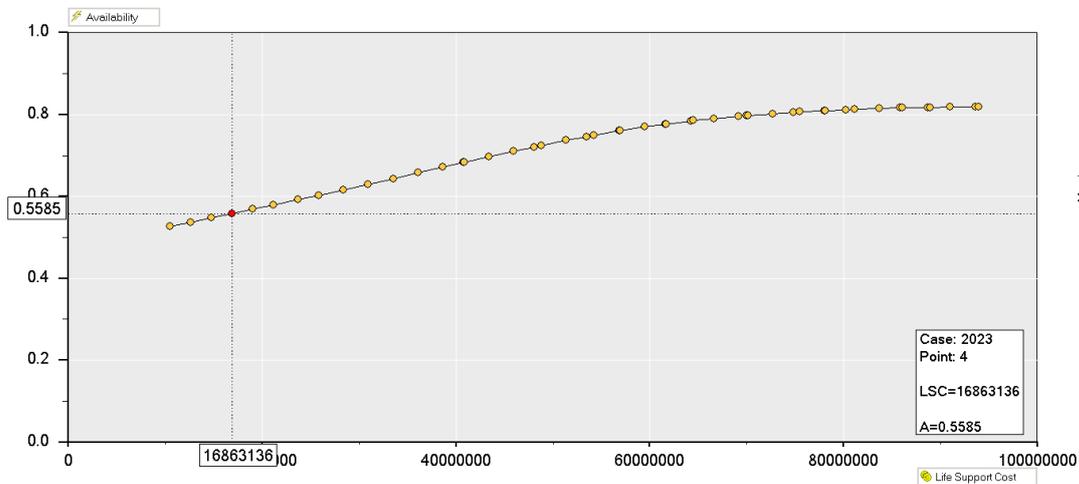


Gráfico 4 - Curva C/E para 2023.

No SIMLOX, apesar do mesmo tamanho da frota, foi feita uma alteração na escala de voo para acomodar a mudança de esforço aéreo, que passou de 1075 para 875 horas voadas por trimestre. As características da escala de voo de 2023 são apresentadas no Quadro 4.

MISSÕES CRIADAS			DESCRIÇÃO DOS PERÍODOS DE OPERAÇÃO			
Nome	Quantidade de aeronaves	Duração da missão (horas)	DIA	Tem uma missão do tipo PIMO MANHÃ e outra do tipo PIMO TARDE	Total de missões voadas na simulação:	100
PIMO MANHÃ	6	2	SEMANA	Tem 4 dias	Total de horas voadas na simulação:	868 horas
PIMO TARDE	4	1,8	TRIMESTRE	Tem 11 semanas e 12 missões do tipo ALERTA, cumpridas aleatoriamente	Esforço aéreo alocado para o período:	870 horas
ALERTA	1	2				

Quadro 4 - Características da operação aérea simulada em 2023.

O resultado médio das simulações foi de 51,45% de disponibilidade. O valor permitiu se chegar ao valor arredondado de 20 caças disponíveis em 2023, o que seria suficiente para desativar 2 aeronaves F-5 ao final deste ano (vide Quadro 5).

2023	Tamanho da frota	Disponibilidade da frota	Aeronaves Disponíveis
Gripen	9	70%	6
F-5	28	51,45%	14

➔

Total de caças disponíveis:	20
Número mínimo:	18
F-5 desativados:	2

Quadro 5 - Conclusão quanto ao número de F-5 desativados em 2023.

4.4.3 2024

Uma vez que a frota de F-5 passou a 26 aeronaves, o limite orçamentário foi recalculado para R\$ 16.380.000,00. O crescimento gradativo do estoque inicial, gerado pelo acúmulo de compra de peças e pela desativação de outras aeronaves, permitiu na modelagem de 2024 uma disponibilidade calculada próxima de 60%, conforme ilustrado no Gráfico 5.

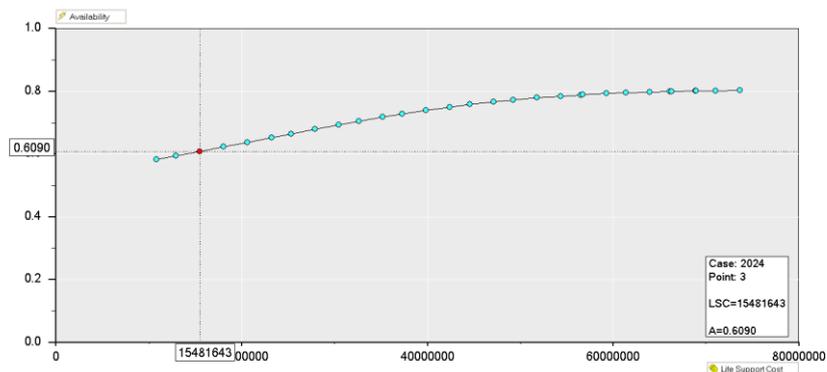


Gráfico 5 - Curva C/E para 2024.

O ponto foi alocado e a continuação no SIMLOX, com alteração do esforço aéreo para 775 horas, gerou uma disponibilidade média de 60,94%. A descrição da escala de voo de 2022 segue no Quadro 6.

MISSÕES CRIADAS			DESCRIÇÃO DOS PERÍODOS DE OPERAÇÃO			
Nome	Quantidade de aeronaves	Duração da missão (horas)	DIA	Tem uma missão do tipo PIMO MANHÃ e outra do tipo PIMO TARDE	Total de missões voadas na simulação:	100
PIMO MANHÃ	8	0,7	SEMANA	Tem 4 dias	Total de horas voadas na simulação:	767 horas
PIMO TARDE	6	1,7	TRIMESTRE	Tem 11 semanas e 12 missões do tipo ALERTA, cumpridas aleatoriamente	Esforço aéreo alocado para o período:	775 horas
ALERTA	3	2				

Quadro 6 - Características da operação aérea simulada em 2024.

Os valores obtidos permitiriam a desativação de mais 6 aeronaves ao final do ano, conforme ilustrado no Quadro 7.

2024	Tamanho da frota	Disponibilidade da frota	Aeronaves Disponíveis
Gripen	12	70%	8
F-5	26	60,94%	16



Total de caças disponíveis:	24
Número mínimo:	18
F-5 desativados:	6

Quadro 7 - Conclusão quanto ao número de F-5 desativados em 2024.

4.4.4 2025

No ano de 2025, a frota inicial de 20 aeronaves implicaria numa limitação de custos de R\$ 12.600.000,00. O estoque inicial mais alto, porém, devido ao acúmulo de itens comprados e principalmente pela desativação de 6 aeronaves no ano anterior, permitiu que, na curva de disponibilidade por custos gerada, valores baixos de investimentos gerassem disponibilidades altas, o que é ilustrado no Gráfico 6.

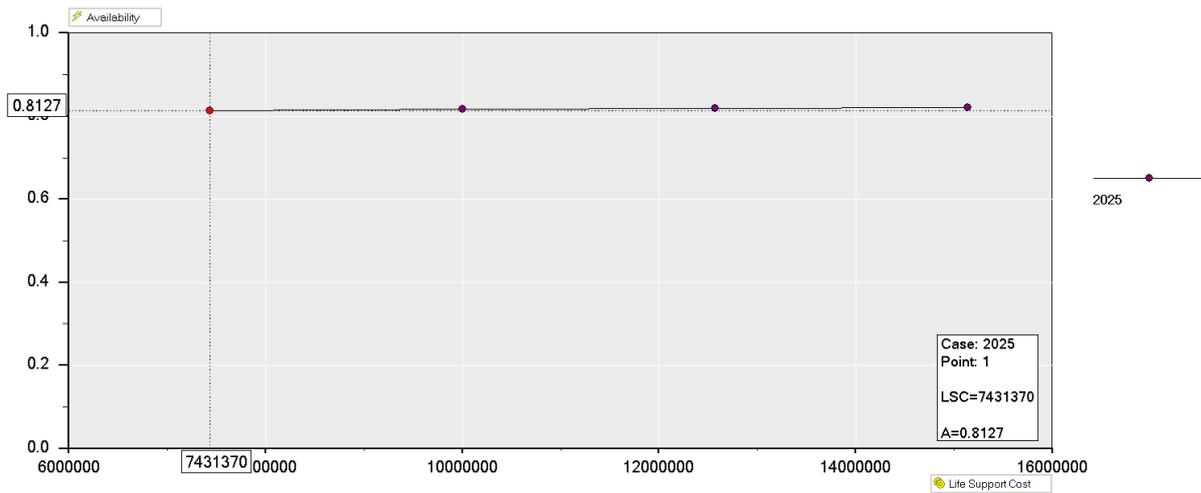


Gráfico 6 - Curva C/E para 2025.

No caso de 2025, o estoque de peças de reposição já é tão elevado que é possível obter a mesma disponibilidade calculada, próxima de 81%, tanto com o custo de suportabilidade em R\$ 7.431.370,00 (no ponto 1) como com custos acima de 14 milhões de reais. Isso permitiu a relevante observação de que a própria desativação da frota vai ser um dos principais fatores na suportabilidade da frota remanescente, na medida em que gera itens de estoque. O ponto alocado para simulação no SIMLOX foi o 1 e o resultado das replicações gerou uma disponibilidade média de 65,41%. A escala de voo criada para simulação é apresentada no Quadro 8.

MISSÕES CRIADAS			DESCRIÇÃO DOS PERÍODOS DE OPERAÇÃO					
Nome	Quantidade de aeronaves	Duração da missão (horas)	DIA	SEMANA	TRIMESTRE	Total de missões voadas na simulação:	100	
PIMO MANHÃ	6	2	Tem uma missão do tipo PIMO MANHÃ e outra do tipo PIMO TARDE				Total de horas voadas na simulação:	628 horas
PIMO TARDE	2	1	Tem 4 dias				Esforço aéreo alocado para o período:	625 horas
ALERTA	1	1	Tem 11 semanas e 12 missões do tipo ALERTA, cumpridas aleatoriamente					

Quadro 8 - Características da operação aérea simulada em 2025.

O resultado obtido permitiu considerar a desativação de mais 4 aeronaves ao final de 2025, conforme ilustrado no Quadro 9.

2025	Tamanho da frota	Disponibilidade da frota	Aeronaves Disponíveis
Gripen	14	70%	9
F-5	20	65,01%	13,0

➔

Total de caças disponíveis:	22
Número mínimo:	18
F-5 desativados:	4

Quadro 9 - Conclusão quanto ao número de F-5 desativados em 2025.

4.4.5 2026

Para as 16 aeronaves em operação em 2026, o fenômeno observado em 2025 é intensificado. A curva C/E gerada teve apenas 2 pontos com praticamente a mesma disponibilidade. Foi feita a alocação no ponto mais barato, o 1, com custo associado de R\$ 5.354.013,00 e disponibilidade calculada de 83,77% (vide Gráfico 7).

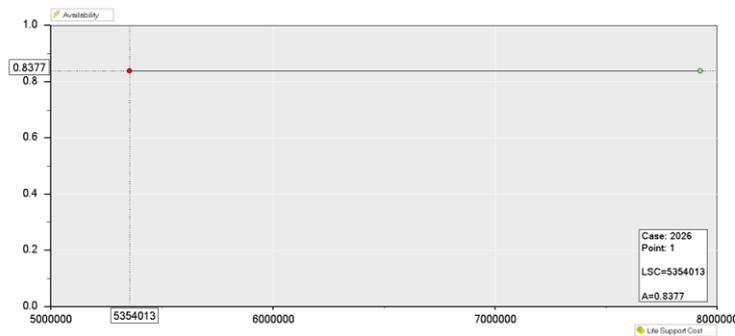


Gráfico 7 - Curva C/E para 2026.

A escala de voo de 2026 foi ajustada para um esforço aéreo trimestral de 500 horas. Os detalhes são apresentados no Quadro 10.

MISSÕES CRIADAS			DESCRIÇÃO DOS PERÍODOS DE OPERAÇÃO				
Nome	Quantidade de aeronaves	Duração da missão (horas)	DIA	SEMANA	TRIMESTRE	Total de missões voadas na simulação:	
PIMO MANHÃ	6	1,1	Tem uma missão do tipo PIMO MANHÃ e outra do tipo PIMO TARDE	Tem 4 dias	Tem 11 semanas e 12 missões do tipo ALERTA, cumpridas aleatoriamente	100	
PIMO TARDE	4	1,1				Total de horas voadas na simulação:	502 horas
ALERTA	1	1,5				Esforço aéreo alocado para o período:	500 horas

Quadro 10 - Características da operação aérea simulada em 2026.

As 10.000 replicações de simulações no SIMLOX geraram um valor médio de disponibilidade de 70,01%, o que permitiu a desativação de mais 10 aeronaves F-5 (vide Quadro 11).

2026	Tamanho da frota	Disponibilidade da frota	Aeronaves Disponíveis
Gripen	25	70%	17
F-5	16	70,01%	11

➔

Total de caças disponíveis:	28
Número mínimo:	18
F-5 desativados:	10

Quadro 11 - Conclusão quanto ao número de F-5 desativados em 2026.

4.4.6 2027

Em 2027, haveria uma frota de 6 aeronaves F-5 em operação, com custo de suportabilidade máximo associado de 3,78 milhões de reais. Considerando o número pequeno de aeronaves ativas e o estoque amplo, a disponibilidade ficou limitada pelas características do próprio projeto. Não houve curva C/E gerada, somente um ponto, com custo associado de R\$ 2.141.552,00 e disponibilidade de 82,88%, conforme ilustrado no Gráfico 8.

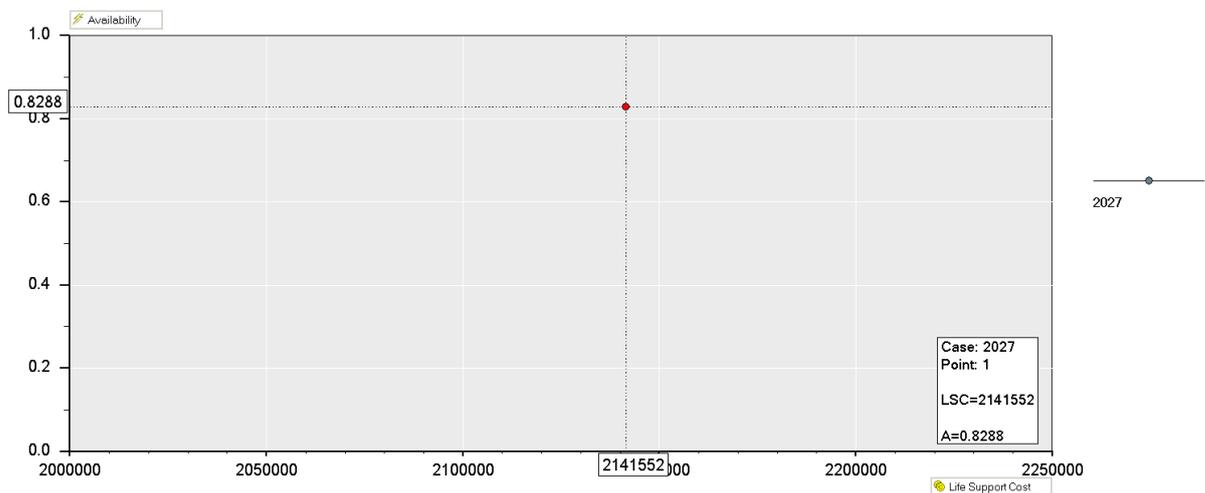


Gráfico 8 - Curva C/E para 2027.

A simulação, que submeteu essas 6 aeronaves a um esforço aéreo de 400 horas no trimestre, gerou uma disponibilidade média de 66,94%. A escala de voo de 2027 é ilustrada no Quadro 12.

MISSÕES CRIADAS			DESCRIÇÃO DOS PERÍODOS DE OPERAÇÃO			
Nome	Quantidade de aeronaves	Duração da missão (horas)				
PIMO MANHÃ	3	1,4	DIA	Tem uma missão do tipo PIMO MANHÃ e outra do tipo PIMO TARDE	Total de missões voadas na simulação:	100
PIMO TARDE	4	1,1	SEMANA	Tem 4 dias	Total de horas voadas na simulação:	398 horas
ALERTA	1	1,7	TRIMESTRE	Tem 11 semanas e 12 missões do tipo ALERTA, cumpridas aleatoriamente	Esforço aéreo alocado para o período:	400 horas

Quadro 12 - Características da operação aérea simulada em 2027.

O valor, junto ao número elevado de aeronaves Gripen recebidas até então, permitiria que a frota remanescente de F5 fosse desativada neste ano, conforme apresentado no Quadro 13.

2027	Tamanho da frota	Disponibilidade da frota	Aeronaves Disponíveis		Total de caças disponíveis:	29
Gripen	36	70%	25	➔	Número mínimo:	18
F-5	6	66,94%	4		F-5 desativados:	6

Quadro 13 - Conclusão quanto ao número de F-5 desativados em 2027.

4.4.7 Listas de Aprovisionamentos

As listas de aprovisionamentos anuais que o OPUS10 identificou como ótimas nas modelagens são apresentadas na Tabela 4.

	2022	2023	2024	2025	2026	2027
ITEM 1	1	0	0	0	0	0
ITEM 2	3	0	0	0	0	0
ITEM 3	0	0	1	2	0	0
ITEM 4	1	0	0	0	0	0
ITEM 5	6	0	0	0	0	0
ITEM 6	5	0	0	0	0	0
ITEM 7	0	0	0	0	0	0
ITEM 8	1	0	0	0	0	0
ITEM 9	3	0	0	0	0	0
ITEM 10	2	0	0	0	0	0
ITEM 11	2	0	0	0	0	0

ITEM 12	2	0	0	0	0	0
ITEM 13	4	0	0	0	0	0
ITEM 14	2	0	0	0	0	0
ITEM 15	2	0	0	0	0	0
ITEM 16	0	0	0	0	0	0
ITEM 17	2	0	0	0	0	0
ITEM 18	8	0	0	0	0	0
ITEM 19	0	3	1	0	0	0
ITEM 20	18	0	0	0	0	0

Tabela 4 - Listas de aprovisionamentos ótimas identificadas pelo OPUS10.

Da tabela, pode-se notar que a partir de 2026, com o número baixo de aeronaves na frota junto a um estoque alto de peças de reposição, a demanda pela compra de novas itens de estoque no orçamento é nula. Os custos de suportabilidade da frota, portanto, são devido a outros fatores, como a manutenção de equipamentos em pane.

4.4.8 Cronograma de desativação

A modelagem desenvolvida até então permitiu a construção do cronograma de desativação apresentado na Tabela 5.

	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Aeronaves desativadas	0	2	6	4	10	6	0

Tabela 5 - Cronograma de desativação do F-5.

Os tamanhos das frotas juntamente com a quantidade total de F-5 desativados ano a ano são ilustrados no Gráfico 9.

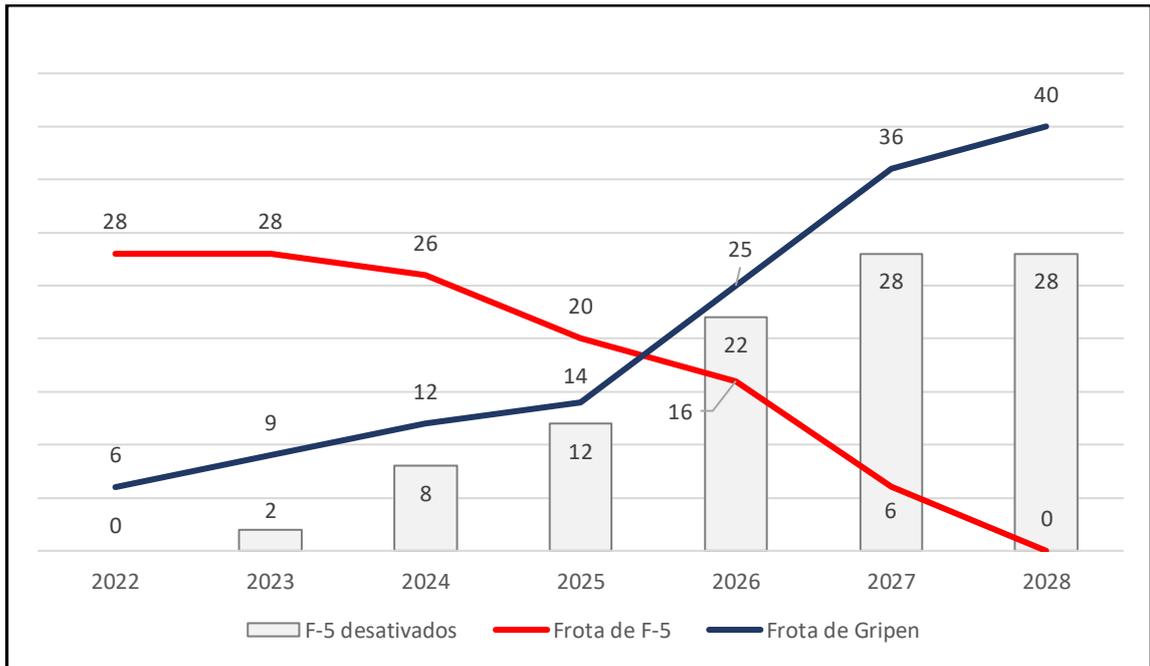


Gráfico 9 - Representação anual das frotas de F-5 e Gripen.

4.5 Resultados: atraso nas entregas dos Gripen

O cronograma hipotético de entregas considerou que de 2026 em diante, ano a partir do qual não se tem certeza sobre a quantidade de Gripen a serem recebidos, haverá um atraso que implicará na entrega de somente 50% do previsto no cronograma inicial. Como o cronograma inicial prevê a última entrega em 2028, para 2029 em diante, foi pressuposto que a quantidade de aeronaves recebidas seria igual à média dos anos anteriores. O novo cronograma gerado é apresentado na Tabela 6 e prevê o recebimento da última aeronave em 2032.

	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Gripens recebidos	6	3	3	2	5	6	2	4	4	4	1

Tabela 6 - Cronograma de entrega dos Gripen considerando um atraso a partir de 2026.

Como o cronograma inicial e o hipotético são idênticos até 2025, o raciocínio para o dimensionamento anual da frota se manteve igual até 2026, uma vez que a frota de F-5 neste ano seria a mesma de 16 aeronaves. O valor de disponibilidade de 70,01% obtido da simulação também foi o mesmo considerado, porém, o número de F-39 recebidos em 2026 seria 5 em vez

de 11. Isso permitiria a desativação de somente 6 F-5, o que é ilustrado no Quadro 14 e a modelagem dos anos seguintes gerou os resultados que são apresentados na Figura 6.

2026	Tamanho da frota	Disponibilidade da frota	Aeronaves Disponíveis
Gripen	19	70%	13,0
F-5	16	70,01%	11,0

➔

Total de caças disponíveis:	24
Número mínimo:	18
F-5 desativados:	6

Quadro 14 - Conclusão quanto ao número de F-5 desativados em 2026 no cenário de atraso.

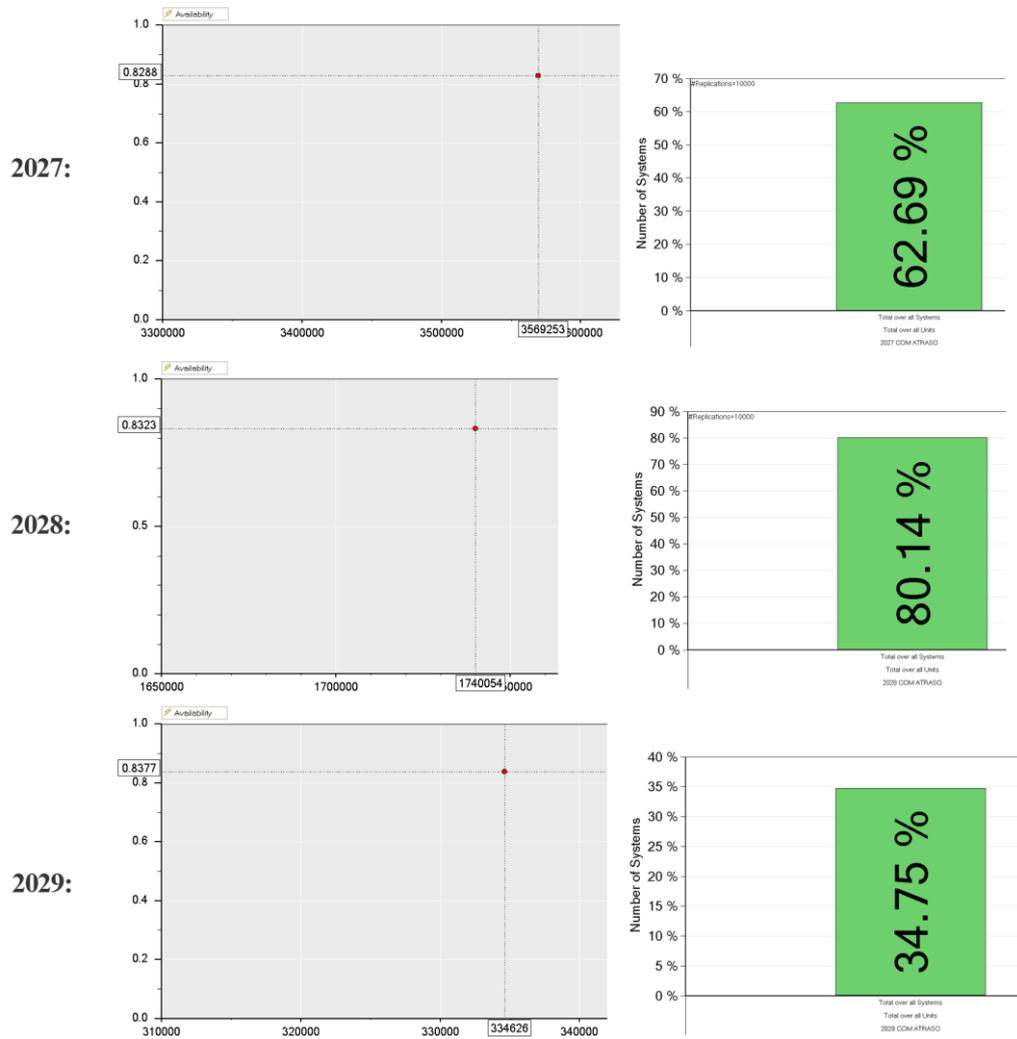


Figura 6 - Resultados do OPUS10 e SIMLOX para 2027, 2028 e 2029 num contexto de atraso.

Dessa forma, foi possível elaborar para os anos seguintes a 2025 o cronograma de desativação que é apresentado na Tabela 7.

	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Frota de Gripen	19	25	27	31	35	39	40
Gripens Disponíveis	13,3	17,5	18,9	21,7	24,5	27,3	28
Frota de F-5	16	10	5	1	0	0	0
Custo de suportabilidade (OPUS10)	R\$ 5.354.013,00	R\$ 3.569.253,00	R\$ 1.740.054,00	R\$ 334.626,00	-	-	-
Disponibilidade F-5 (SIMLOX)	70,01%	62,69%	80,14%	34,75%	-	-	-
F-5 Disp	11	6	4	0,3	-	-	-
Caças disponíveis	24	23	22	22	24	27	28
Número mínimo	18	18	18	18	18	18	18
F-5 passíveis de desativação	6	5	4	1	-	-	-

Tabela 7 - Cronograma de desativação do F-5 considerando atraso na entrega do Gripen.

Como observado, o atraso hipotético postergaria a desativação do F-5 até 2029, 2 anos além do que seria possível com o cronograma inicial. O Gráfico 10 ilustra os dois cenários.

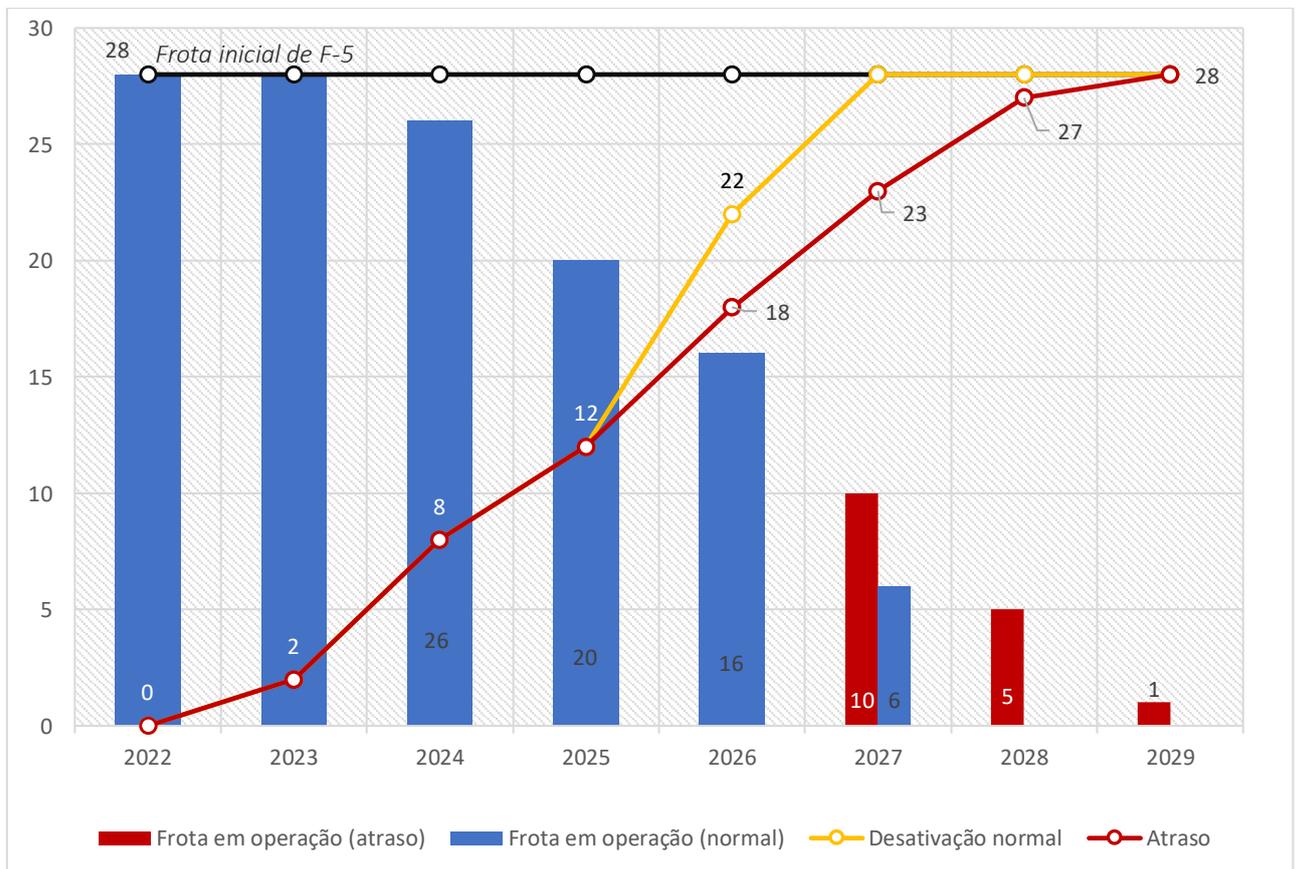


Gráfico 10 - Frotas de F-5 considerando o cenário normal e de atraso na entrega dos Gripen.

4.5.1 Análise de Custos

A Tabela 8 ilustra os custos de suportabilidade anuais para cada cenário, obtidos pela modelagem no OPUS10. Os valores são em reais (R\$).

	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	Total
Normal	16.587.829	16.863.136	15.481.643	7.431.370	5.354.013	2.141.552	-	-	63.859.543
Atraso	16.587.829	16.863.136	15.481.643	7.431.370	5.354.013	3.569.253	1.740.054	334.626	67.361.924

Tabela 8 - Custos anuais de suportabilidade da frota de F-5.

Como observado, o cenário normal de entregas tem um custo total associado de R\$ 63.859.543,00, enquanto esse valor no cenário de atraso é de R\$ 67.361.924,00 (diferença de R\$ 3.502.381,00). Vale ressaltar que esses valores se referem somente aos 20 itens modelados e representam 21% do orçamento total. Isso posto, é possível projetar a diferença considerando o orçamento completo da frota. O valor a que se chega é de R\$ 16.678.005,00, que seria o custo adicional que o atraso em questão ocasionaria na suportabilidade dos F-5 remanescentes.

4.6 Discussão

A modelagem permitiu observar que o cronograma inicial de entrega dos Gripen permitiria a desativação do último F-5 em 2027, dada a grande quantidade de aeronaves que estariam em operação nesse ano.

Foi possível identificar que a disponibilidade da frota de F-5 aumentará gradativamente e que não faz sentido raciocinar com uma diminuição do orçamento de suportabilidade proporcional ao número de aeronaves remanescentes em operação, pois a prática de PBSP formará um considerável estoque de peças sobressalentes, o que permitiria a minimização de boa parte dos custos futuros. Esse fenômeno começa a ser observado mais nitidamente a partir de 2025, quando há pouca diferença na disponibilidade calculada pelo OPUS10 para orçamentos bastante distintos. A partir de 2026, o estoque já seria tão grande que o software não levou em consideração a compra de novas peças nos pontos alocados.

A respeito das listas de aprovisionamentos, observa-se que a maior necessidade no estoque atual da FAB é do item 20, que pela quantidade de 18 unidades constante na lista de 2022, pode ser reconhecido como o item mais crítico, seguido do item 18 (8 unidades), do item 5 (6 unidades) e do item 6 (5 unidades). O investimento de 2022 aparenta levar o estoque de giro a um número adequado, já que as demandas para os anos seguintes são mais discretas. Dos 20 itens modelados, somente os de número 3, 7 e 16 não constam nas listas de 2022 e 2023,

indicando que o estoque atual pode ser mantido até a desativação de outras aeronaves e consequente expansão de estoque, a partir do final de 2023.

A modelagem considerando o atraso nas entregas a partir de 2026 implicaria em mais dois anos de operação do F-5, com a última aeronave sendo desativada em 2029. Comparando os dois cenários, foi possível estimar um custo adicional de R\$ 16.678.005,00 na suportabilidade da frota. Eventualmente, esses custos podem se tornar ainda maiores na medida em que F-5 se torna mais obsoleto com o passar do tempo, mas aqui cabe apontar prejuízos intangíveis que um atraso acarretaria, como a própria perda de potencial militar da Força Aérea Brasileira. Alguns outros malefícios do cenário hipotético seriam os associados aos elementos do IPS, como: seria necessário a formação e manutenção do treinamento técnico de pessoal (pilotos e mecânicos) relativos à operação do F-5; seria necessária a manutenção de toda a infraestrutura e contratos de apoio logístico associados; as atividades relativas à alienação e descarte correto de peças seria postergada – questões que envolveriam o uso intenso de recursos humanos que poderiam estar engajados em outras atividades.

5 CONCLUSÃO

Diante do problema de dimensionamento da frota de F-5 ocasionado pela sua substituição pelos F-39 Gripen, este trabalho se propôs a desenvolver um cronograma de desativação baseado em características de desempenho de 20 itens representativos do sistema, recorrendo aos *softwares* OPUS10 e SIMLOX. Objetivos secundários foram a obtenção das listas de aprovisionamentos anuais mais eficientes e a identificação dos impactos de um atraso no calendário de entregas da aeronave substituta.

A partir da formulação do problema, recorreu-se a obras na literatura de engenharia logística, que elucidaram como seriam as etapas seguintes do estudo. Pôde-se identificar os dados que seriam necessários para a modelagem e, após obtidos, foram processados nos *softwares* OPUS10 e SIMLOX. A aplicação criteriosa da metodologia permitiu o atingimento do objetivo principal e dos específicos do trabalho, uma vez que foi possível a modelagem de dados consolidados estatisticamente, já que vêm sendo monitorados há dezenas de anos pelo PAMA-SP, e a robustez das replicações de 10 mil cenários assegurou maior confiança nos valores alcançados na disponibilidade do F-5.

A partir da modelagem do atual cenário dos esquadrões de defesa aérea da FAB, que considerou o número mínimo total de 18 aeronaves disponíveis para cumprimento de sua missão, foi possível obter as respostas para as 3 hipóteses de pesquisa:

- Hipótese 1: “a partir da modelagem da suportabilidade da frota remanescente de F-5 e à luz de um número mínimo de aeronaves para defesa aérea que a FAB necessita, é possível desenvolver uma solução consistente para o problema de dimensionamento desta frota, tendo como resultado um cronograma de sua desativação, na medida em que são recebidas as aeronaves substitutas”. Conclusão: mostrou-se verdadeira, uma vez que foi possível ao OPUS10 em conjunto com o SIMLOX o desenvolvimento de uma solução para o problema em formato de cronograma de desativação. A última aeronave F-5 seria desativada em 2027.
- Hipótese 2: “a prática de PBSP na desativação da frota de F-5 proporcionará uma diminuição considerável nos custos de suportabilidade enquanto gera aumento da disponibilidade”. Conclusão: mostrou-se verdadeira. Um dos grandes aliados à suportabilidade da frota remanescente de F-5 foi a desativação

de outras aeronaves com consequente expansão do estoque de utilizáveis. A prática do PBSP possibilitou aumentos significativos na disponibilidade e reduções de custo muito superiores ao que seria esperado no caso da diminuição proporcional anual do orçamento.

- Hipótese 3: “um atraso na entrega dos Gripen que implique no recebimento de apenas 50% das aeronaves inicialmente previstas a partir de 2026, trará grandes consequências na desativação da frota de F-5, com a última aeronave sendo desativada no ano de 2030 ou posteriormente.” Conclusão: mostrou-se falsa. O atraso modelado fará com que a desativação do último F-5 ocorra em 2029, 2 anos além do previsto, com custo adicional estimado em torno de R\$ 16 milhões. O resultado foi mais otimista do que a hipótese investigada.

Uma limitação que merece apontamento é as restrições das licenças acadêmicas dos *softwares*. O limite de 20 componentes na modelagem do OPUS10, ainda que esses 20 itens fossem selecionados a partir de critérios razoáveis por especialistas do PAMA-SP, pode ter gerado resultados com certo grau de divergência do que seria obtido se fossem modelados todos os componentes do F-5. A restrição de 100 missões do SIMLOX também penalizou a fidelidade do cenário construído, pois para que o esforço aéreo trimestral fosse cumprido, ainda que as escalas de voo criadas tivessem quantidades de missões semelhantes ao executado na prática pelos esquadrões, em alguns casos o tempo de voo precisou ser ajustado para até 2 horas, o que acaba sendo raro para missões rotineiras (de duração menor).

O curto espaço de tempo para elaboração deste trabalho também impôs alguns limites na obtenção dos dados da frota de F-5 e induziu algumas premissas. Como sugestões para trabalhos futuros fica a replicação deste considerando a inserção de mais dados e variações nas premissas consideradas, como a modelagem de manutenções preventivas e a condenação de itens de estoque; e uma análise da disponibilidade da futura frota de Gripen a partir da lista de provisionamentos inicial comprada pela FAB.

Finalmente, ficam ilustradas as vantagens da prática de PBSP e foi observado que *softwares* de modelagem computacional e simulação se mostraram uma robusta ferramenta no desenvolvimento de soluções para problemas envolvendo o dimensionamento de frotas, especialmente na fase de desativação. A computação se mostrou relevante aliada na obtenção de respostas, a partir de modelagens que podem ser construídas com diferentes graus de reprodução da realidade na medida em que se há recursos para obtenção, tempo disponível e

livre acesso à vasta quantidade de dados passíveis de inserção nos *softwares*. Espera-se que este trabalho venha a agregar ao que se tem hoje no campo da engenharia logística sobre o tema e fomenta o uso crescente da computação pelo braço logístico da FAB.

REFERÊNCIAS

- AEROSPACE AND DEFENSE INDUSTRIES ASSOCIATION OF EUROPE e AEROSPACE INDUSTRIES ASSOCIATION. SX000i – **International specification for Integrated Product Support (IPS)**. 2021.
- BLANCHARD, B.S. **Logistics Engineering and Management**. 6th ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 2014.
- BLOCK, J. **Part-out based spares provisioning and management: a study of aircraft retirement**. 2017. Doctoral Thesis - Luleå University of Technology, Luleå, Suécia, 2017.
- BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Estado-Maior da Aeronáutica. **DCA 400-6: Ciclo de vida de sistemas e materiais da aeronáutica**. Brasília, DF, 2007.
- BRYMAN, A. **Research methods and organization studies** (contemporary social research). Londres: Routledge, 1989.
- CRAMER, A. **A capacitação de Pilotos de F-39 Gripen**. 2020. 74 p. Monografia, Curso de Altos Estudos de Política e Estratégia - Escola Superior de Guerra, Rio de Janeiro, 2020.
- DIAS, W. J. M. J; PORTO, H. F. A. V. O jogo de interesses internacionais: trajetória do projeto F-X e influência política na decisão do projeto F-X2. **Revista de Estudos Internacionais**, v. 1, n. 2, p. 64-73, 2010.
- EISENHARDT, K. M. **Building theories from case study research**. *Academy of Management Review*, v. 14, n. 4, p. 532-550, 1989.
- ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Office of the Secretary of Defense. Department of Defense. **Operating and Support Cost-Estimating Guide**. Washington D.C., 2014.
- FERREIRA, M. J. B; Neris, M. C. J. A inserção do Brasil no segmento de aviões de caça da indústria aeronáutica militar: o projeto FX-2. *In: IX ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DE DEFESA*. 2016, Florianópolis.
- JONES, G; WHITE, T; RYAN, E; RITSCHER, J. Investigation into the Ratio of Operating and Support Costs to Life-Cycle Costs for DoD Weapon Systems. **Defense Acquisition Research Journal**. 21. 441-462. 2014.
- LITTLE, J. D. C.; GRAVES, S. C. Little's law. **International Series in Operations Research and Management Science**, v. 115, p. 81-100, 2008. McGraw-Hill, 2005.
- RUSSELL, S. H. Growing world of logistics: a general theory of logistics practices. **Air Force Journal of Logistics**. 2001. Volume XXIV, Number 4.
- SHERBROOKE, C. C. **Optimal Inventory Modelling of Systems: Multi-Echelon Techniques**. 2 th ed. John Wiley & Sons, 2004.
- SYSTECON AB. **OPUS10**. 2017a, [S.l.].

SYSTECON AB. **SIMLOX**. 2017b, [S.l.].

VILELA, F. L. O. Competências do piloto de caça da Força Aérea Brasileira para operar sistemas de guerra eletrônica da aeronave Gripen-NG: uma visão prospectiva. **Revista da UNIFA**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 1, p. 30 - 42, jan/jun. 2018.